

UNIVERSITÄT HAMBURG

## **Bachelorarbeit**

Im Studiengang Geowissenschaften

# Verteilung von partikulärem Material (Suspension) im Benguela Auftriebsgebiet vor Namibia unter besonderer Berücksichtigung der Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte

---

Institut für Biogeochemie und Meereschemie

**Peter Martens**

Betreuer: Prof. Dr. Kay-Christian Emeis

Dr. Niko Lahajnar

Abgabetermin: 19.09.2011

## **Kurzfassung**

In dieser Arbeit wird die Verteilung von suspendiertem partikulärem Material (SPM) im Benguela Auftriebsgebiet anhand von Filterproben untersucht. Die Proben hierfür wurden während der Expedition „Maria S. Merian 17/3“ mit Hilfe einer CTD-Rosette genommen. Neben der Verteilung des Materials wurden die Gehalte an Kohlenstoff und Stickstoff in einem CN-Elementaranalysator gemessen, sowie die Gehalte an Karbonat ermittelt. Für die Untersuchung wurden die Proben von zwei Transekten gewählt, die auf 17°S, an der Mündung des Flusses Kunene und auf 23°S, auf der Höhe von Walvis Bay liegen. Neben der geografischen Lage ist besonders die Bathymetrie in diesen Gebieten sehr unterschiedlich. Die Ergebnisse werden grafisch dargestellt und gegenübergestellt. Abschließend wurden die Ergebnisse mit den Ereignissen an Küstenregionen und dem Prozess des Auftriebs verglichen und erklärt. Die Primärproduktion lässt sich auf beiden Transekten deutlich an erhöhten Kohlenstoff- und Stickstoffgehalten und an erhöhten Konzentrationen der Suspensionsfracht erkennen. Letztere sind auch dort deutlich erhöht, wo älteres Material resuspendiert wird. Jedoch lässt sich durch verschiedene Verteilungsmuster ein Unterschied zwischen den Transekten erkennen, der vor allem aus der Morphologie resultiert.

## **Abstract**

This study investigates the distribution of suspended particulate matter (SPM) in the Benguela Upwelling System by using Filter samples. The samples were taken on the expedition “Maria S. Merian 17/3” with a CTD Rosette. In addition to the distribution, the contents of carbon and nitrogen were measured in a CN elemental analyzer and the content of carbonate was determined. Two transects were chosen for this study that are located on 17°S, at the estuary of Cunene River and on 23°S, at Walvis Bay. Besides the location of each transect, the bathymetry in these regions is very different. The results are displayed graphically and compared with each other. Finally, the results are compared and explained with events that take place in continental margins and with the upwelling process. Primary Production is well recognizable, due to an increased content of carbon and nitrogen and increased concentrations of suspended matter. The latter is also increased in zones, where older material is resuspended. However, there are different distribution patterns recognizable for both transects, resulting mainly from the morphology.

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	iv
1 Einleitung .....	1
1.1 Zielstellung .....	1
1.2 Lage des Gebietes .....	1
1.3 Physik des Systems und des Auftriebs .....	2
1.4 Biogeochemie des Systems .....	4
2 Methodik .....	5
2.1 Probennahme und Aufbereitung .....	5
2.2 C/N-Analyse .....	6
2.3 Corg-Analyse .....	8
2.4 Darstellung der Daten .....	8
3 Ergebnisse .....	9
3.1 17°S-Transekt (Kunene) .....	9
3.1.1 Trockengewicht .....	9
3.1.2 Stickstoffanteile .....	10
3.1.3 Gesamtkohlenstoff und Organischer Kohlenstoff .....	11
3.1.4 Karbonatanteile .....	14
3.2 23°S-Transekt (Walvis Bay) .....	16
3.2.1 Trockengewicht .....	16
3.2.2 Stickstoffanteile .....	17
3.2.3 Gesamtkohlenstoff und Organischer Kohlenstoff .....	18
3.2.4 Karbonatanteile .....	20
4 Diskussion .....	22
4.1 Verteilung der Suspensionsfracht .....	22
4.2 Stickstoffanteile der Suspensionsfracht .....	25
4.3 Gesamtkohlenstoff- und Organischer Kohlenstoffanteil der Suspensionsfracht .....	26
4.4 Karbonatanteil der Suspensionsfracht .....	28
5 Zusammenfassung .....	29
Literaturverzeichnis .....	30
Verzeichnis der verwendeten Internetadressen .....	32
Software .....	32
Danksagung .....	33
Anhang .....	34
Erklärung .....	44

# Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1.1:</b> Übersicht der Benguela-Region und den großskaligen Mechanismen des Auftriebs (verändert nach Shannon, 2006). .....	3
<b>Abbildung 2.1:</b> Stationskarte der Expedition Maria S. Merian 17/3.....	5
<b>Abbildung 2.2:</b> Schematische Darstellung eines CN-Elementaranalysators. Probengeber (A), Heliumträgerstrom (B), Oxidationsreaktor (C), Reduktionsreaktor (D), Wasserfalle (E), Ascaritfalle (F)(optional), Trennsäule (G), Wärmeleitfähigkeitsdetektor (H), Helium-Vergleichsstrom (I) (aus Wiesner et al., 2010) .....	7
<b>Abbildung 3.1:</b> Trockengewicht des SPM in mg/L auf dem Transekt 17,25°S bei Kunene. Gesamtansicht (A), Ausschnitt (B). .....	9
<b>Abbildung 3.2:</b> Stickstoffanteile des SPM in % auf dem Transekt 17,25°S bei Kunene. Gesamtansicht (A), Ausschnitt (B).....	10
<b>Abbildung 3.3:</b> Gesamtkohlenstoff-anteile des SPM in % auf dem Transekt 17,25°S bei Kunene. Gesamtansicht (A), Ausschnitt (B) .....	12
<b>Abbildung 3.4:</b> Organischer Kohlenstoffanteil des SPM in % auf dem Transekt 17,25°S bei Kunene. Gesamtansicht (A), Ausschnitt (B) .....	13
<b>Abbildung 3.5:</b> Karbonatanteile des SPM in % auf dem Transekt 17,25°S bei Kunene. Gesamtansicht (A), Ausschnitt (B).....	14
<b>Abbildung 3.6:</b> Trockengewicht des SPM in mg/L auf dem Transekt 23°S bei Walvis Bay. Gesamtansicht (A), Ausschnitt (B) .....	16
<b>Abbildung 3.7:</b> Stickstoffanteile des SPM in % auf dem Transekt 23°S bei Walvis Bay. Gesamtansicht (A), Ausschnitt (B) .....	17
<b>Abbildung 3.8:</b> Gesamtkohlenstoffanteil des SPM in % auf dem Transekt 23°S bei Walvis Bay. Gesamtansicht (A), Ausschnitt (B) .....	18
<b>Abbildung 3.9:</b> Organischer Kohlenstoffanteil des SPM in % auf dem Transekt 23°S bei Walvis Bay. Gesamtansicht (A), Ausschnitt (B) .....	19
<b>Abbildung 3.10:</b> Karbonatanteile des SPM in % auf dem Transekt 23°S bei Walvis Bay. Gesamtansicht (A), Ausschnitt (B) .....	20
<b>Abbildung 4.1:</b> Überblick der wesentlichen Prozesse an Kontinentalrändern (Jahnke, 2010). .....	22
<b>Abbildung 4.2:</b> Corg/N Verhältnis auf dem Schelf bei 17°S (A) und 23°S (B) .....	23
<b>Abbildung 4.3:</b> Schematisches, dreidimensionales Konzeptmodell für die Strömungen über dem Schelf bei Walvis Bay. Eingekreiste Punkte stehen für polwärtige Strömungen, die Kreise mit Kreuzen deuten auf Strömungen in Richtung Äquator (Giraudeau et al., 2000). .....	24
<b>Abbildung 4.4:</b> Corg/N Verhältnis auf 17°S (A) und 23°S (B). .....	25
<b>Abbildung 4.5:</b> Darstellung des vertikalen (gestrichelt) und lateralen (durchgezogen) Transports von partikulärem organischen Material bei 25.5°S (verändert nach Inthorn et al., 2006a) .....	27

# **1 Einleitung**

## **1.1 Zielstellung**

Im Rahmen des GENUS-Projektes (Geochemistry and Ecology of the Namibian Upwelling System), das das Institut für Biogeochemie und Meereschemie der Universität Hamburg koordiniert, wird seit 2009 das Benguela Auftriebsgebiet vor Namibia untersucht. Ziel dieses Forschungsprojektes ist es, Abhängigkeiten zwischen Stoffkreisläufen und Ökosystem zu verstehen und die Auswirkungen des Klimawandels auf diese zu erkennen.

Auftriebsgebiete umfassen zwar nur 1 % des Ozeans aus, sind aber für 11 % der Primärproduktion verantwortlich (Monteiro, 2010). Allein aufgrund dieser Tatsache lohnt sich eine genauere Untersuchung dieser Systeme. Der Benguela-Küstenstreifen weist dabei die höchste Primärproduktion der Auftriebsgebiete mit einer im Osten befindlichen Küste auf (Monteiro, 2010).

Die hohe Primärproduktion vor der Küste Namibias ist der Grund für die reichhaltigen Fischbestände vor der Küste. Die Fischerei ist noch immer eine wichtige Säule der namibischen Wirtschaft. Nachhaltige Erträge reichen potenziell bis 1,5 Mt pro Jahr. Insgesamt macht das Gewerbe zusammen mit der Verarbeitung an Land etwa 5 % des Bruttoinlandsprodukts aus (Bureau of African Affairs, 2011)

Die einfache Struktur der Nahrungsnetze in Auftriebsgebieten ist ein weiterer Punkt, der die Forschung in diesen Gebieten attraktiv macht. Chavez und Messié (2009) stellen die Verbindungen im Nahrungsnetz in Auftriebsregionen oft mit nicht mehr als zwei trophischen Ebenen dar. Durchschnittlich beträgt die Anzahl an trophischen Ebenen im Benguela Auftriebsgebiet 3,5 – 4 (Chavez und Messié, 2009).

Um die Eigenschaften von Auftrieb und Prozessen in der Benguela Region begutachten zu können, soll daher in dieser Arbeit das Seston untersucht werden. Dies umfasst die Suspensionsfracht, also suspendiertes partikuläres Material (SPM), wie Plankton, Detritus und auch die Sedimentfracht. Dieses Material bildet die Nahrungsgrundlage vieler Organismen in der Region und ist direkt an die Verfügbarkeit von Nährstoffen gebunden, die mit den Auftriebswässern nach oben gelangen. Ziel dieser Arbeit ist es zum einen, die quantitative Verteilung des partikulären Materials genauer zu untersuchen. Um die Qualität des Materials zu beurteilen, wird das Probenmaterial auf den Gehalt an Kohlenstoff und Stickstoff untersucht, sowie auf Karbonatgehalte.

Grundlage für diese Arbeit bilden die Proben von zwei Transekten, die auf 17°S und 23°S liegen. Die Bathymetrie ist in diesen Gebieten unterschiedlich ausgeprägt, was einen Vergleich der beiden Transekte interessant macht.

## **1.2 Lage des Gebietes**

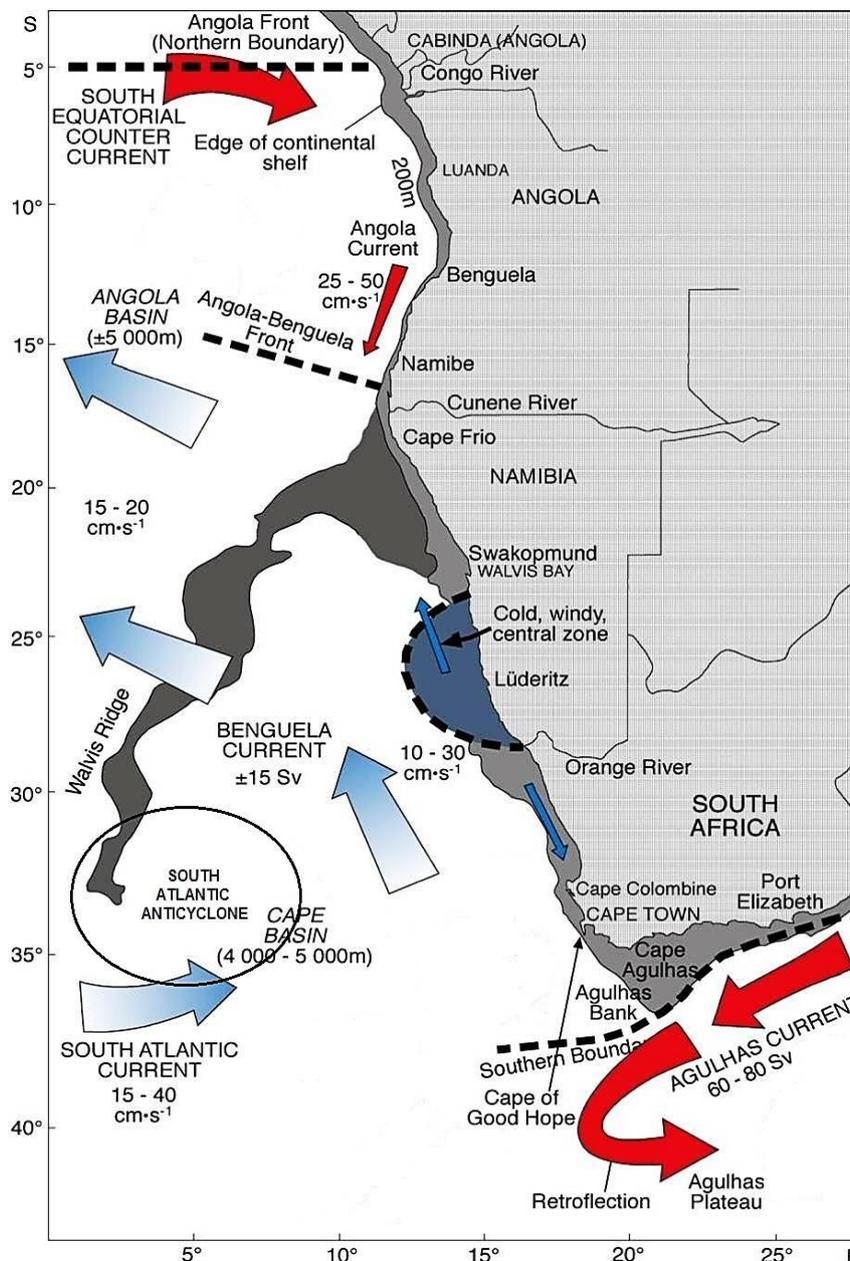
Das gesamte Benguela-System erstreckt sich von der nördlichen Grenze Angolas bis hin zum Kap der Guten Hoffnung im Süden Afrikas (Shannon, 2006), wie in Abbildung 1.1 zu sehen ist. Genaue Angaben über Breitengrade unterscheiden sich von Autor zu Autor, oft wird

zwischen dem tatsächlichen Auftriebsgebiet in der Benguela Region und dem großräumigen, umfassenden System Angola-Benguela unterschieden. Nach Hutchings et al. (2009) liegt das Auftriebsgebiet hauptsächlich zwischen  $19^{\circ}$  und  $34^{\circ}$ S und wird noch einmal bei  $26^{\circ}$ S vor Lüderitz, wo sich ein lokal starkes Auftriebsgebiet befindet, in eine nördliche und eine südliche Benguela-Region unterteilt. Shillington et al. (2006) lokalisieren das Auftriebsgebiet zwischen  $15^{\circ}$  und  $34^{\circ}$ S und das große, umfassende System zwischen  $5^{\circ}$  und  $37^{\circ}$ S mit einer Ausdehnung in einem Bereich von  $0-26^{\circ}$ E. Nach Shillington et al. (2006) sind Unterschiede zwischen einem nördlichen und südlichen Bereich des Auftriebsgebietes bei  $30^{\circ}$ S festzustellen.

### **1.3 Physik des Systems und des Auftriebs**

Das Auftriebsgebiet vor Namibia wird durch Wind angetrieben. Eine entscheidende Rolle spielt dabei vor allem eine Antizyklone, also ein Hochdruckgebiet im Südatlantik, südwestlich der Küste von Namibia. Die Windzirkulationen um dieses Hochdruckgebiet erfolgen auf der Südhalbkugel gegen den Uhrzeigersinn, sodass ein Strom entlang der namibischen Küste in Richtung Äquator erzeugt wird (Hutchings et al., 2009). Eine Übersicht des Prozesses bietet die Abbildung 1.1. Dieser Benguela-Strom induziert in Kombination mit der Coriolis-Kraft den Ekman-Transport. Dabei wird das Oberflächenwasser aufgrund der Coriolis-Kraft, um  $45^{\circ}$  nach Westen abweichend von dem nach Norden gerichteten Benguela-Strom bewegt. Durch Reibung der obersten Wasserschicht an den tieferen Wasserschichten werden diese nachgeschleppt, wobei wieder eine Ablenkung durch die Erdrotation erfolgt. Die Ablenkung der tieferen Wasserschichten geht so weit, dass eine Abweichung von  $180^{\circ}$  erreicht wird, die zugehörige Tiefe wird auch als Ekman-Tiefe bezeichnet. Insgesamt resultiert aus dem Ekman-Transport eine um  $90^{\circ}$  abweichende Bewegung des Wassers in Richtung Westen. Die vom Wind angetriebenen Meeresströmungen erreichen nur relativ geringe Tiefen. Bei Windstärke 4 nach der Beaufort-Skala, was der durchschnittlichen Windgeschwindigkeit in der Benguela Region von  $7,2$  m/s entspricht (Chavez und Messié, 2009), reicht dieser Effekt nur bis in Tiefen von  $60$  m und bei stärkeren Winden bis in einige hundert Meter Tiefe (Kelletat, 1999). Aufgrund der ablandigen Strömung wird fortbewegtes Wasser durch kaltes, nährstoffreiches Wasser aus der Tiefe ersetzt. Der Auftrieb von Tiefenwasser ist jedoch nicht gleichmäßig entlang der Küste verteilt, sondern erfolgt in bestimmten voneinander getrennten Zonen. Nach Monteiro (2010) gibt es sechs besonders auffällige Gebiete. Cape Frio und der Bereich am Fluss Kunene bei  $17^{\circ}$ S und Walvis Bay bei  $23^{\circ}$ S, die in dieser Arbeit genauer betrachtet werden sollen, sowie Lüderitz bei  $26^{\circ}$ S, Namaqua bei  $30^{\circ}$ S, Cape Columbine bei  $33^{\circ}$ S und Cape Peninsula bei  $34^{\circ}$ S. Neben den Strömungen nahe der Oberfläche gibt es einen polwärts gerichteten Unterstrom auf dem Schelf (Shillington et al., 2006)

Eine Besonderheit des Benguela Auftriebsgebietes, die es auch von den anderen Gebieten auf der Welt unterscheidet, ist die Begrenzung im Norden und Süden an warme Wassermassen (Hutchings, 2009). Im Norden des Gebietes, an der Angola-Benguela-Grenze (Abbildung 1.1), bei 15-17°S (Monteiro und van der Plas, 2006) stößt der tropische, warme Angola-Strom auf das Benguela Gebiet, der eine Verlängerung des südäquatorialen Gegenstroms ist (Hutchings et al., 2009). An der südlichen Grenze des Auftriebsgebietes trifft der Agulha-Strom aus dem Südindischen Ozean auf die kälteren Wassermassen des Benguela-Gebietes, fließt aber anschließend wieder zurück (Reason et al., 2006). Zusätzlich wird der Prozess durch die Innertropische Konvergenzzone unterstützt, die an der Ostküste die Entstehung des Agulha-Stroms begünstigt und an der Westküste die Winde für einen Auftrieb. Dadurch entstehen saisonale Schwankungen (Hutchings et al., 2009).



**Abbildung 1.1:** Übersicht der Benguela-Region und den großskaligen Mechanismen des Auftriebs (verändert nach Shannon, 2006).

## 1.4 Biogeochemie des Systems

Das an die Oberfläche geförderte Wasser hat durch Remineralisation von organischem Material einen hohen Nährstoffgehalt, was zu einer verstärkten Primärproduktion führt. Ein entscheidender Nährstoff ist vor allem Stickstoff, dessen Kreislauf eng mit dem des Kohlenstoffes verbunden ist. Die Nährstoffe sind jedoch nicht in jeder Form für Organismen verfügbar.  $N_2$  ist für die meisten Organismen wertlos, nur bestimmte Cyanobakterien können N fixieren. Reaktive Formen wie  $NH_4^+$  (Ammonium),  $NO_2^-$  (Nitrit) oder  $NO_3^-$  (Nitrat) sind wiederum von hoher Bedeutung als Nährstoffe (Chen, 2010). Die Oxidationszahlen dieser Spezies variieren zwischen  $-III$  bei  $NH_4^+$ , bzw.  $NH_3$  und  $+V$  bei  $NO_3^-$  und reagieren daher empfindlich auf reduzierende oder oxidierende Bedingungen (Liu et al, 2010). Eine besondere Rolle hat die Spezies Nitrat unter anaeroben Bedingungen, die aufgrund der hohen Produktion in der Benguela Region vorkommen. Nitrat dient in den sauerstoffarmen Bereichen bei der Nitrat-Atmung als Elektronendonator und wird denitrifiziert (Chen, 2010).

Auch für den Kohlenstoffkreislauf sind Prozesse im Schelfbereich von großer Bedeutung. Laut Chen (2010) sind die Kontinentalränder Übergangspunkt zwischen den vier großen Kohlenstoffreservoirs Atmosphäre, Hydrosphäre, Lithosphäre und Biosphäre und liefern Kohlenstoff in den Ozean. Abkühlung des Wassers und Photosynthese führt zu  $CO_2$  Aufnahme, Erwärmung und Respiration hingegen führt zu  $CO_2$  Abgabe an die Atmosphäre.

Die Produktion und die Remineralisierung von organischem Material beeinflussen demnach sowohl Kohlenstoff als auch Stickstoffgehalte. Das Verhältnis zwischen diesen beiden Elementen im organischen Material des marinen Milieus ist insgesamt sehr ähnlich. Allgemein wird noch der Anteil an Phosphor berücksichtigt, was zu dem Redfield-Verhältnis führt. Demnach ergibt sich aus  $(CH_2O)_{106}(NH_3)_{16}H_3PO_4$  für C:N:P im marinen Milieu ein Verhältnis von 106:16:1 (Redfield, 1958, in Schulz, 2005). Überwiegen bestimmte Prozesse in einem Bereich, wie zum Beispiel Denitrifizierung unter anaeroben Bedingungen, verschiebt sich das Verhältnis (Chavez und Messié, 2009).

Die Prozesse, die die Menge an Kohlenstoff und Stickstoff steuern, spiegeln sich in den Gehalten in dem suspendierten Material wieder und lassen sich dadurch eventuell lokalisieren. Der Gesamtkohlenstoff und Stickstoff ist auch in partikulärem Material gebunden. Über die Art der Zusammensetzung und das Verhältnis der beiden Elemente zueinander kann somit eine qualitative Aussage über das Material getroffen werden.

## 2 Methodik

### 2.1 Probennahme und Aufbereitung

Die Probennahme fand während der Expedition „Maria S. Merian MSM 17/3“ vom 30.01.2011 bis 07.03.2011 auf dem namibischen Schelf statt. In dieser Arbeit werden die Proben von zwei Transekten behandelt, die auf 17°S bzw. 23°S liegen. Eine Übersicht der einzelnen Stationen bietet die Abbildung 2.1. Mit Hilfe einer CTD-Rosette wurden die Proben aus der Wassersäule entnommen (CTD = Conductivity, Temperature, Depth). Die Rosette ist mit mehreren Wasserschöpfnern ausgestattet, die beim Herausziehen in verschiedenen Tiefen geschlossen werden können. Darüber hinaus kann mittels der eingebauten Sensoren unter anderem die Leitfähigkeit und Temperatur und der Sauerstoffgehalt gemessen werden. Über die Leitfähigkeit und Temperatur kann die Salinität berechnet werden.

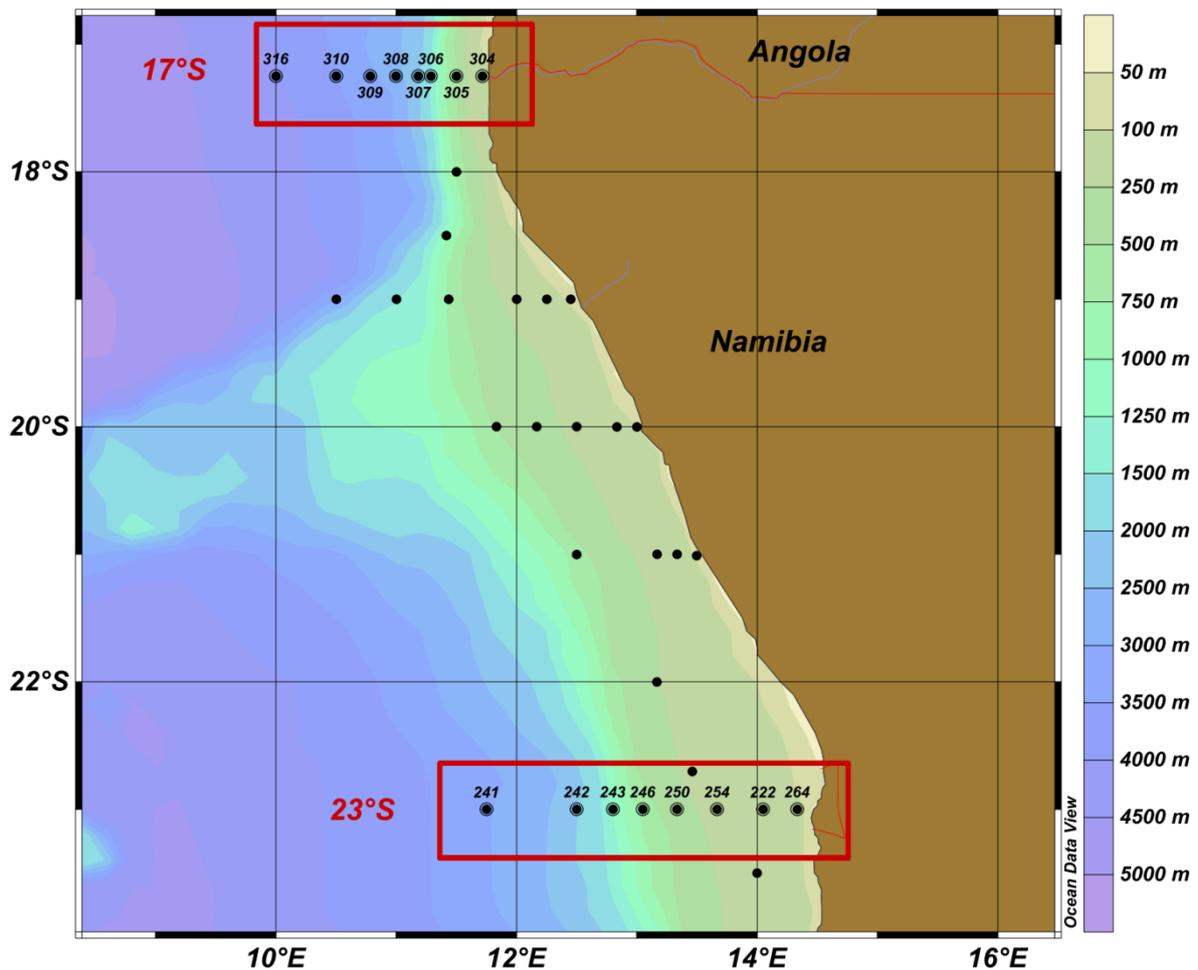


Abbildung 2.1: Stationskarte der Expedition Maria S. Merian 17/3

Die Wasserproben der Expedition wurden anschließend direkt im Schiffslabor gefiltert. Dabei wurden vorher bei 450°C ausgeglühte Glasfaserfilter (GF/F) verwendet, die eine Maschenweite von ca. 0,7 µm haben, womit die Suspension von der gelösten Phase getrennt wird. Die bei 40°C getrockneten Filter bilden die Grundlage für die im Folgenden erläuterten Untersuchungsmethoden. Darüber hinaus ergibt sich aus der Gleichung 2.1 die Konzentration der Suspensionsfracht.

$$\text{Konzentration } \left[ \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right] = \frac{\text{Filtergewicht belegt } \left[ \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right] - \text{Filtergewicht leer } \left[ \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right]}{\text{filtrierte Menge [L]}}$$

**Gleichung 2.1**

## 2.2 C/N-Analyse

In einem CN-Elementaranalysator von der Firma Carlo Erba (NA-1500) werden die Filterproben auf die Gesamtanteile an Kohlenstoff und Stickstoff untersucht. Hierfür werden etwa 0,2 – 0,3 mg einer Probe aus einem Filter ausgestochen. Da die einzelnen Filter eine unterschiedliche Menge an Material als Rückstand auf sich tragen, variiert die Anzahl der Ausstecher, die genommen werden müssen, um auf die entsprechende Einwaage zu kommen. Die Fläche der Filter umfasst 1294,94 mm<sup>2</sup>, die Fläche eines Ausstechers beträgt 22,06 mm<sup>2</sup>. Daraus ergibt sich der Anteil eines Ausstechers vom gesamten Filter. Dadurch kann anschließend die Einwaage berechnet werden, wobei die Anzahl der Ausstecher möglichst gering sein sollte (Gleichung 2.2). Die Probenmenge entspricht der Differenz aus dem Gewicht des belegten Filters und dem des leeren Filters.

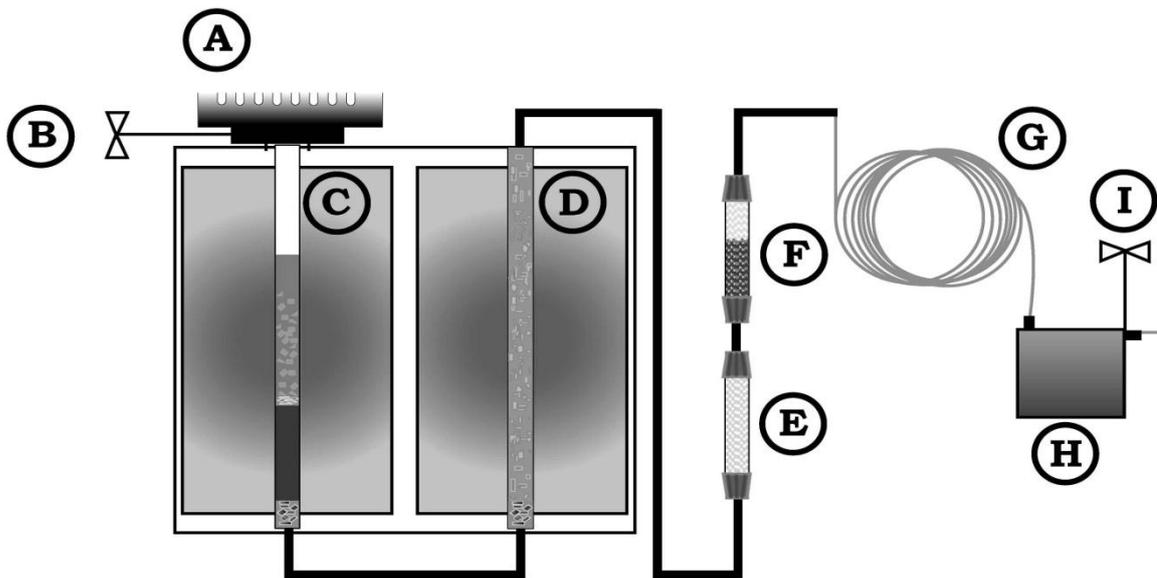
$$\text{Einwaage [mg]} = \text{Probenmenge [mg]} * \text{Ausstecher} * \text{Anteil} \quad \text{Gleichung 2.2}$$

Das Material ist auf den Filtern nicht immer homogen verteilt, was zu größeren Abweichungen bei einer Doppelbestimmung führen kann. Darüber hinaus werden die Filter per Hand ausgestochen, was bei der Präzision und Gleichmäßigkeit zu berücksichtigen ist.

Die runden Ausstecher eines Filters werden anschließend in einer 5x12mm großen Zinn-Kapsel eingefaltet. Die gefalteten Zinnkapseln werden in einem Probentablett gesammelt und bis zur Analyse in einem Exsikkator aufbewahrt.

Jede Messreihe im Elementaranalysator (Abbildung 2.2) beginnt mit einer leeren Kapsel, die als Blindprobe bezeichnet wird. Darauf folgen drei eingewogene Standards, die zur Kalibrierung des Gerätes dienen. Auf diesen Kalibrierdurchgang folgt eine erste als unbekannt bezeichnete Probe, die zur Überprüfung der Messreihe verwendet wird. Für diese Überprüfungen wird der gleiche Standard benutzt, die Überprüfung erfolgt nach je zehn Proben und am Ende einer Messreihe. Als Standard wurde bei diesem Verfahren Acetanelid (C<sub>8</sub>H<sub>9</sub>NO) verwendet, das mit Hilfe einer Analysenwaage der Firma Sartorius eingewogen wurde. Acetanelid enthält 71,09 % Kohlenstoff und 10,36 % Stickstoff.

Über einen automatischen Probengeber (Abbildung 2.2 (A)) gelangen die Proben einzeln in den ersten Teil des Gerätes, die Oxidationssäule (Abbildung 2.2 (C)). Hier werden die Proben bei 1020°C unter Zuführung von Sauerstoff in kurzer Zeit verbrannt („flash-combustion“). Um die Proben vollständig zu oxidieren, befinden sich in der Oxidationssäule Chrom(III)-oxid und Cobaltoxid, die als Katalysatoren wirken (Wiesner et al., 2010). Zusätzlich absorbiert das silberbeschichtete Cobaltoxid eventuelle Halogenverbindungen. Bei der Verbrennung des organischen Materials entstehen Wasserdampf (H<sub>2</sub>O), Stickoxide (NO<sub>x</sub>), Stickstoff (N<sub>2</sub>) und Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>), die mit Helium als Trägerstrom in die Reduktionssäule (Abbildung 2.2 (D)) geleitet werden. Diese ist mit Spänen aus elementarem Kupfer gefüllt, welches die Stickoxide (NO<sub>x</sub>) zu Stickstoff (N<sub>2</sub>) reduziert. Anschließend wird in einer Wasserfalle (Abbildung 2.2 (E)) der Wasserdampf aus den Verbrennungsgasen entfernt. Die Wasserfalle ist mit Magnesiumperchlorat gefüllt, das stark hygroskopisch ist. Im folgenden Schritt werden Stickstoff und Kohlenstoffdioxid in einer gaschromatografischen Trennsäule (Abbildung 2.2 (G)) voneinander getrennt. Die elektrische Leitfähigkeit der jeweiligen Gase wird im Vergleich zu einem Heliumreferenzgas von einem Detektor (Abbildung 2.2 (H)) gemessen. Die Messung wird von einem Computer mit der Software „Eager 200“ aufgenommen, der mit dem Elementaranalysator verbunden ist. Die Retentionszeit gibt Aufschluss über die Art des Elements. Über das Integral der Peakfläche kann im Verhältnis zum Standard die Menge des jeweiligen Elements bestimmt werden



**Abbildung 2.2:** Schematische Darstellung eines CN-Elementaranalysators. Probengeber (A), Heliumträgerstrom (B), Oxidationsreaktor (C), Reduktionsreaktor (D), Wasserfalle (E), Ascaritfalle (F)(optional), Trennsäule (G), Wärmeleitfähigkeitsdetektor (H), Helium-Vergleichsstrom (I) (aus Wiesner et al., 2010)

## **2.3 Corg-Analyse**

Im Gegensatz zur C/N Analyse soll bei der Corg-Analyse nur der organische Kohlenstoff berücksichtigt werden. Um das Karbonat aus den Proben zu entfernen, ist die Vorbereitung bei dieser Analyse umfassender. Analog zur C/N-Analyse werden Teile aus den Filterproben zunächst ausgestochen. Die Ausstecher werden anschließend in 5x12mm großen Silberkapseln platziert. Die Silberkapseln wurden zuvor bei 550°C über Nacht im Ofen geglüht, um den im Silber gebundenen Kohlenstoff zu entfernen. Die Kapseln werden mit jeweils 100 µL 1 N Salzsäure (HCl) behandelt, wodurch das Kalziumkarbonat (CaCO<sub>3</sub>) gelöst und ausgegast wird. Dieser Vorgang wird dreimal wiederholt. Die Proben-tabletts stehen zwischen den Wiederholungen auf einer 50°C warmen Heizplatte unter dem Abzug, um den Prozess zu beschleunigen. Nach der Vorbereitung können auch die Silberkapseln eingefaltet werden, sowie Standards und die Unbekannten eingewogen werden, um mit der Analyse im Elementaranalysator analog zur C/N-Analytik fortzufahren.

## **2.4 Darstellung der Daten**

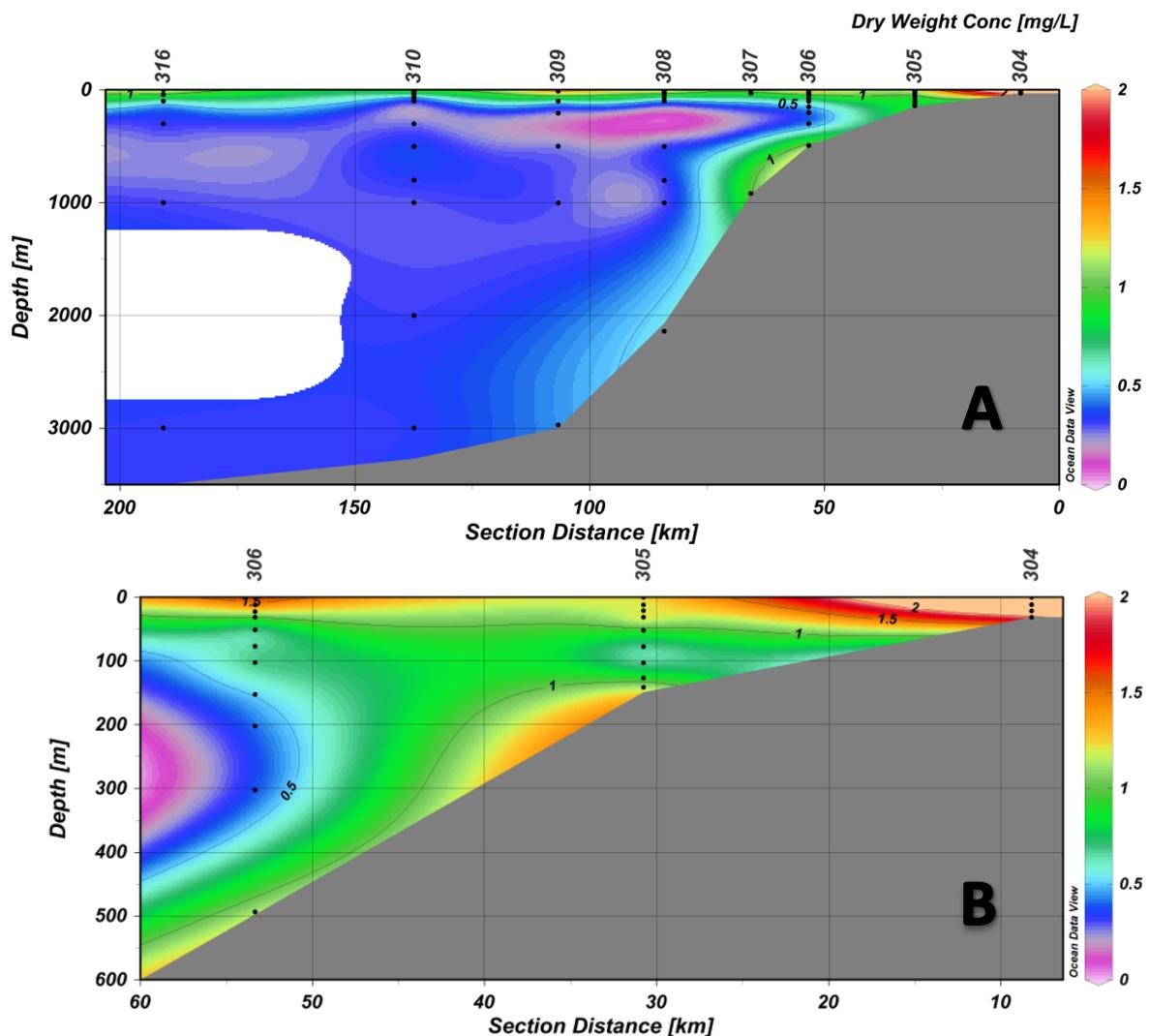
Die Daten aus der Elementaranalyse wurden anschließend mit Hilfe der Software „Ocean Data View 4“ (Schlitzer, 2011) grafisch dargestellt. Dabei wurde die Darstellung im „SECTION-View“ gewählt um die Ergebnisse möglichst übersichtlich betrachten zu können. Die Interpolation erfolgte in diesen Ansichten durch das „DIVA-Gridding“. Um eine möglichst flächendeckende Ansicht zu erhalten wurden bei der Interpolation die Skalenlängen jeweils auf den Wert 50 ‰ eingestellt. Auf den größeren Ansichten der Schelfbereiche wurden zur besseren Darstellung jeweils 80 ‰ gewählt. Eine komplette Übersicht der Daten befindet sich im Anhang.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 17°S-Transekt (Kunene)

##### 3.1.1 Trockengewicht

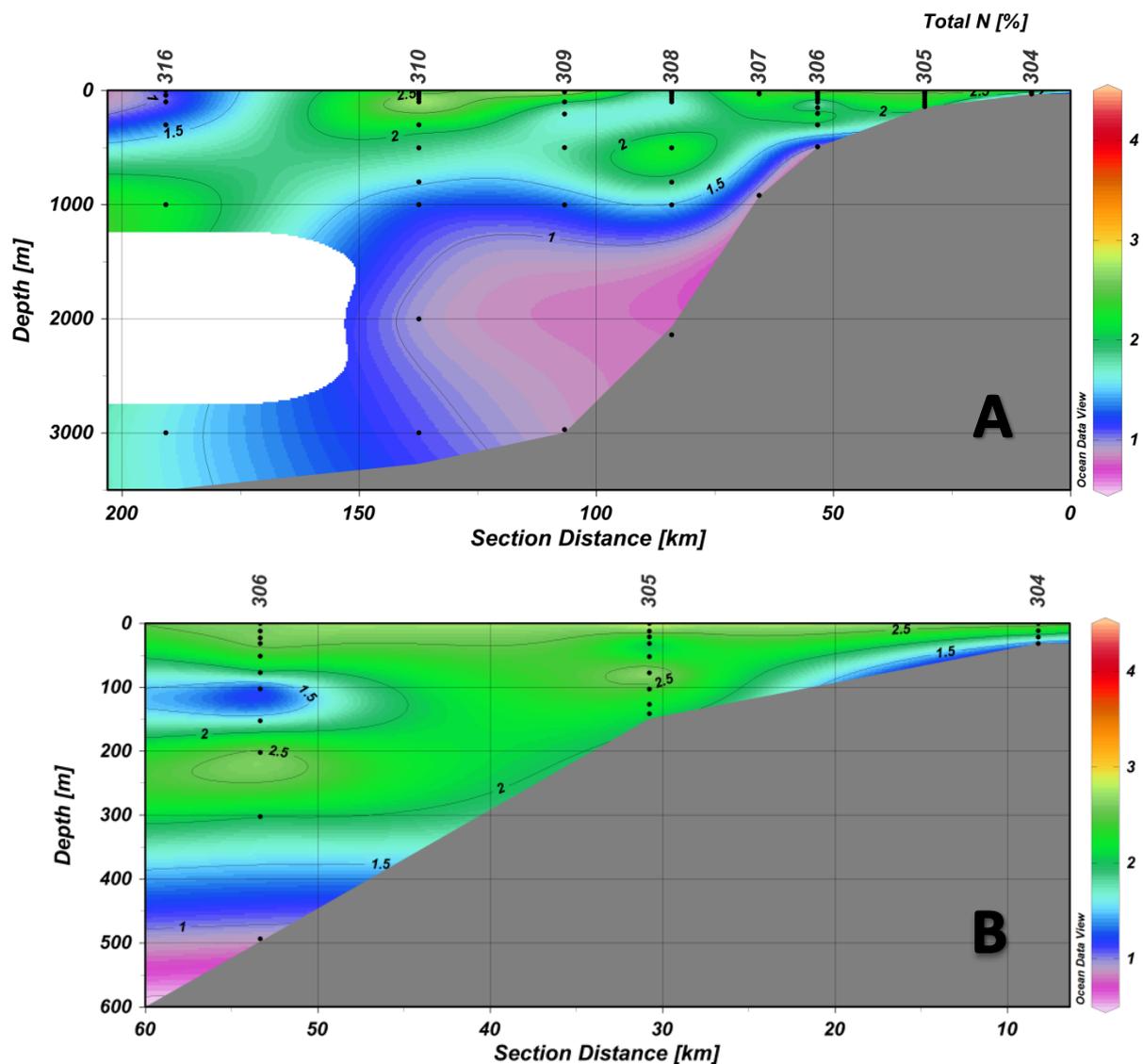
Die Abbildung 3.1 zeigt die Verteilung des suspendierten partikulären Materials (SPM) auf 17°S anhand der Trockengewichtskonzentration. Die ist an der Station 304, an der Oberfläche in der Nähe der Küste mit 3,61 mg/L am größten und sinkt auf den Wert 2,03 mg/L am Boden. An den weit von der Küste entfernten Stationen 309, 310 und 316 ist eine Abnahme der Konzentration mit zunehmender Tiefe zu beobachten. Von durchschnittlich 1,5 mg/L an der Oberfläche sinkt der Gehalt an suspendiertem Material auf 0,36 mg/L am Boden. Auffällig ist die Entwicklung der Konzentrationen entlang der Wassersäule an den Stationen 306, 307 und 308. An der Oberfläche beträgt die Konzentration durchschnittlich etwa 1,4 mg/L. In 50 m Tiefe sind es im Mittel bei den Stationen 306 und 308 nur noch 0,4 mg/L. An den tiefsten Punkten der drei Stationen entlang des Kontinentalhanges steigt die Konzentration wieder auf 1,12 mg/L bei Station 306, 0,99 mg/L bei Station 307 und 0,54 mg/L bei Station 308.



**Abbildung 3.1:** Trockengewicht des SPM in mg/L auf dem Transekt 17,25°S bei Kunene. Gesamtansicht (A), Ausschnitt (B).

### 3.1.2 Stickstoffanteile

In den ersten 500 m der Wassersäule, über die gesamte Region auf 17°S, beträgt der prozentuale Anteil an Stickstoff durchschnittlich 2,1 %, die Verteilung in Abbildung 3.2 erscheint hier mit Ausnahme kleiner Abweichungen relativ homogen. Bis 1000 m Tiefe sind es ungefähr 2 % im Durchschnitt. Unter 1000 m beträgt der durchschnittliche Anteil nur etwa 1 %. Abweichungen von den Mittelwerten oberhalb 1000 m Tiefe sind an der letzten Station 316 zu erkennen. In 300 m Tiefe beträgt der Stickstoffanteil nur 1,38 %. Erst bei der nächsten Probe aus 1000 m Tiefe hat das Material einen prozentualen Anteil von 2,2 % Stickstoff. Auffällig hoch dagegen sind die Werte an der Station 310 nahe der Oberfläche zwischen 30 m und 100 m Tiefe. Bei ungefähr 30 m liegt hier mit 4,33 % der höchste Anteil an Stickstoff im ganzen Gebiet.



**Abbildung 3.2:** Stickstoffanteile des SPM in % auf dem Transekt 17,25°S bei Kunene. Gesamtansicht (A), Ausschnitt (B).

Ein deutlich stickstoffarmer Bereich befindet sich auf dem Kontinentalhang, zwischen 70 km und 125 km Entfernung von der Küste unter etwa 1000 m. Dieser zieht sich noch ungefähr bis zur 50 km Markierung und 500 m Tiefe bis vor die Schelfkante. In diesem Gebiete betragen die Anteile am Boden an keiner Station über 1 %.

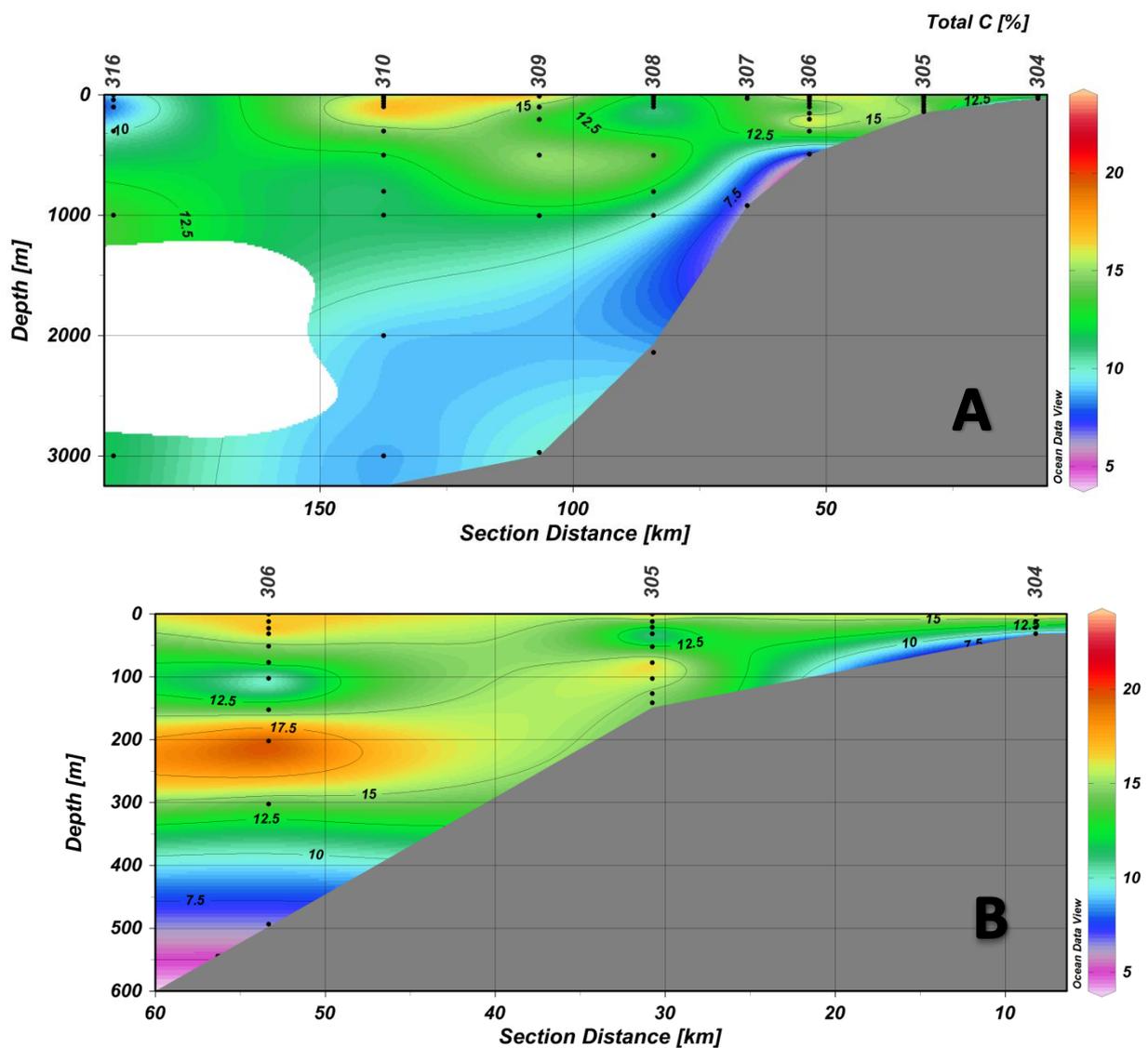
Näher an der Küste hingegen gibt es keinen Wert, der unter 1 % liegt. Der Anteil steigt auf 2,72 % in 200 m Tiefe und verringert sich anschließend wieder auf 0,73 % in 100 m Tiefe. In den geringeren Tiefen darüber beträgt der Durchschnitt 2,5 %. Die vorletzte Station vor der Küste mit der Nummer 305, etwa 30 km von der Küste entfernt hat allgemein hohe Werte. Am Boden beträgt der Anteil 2,1 % und steigt bei einer Tiefe von 75 m bis auf 3,23 %. In den oberen Bereichen schwankt der Wert sehr stark und verringert sich auf 1,2 % in 30 m Tiefe, steigt aber auf 2,48 % bei 20 m und 3,05 % bei 10 m Tiefe, sowie 2,85 % an der Oberfläche. Nah an der Küste, bei Station 304 fällt auf, dass auf dem Grund geringere Stickstoffanteile von 1,35 % existieren. In 20 m Tiefe steigt der Anteil nur leicht auf 1,48 %. Weitere 10 m darüber, bei einer Tiefe von 10 m sind es jedoch schon 2,82 % Stickstoff und an der Oberfläche 2,41 %.

### **3.1.3 Gesamtkohlenstoff und Organischer Kohlenstoff**

Durchschnittlich betragen die Anteile des Gesamtkohlenstoffes bis einschließlich 500 m Tiefe etwa 13,8 %. Bis einschließlich 1000 m Tiefe liegen die Anteile mit ca. 13,4 % leicht darunter. Ab 1000 m verringert sich der Gesamtkohlenstoffanteil auf einen Mittelwert von ungefähr 9,5 %. Ähnlich der Stickstoffverteilung stechen einige Abweichungen von diesem Mittelwert hervor, die in Abbildung 3.3 zu sehen sind.

An der äußersten Station 316 sind die Anteile an der Oberfläche mit 10,27 % und in 40 m Tiefe mit 7,47 %, sowie darunter in 100 m Tiefe mit 8,26 % und bei 300 m mit 10,08 % unter dem Durchschnitt. Die Messung einer Probe aus 1000 m Tiefe zeigt jedoch, dass sich der Wert mit 13,4 % wieder auf den durchschnittlichen Wert erhöht. Ein anderer auffälliger Bereich mit geringen Anteilen am Gesamtkohlenstoff ist entlang des Kontinentalhanges zu sehen. An den Stationen 306 und 307 fällt der Anteil am Boden unter 7,5 %, was in Abbildung 3.3 deutlich zu sehen ist. Die niedrigen Anteile sind bis zum Ende des Kontinentalhanges zu verfolgen. Die blauen Bereiche in Abbildung 3.3 sprechen hier für Werte knapp unter 10 %. Unauffällig, aber dennoch etwas unter dem Durchschnitt liegt ein Bereich zwischen 10 m und 30 m Tiefe an der Station 308. Im Mittel liegen die Anteile hier bei 10,3 %, was eine Ausbeulung der 12,5 % -Linie an dieser Stelle in Abbildung 3.3 zur Folge hat.

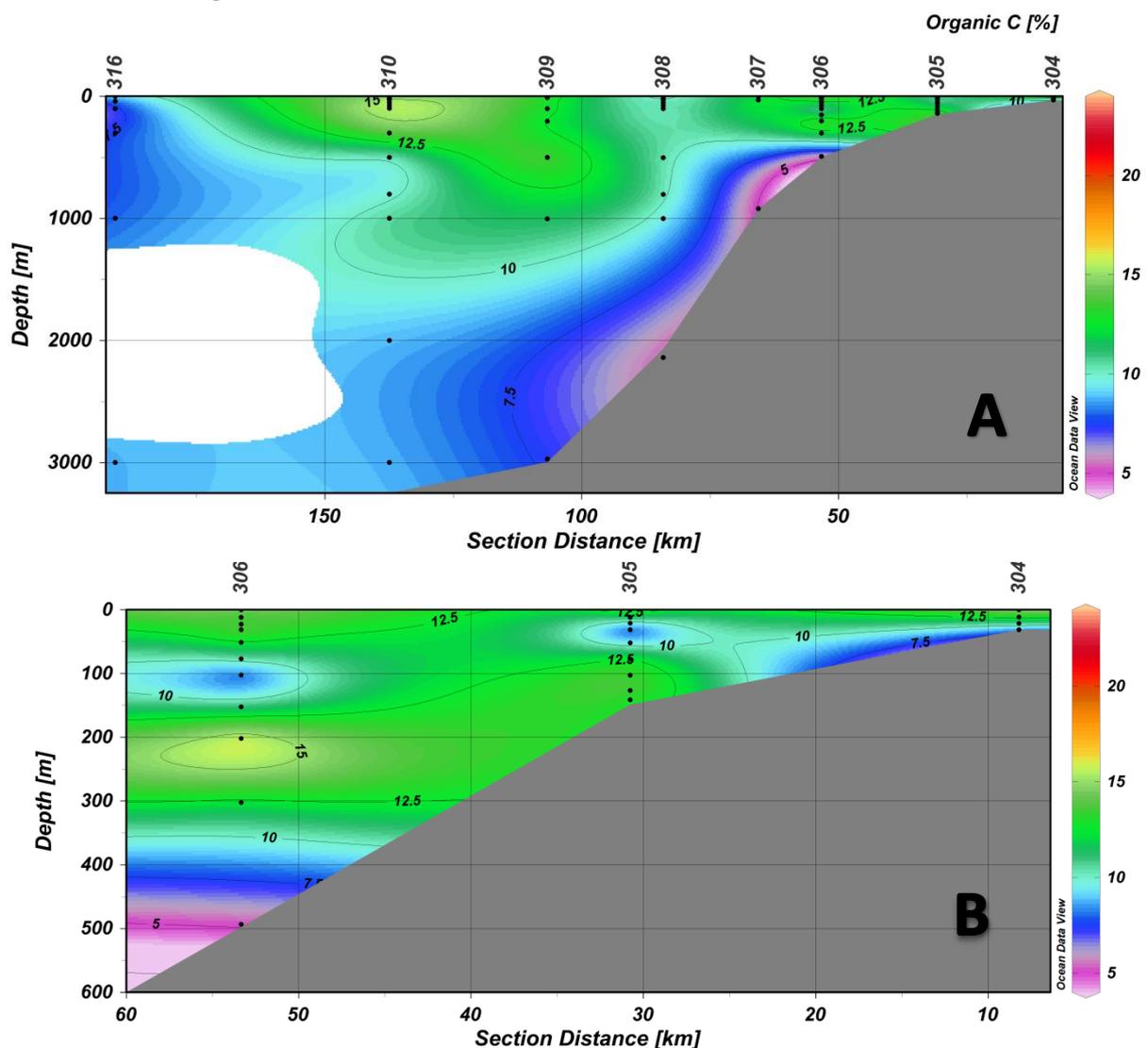
Positive Abweichungen vom Mittelwert über 1000 m sind in höheren Bereichen der Station 310, etwa 140 km von der Küste entfernt zu erkennen. In Abbildung 3.3 sind hier Bereiche mit Anteilen über 15 % zu sehen. In 30 m Tiefe sind es 23,07 % und bei 50 m 20,77 %. Die Kohlenstoffanteile der nächsten, etwas weiter östlich gelegenen Station 309 weisen ebenfalls positive Abweichungen vom Mittelwert auf. Direkt an der Oberfläche sind es 21,21 % Kohlenstoff und damit mehr als in jeder anderen Probe aus dem Oberflächenwasser auf 17°S. Ebenfalls etwas höher liegen die Anteile zwischen den Stationen 306 und 305, wobei an der Station 306 leichte Schwankungen mit zunehmender Tiefe zu erkennen sind. Die 15 % - Linie in Abbildung 3.3 schließt die Station in 50 m Tiefe aus. Hier liegt der Anteil mit 13,47 % jedoch nur knapp darunter.



**Abbildung 3.3:** Gesamtkohlenstoff-anteile des SPM in % auf dem Transekt 17,25°S bei Kunene. Gesamtansicht (A), Ausschnitt (B)

Die Verteilung des Organischen Kohlenstoffs ist auf den ersten Blick der Verteilung des Gesamtkohlenstoffes sehr ähnlich. Wie in Abbildung 3.4 zu erkennen, sind die Anteile allgemein etwas geringer.

Ein Bereich mit niedrigen Anteilen befindet sich auch hier entlang des Kontinentalhanges, die dort unterhalb von 7,5 % und am Übergang zum Schelf um die 5 % liegen. Darüber hinaus sind auch an der Station 316 niedrigere Anteile über die gesamte Tiefe zu erkennen. Nur an der Oberfläche betragen die Anteile mit 10,18 % knapp über 10 %. Darüber hinaus sind auch hier die niedrigeren Werte in Bereichen nahe der Oberfläche an der Station 308 zu erkennen. Die Anteile betragen hier maximal 10,41 %.



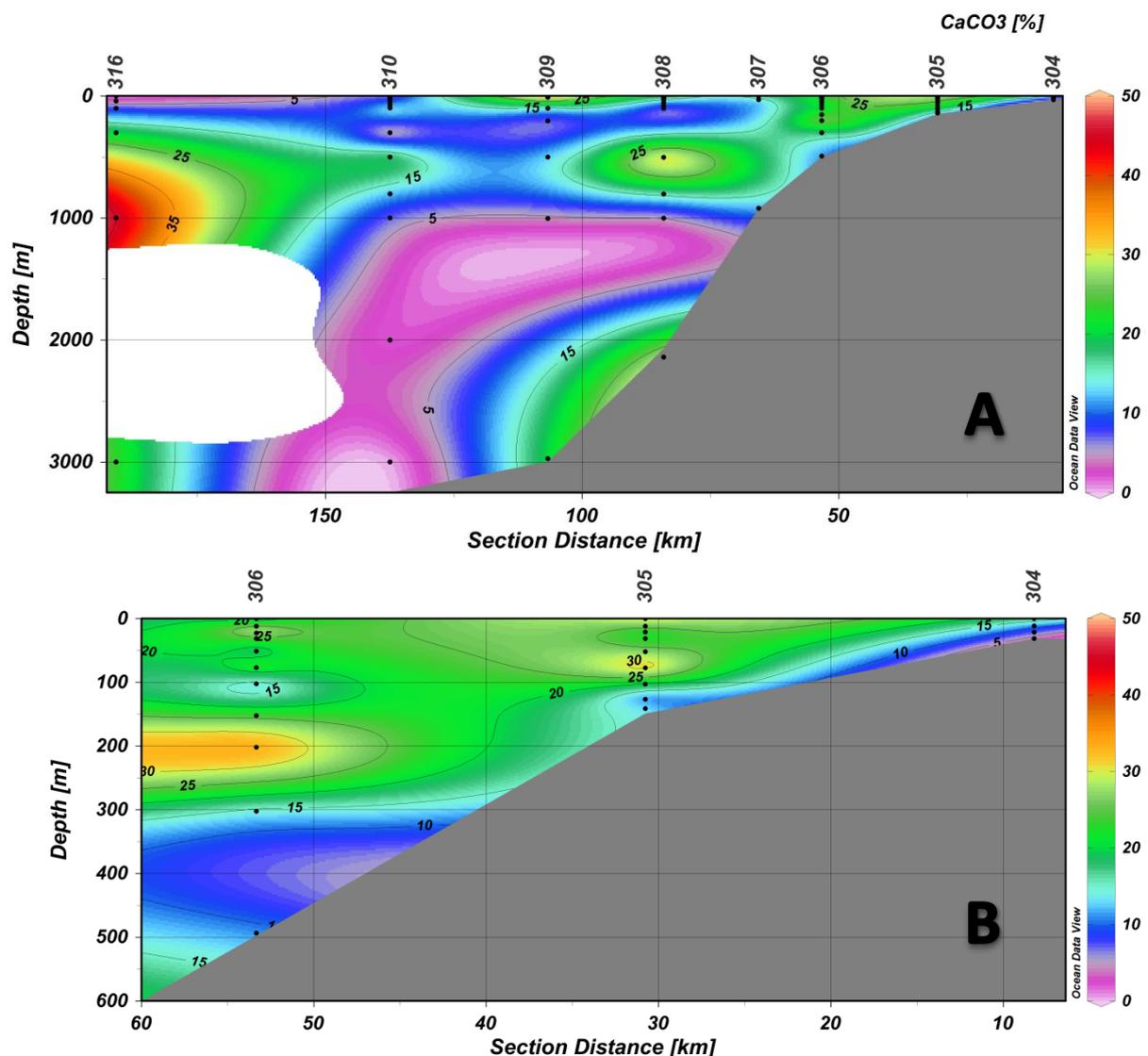
**Abbildung 3.4:** Organischer Kohlenstoffanteil des SPM in % auf dem Transekt 17,25°S bei Kunene. Gesamtansicht (A), Ausschnitt (B)

Anteile, die höher als 12,5 % liegen, sind vor allem in dem Bereich an der Oberfläche der Station 310 zu sehen, die sich aber noch nach Osten bis zur Station 309 verfolgen lassen. An dieser Station liegen die Anteile in 500 m Tiefe bei 13,67 %, was an dem Verlauf der 12,5 %-Linie zu erkennen ist.

### 3.1.4 Karbonatanteile

Die Anteile an Karbonat sind in der Region auf 17°S ungleichmäßig in ihrer Tiefe und Entfernung zur Küste verteilt. Ein Bereich mit hohen Anteilen liegt zwischen 30 km und 60 km Entfernung zu Küste Die Station 305 hat bis in eine Tiefe von 100 m einen durchschnittlichen Anteil von 26,2 %. Die Station 306 hat zwischen 10 m und 200 m einen ähnlichen Mittelwert von 25,1 %. Weiter westlich, an der Station 308, fällt ein Bereich in 500 m Tiefe mit hohen Anteilen auf, die hier 33,32 % betragen.

Unterhalb der hohen Anteile auf dem Schelf fallen Bereiche mit geringen Anteilen auf, die auf dem Grund von der Schelfkante bis zur Küste reichen (Abbildung 3.5 (B)). An den Stationen 306 und 304 sind es noch unter 10 %, an der letzten Station vor der Küste mit der Nummer 304 ist ein Bereich zu sehen, der unterhalb von 5 % liegt.



**Abbildung 3.5:** Karbonatanteile des SPM in % auf dem Transekt 17,25°S bei Kunene. Gesamtansicht (A), Ausschnitt (B)

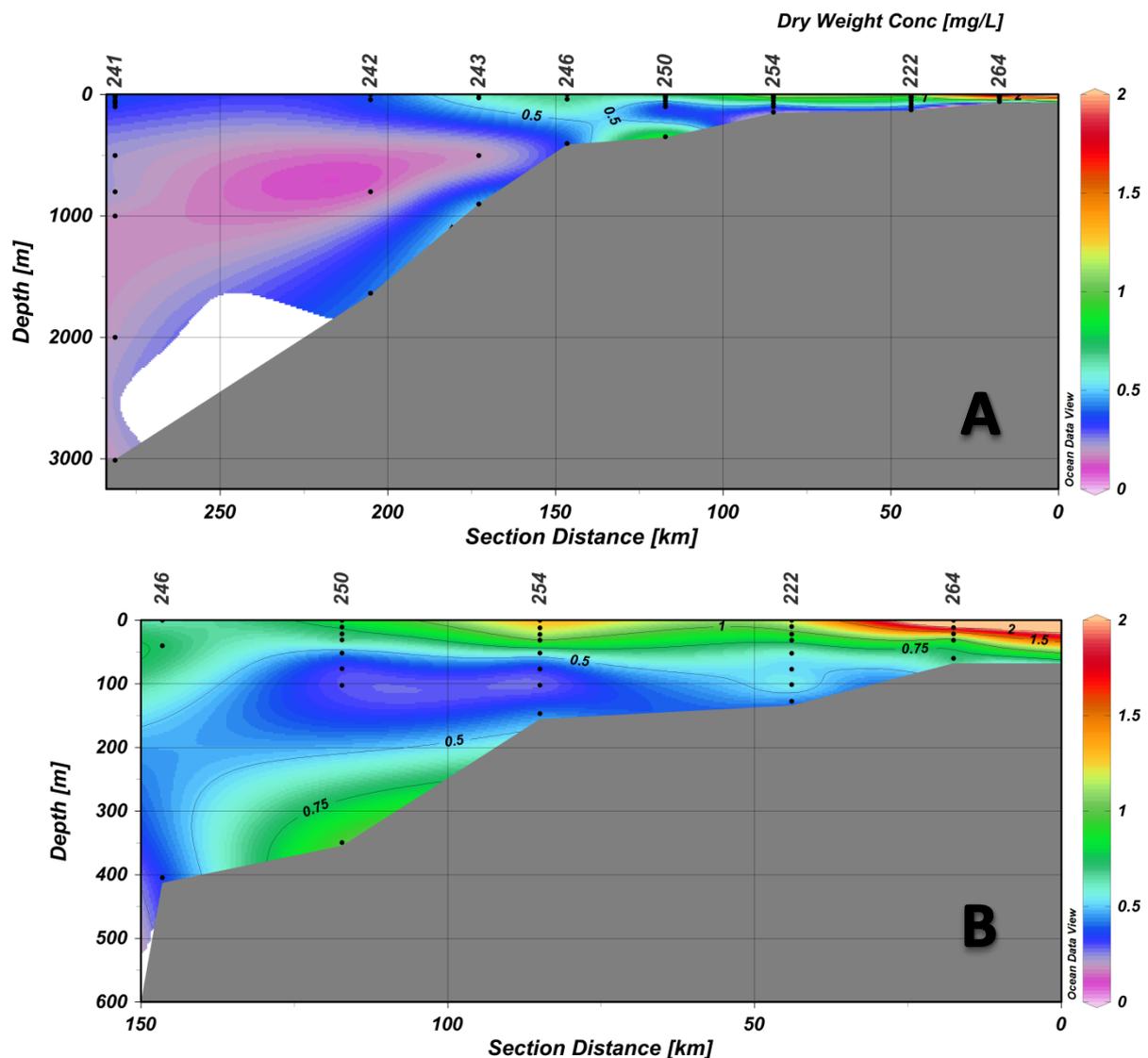
Deutlich hohe Anteile befinden sich an der äußersten Station in 1000 m Tiefe, die hier 45,12 % betragen. An der Oberfläche sind die Anteile hier mit 0,76 % dagegen sehr gering.

Im unteren Teil des Kontinentalhanges ab etwa 2000 m und 80 km entfernt von der Küste beginnt ein weiterer Bereich mit höheren Anteilen, der in 3000 m Tiefe und etwas mehr als 100 km Entfernung zur Küste endet. Dieser wird von einem Bereich mit niedrigen Anteilen umgeben, die sich etwa 50 km vom Fuße des Kontinentalhanges entfernt befindet und vom Grund bis 1000 m Tiefe reicht. Von dort erstreckt sich der Bereich bis zur Mitte des Kontinentalhanges und bleibt in der Tiefe von 1000 m. Die Anteile liegen hier unter 5 %, wie in Abbildung 3.5 zu erkennen ist.

## 3.2 23°S-Transekt (Walvis Bay)

### 3.2.1 Trockengewicht

Das Trockengewicht ist besonders im westlichen Teil des Gebietes, ab 150 km, über dem Kontinentalhang sehr gering. Ein großer Bereich links in der Abbildung 3.6 hat hier Anteile unterhalb von 0,25 mg/L. Die Werte übersteigen erst bei der Station 243 die 0,5 mg/L an der Oberfläche und auf dem Kontinentalhang. Auf dem Schelf sind an der Oberfläche höhere Werte zu erkennen, die im äußeren Bereich des Schelfs bis zum Boden reichen. Auf dem Grund des Schelfs zwischen knapp 100 km und der Küste sind die Werte wieder geringer und liegen unterhalb von 0,5 %, was durch die Linie in Abbildung 3.6 deutlich wird. Nah an der Küste in der Abbildung 3.6 sind im Oberflächenwasser der Station 264 mit 3,11 mg/L und 2,44 mg/L in 10 m Tiefe relativ hohe Werte deutlich zu sehen.



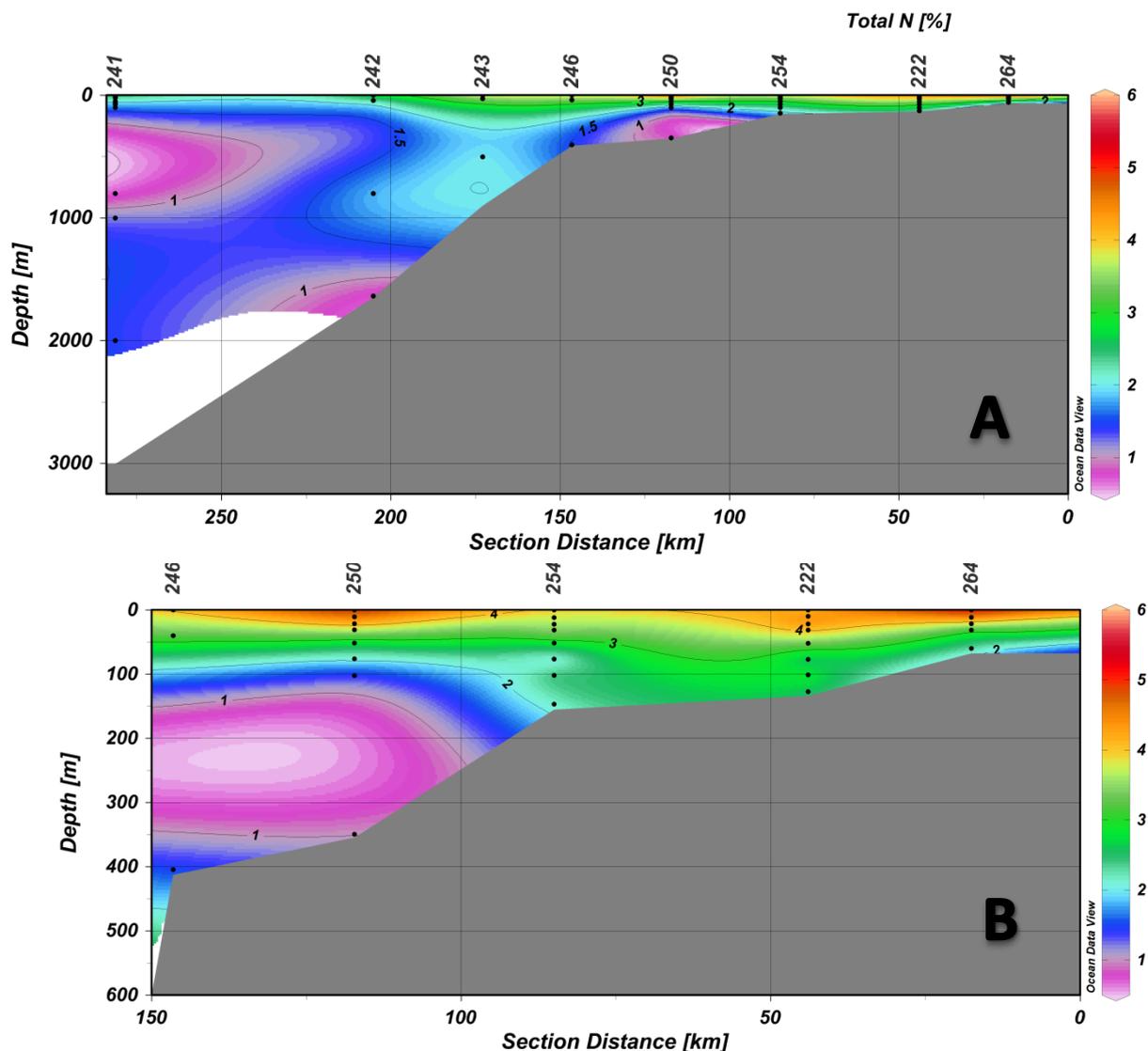
**Abbildung 3.6:** Trockengewicht des SPM in mg/L auf dem Transekt 23°S bei Walvis Bay. Gesamtansicht (A), Ausschnitt (B)

### 3.2.2 Stickstoffanteile

Die Stickstoffanteile der Oberfläche haben einen Mittelwert von 3,9 % und liegen damit um mehr als einen Prozent höher als die Anteile auf 17°S, die durchschnittlich 2,4 % betragen. Der höchste Anteil an Stickstoff im Oberflächenwasser liegt vor der Küste, an der ersten Station 264 mit 5,17 %. Mit Ausnahme der letzten Station 241 bleiben die Werte an der Oberfläche über 3 %, wie in Abbildung 3.7 zu sehen ist. Einzige Auffälligkeit ist hier eine kurze Unterbrechung der besonders hohen Werte an der Station 254, wo die Anteile etwas geringer an der Oberfläche sind.

Geringe Anteile unter oder um 1 % zeigen sich an drei Stellen. Auf dem Grund im äußeren Schelfbereich liegt der Anteil an der Station 250 mit 0,99 % knapp darunter. Auf dem Grund in der Mitte des Kontinentalhanges in 200 km Entfernung zur Küste mit 0,74 % und an der äußeren Station 241 in 800 m Tiefe mit 0,7 % liegen die Werte ebenfalls unter 1 %.

Die restlichen Bereiche, die den größten Anteil der Abbildung 3.7 einnehmen liegen zwischen 1 % und 2 %. Auffällig sind hier nur noch leicht erhöhte Werte an der Schelfkante.

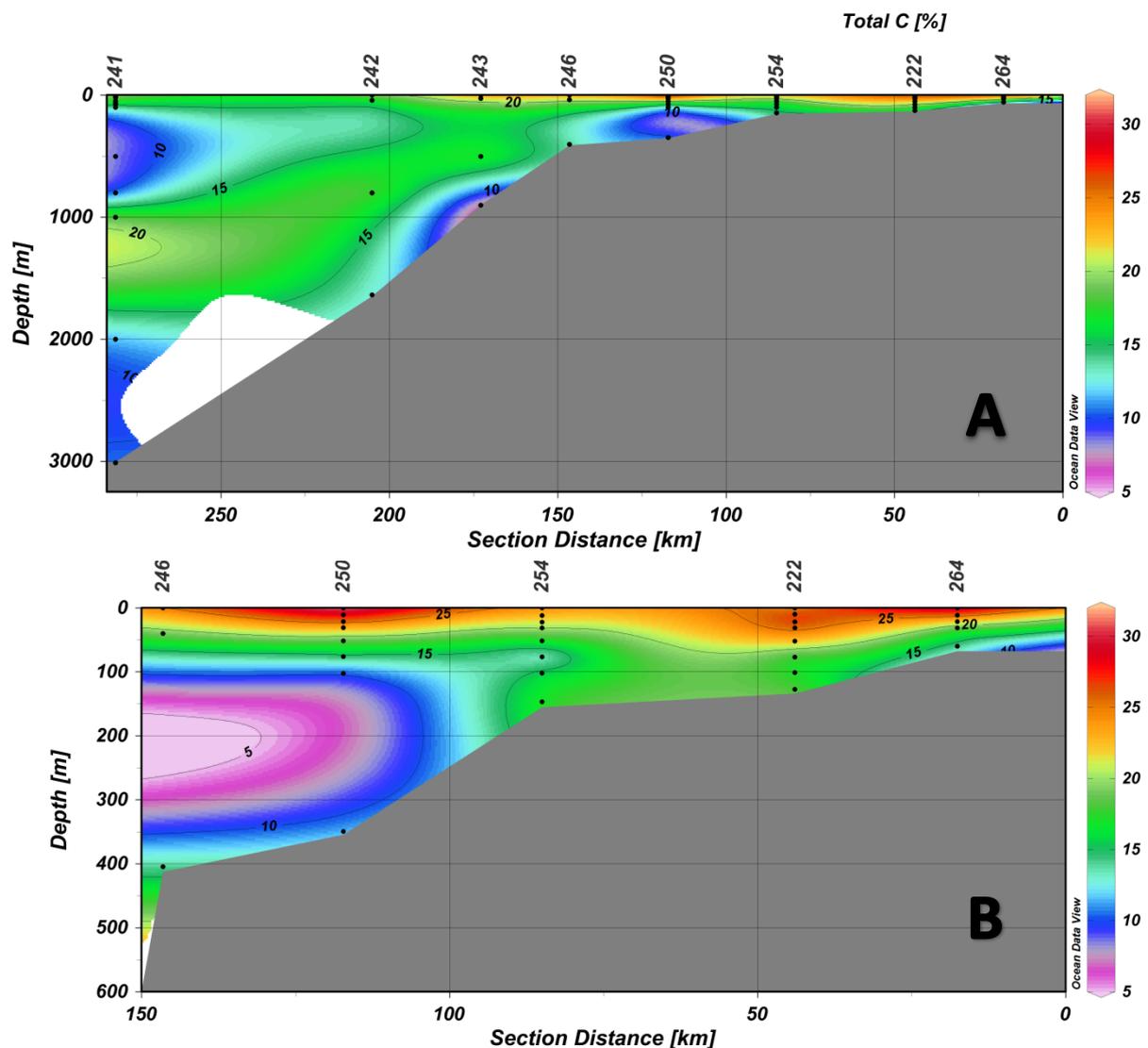


**Abbildung 3.7:** Stickstoffanteile des SPM in % auf dem Transekt 23°S bei Walvis Bay. Gesamtansicht (A), Ausschnitt (B)

### 3.2.3 Gesamtkohlenstoff und Organischer Kohlenstoff

Die Gesamtkohlenstoffanteile am Transekt auf 23°S betragen im Durchschnitt an der Oberfläche 24,4 %. Die nah an der Küste gelegene Station 264 hat an der Oberfläche einen Gesamtkohlenstoffanteil von 31,1 % und liegt damit höher als alle anderen Oberflächenwerte. Die anderen Anteile an der Oberfläche betragen mit Ausnahme der Station 241 immer über 20 %, was in Abbildung 3.8 auch gut dargestellt ist. Auffällig ist ein kleiner Einschnitt auf Höhe der Station 254, der auch in Abbildung 3.8 zu sehen ist. Anteile über 20 % gibt es an dieser Station nur bis 30 m, Anteile in der Nähe von 25 % gar nicht.

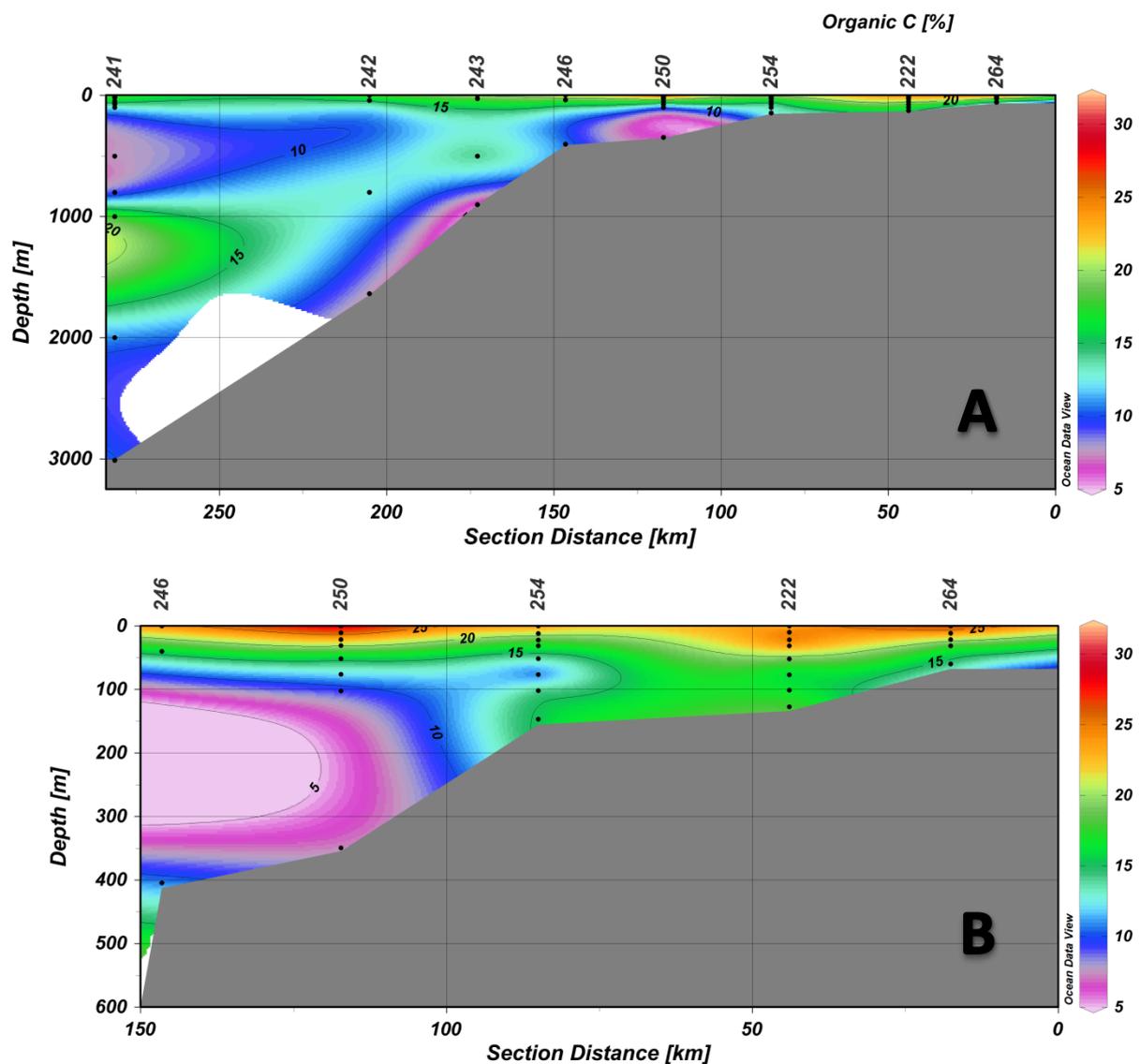
Höhere Anteile in größeren Tiefen fallen an der Station 241 auf. In 1000 m Tiefe liegt der Anteil knapp unter 20 %. Aufgrund der Interpolation geht dieser Bereich bis zur Station 242 in 800 m Tiefe über. Hier ist der Anteil am Gesamtkohlenstoff mit 17,9 % leicht erhöht.



**Abbildung 3.8:** Gesamtkohlenstoffanteil des SPM in % auf dem Transekt 23°S bei Walvis Bay. Gesamtansicht (A), Ausschnitt (B)

Im oberen Bereich des Kontinentalhanges, an der Station 243 befindet sich am Boden, in 900 m Tiefe mit 6,68 % der geringste Anteil des gesamten Kohlenstoffes überhaupt. Weitere Zonen mit niedrigen Anteilen sind an der Station 241 in 500 m Tiefe mit 8,64 % und ab 2000 m zu finden. Auf dem Schelf befindet sich im äußeren Bereich in 100 m Tiefe ein niedriger Anteil von unter 10 %. Wie in Abbildung 3.8 zu erkennen ist, steigt hier der Anteil am Grund nur leicht über 10 %.

Wie in Abbildung 3.9 zu sehen ist, sind die Anteile des Organischen Kohlenstoffes niedriger als die des Gesamten Kohlenstoffes, jedoch ergibt sich hier eine ähnliche Verteilung. Ein Bereich mit niedrigen Anteilen ist ebenfalls auf dem äußeren Schelf und im oberen Bereich des Kontinentalhanges zu finden. Darüber hinaus ist auch an der äußersten Station 241 der Anteil in den Tiefen 500 m mit unter 10 % und in 800 m mit knapp über 10 % gering. Ähnlich ist die Situation auch am Grund, wo der Anteil nur 10,4 % beträgt.



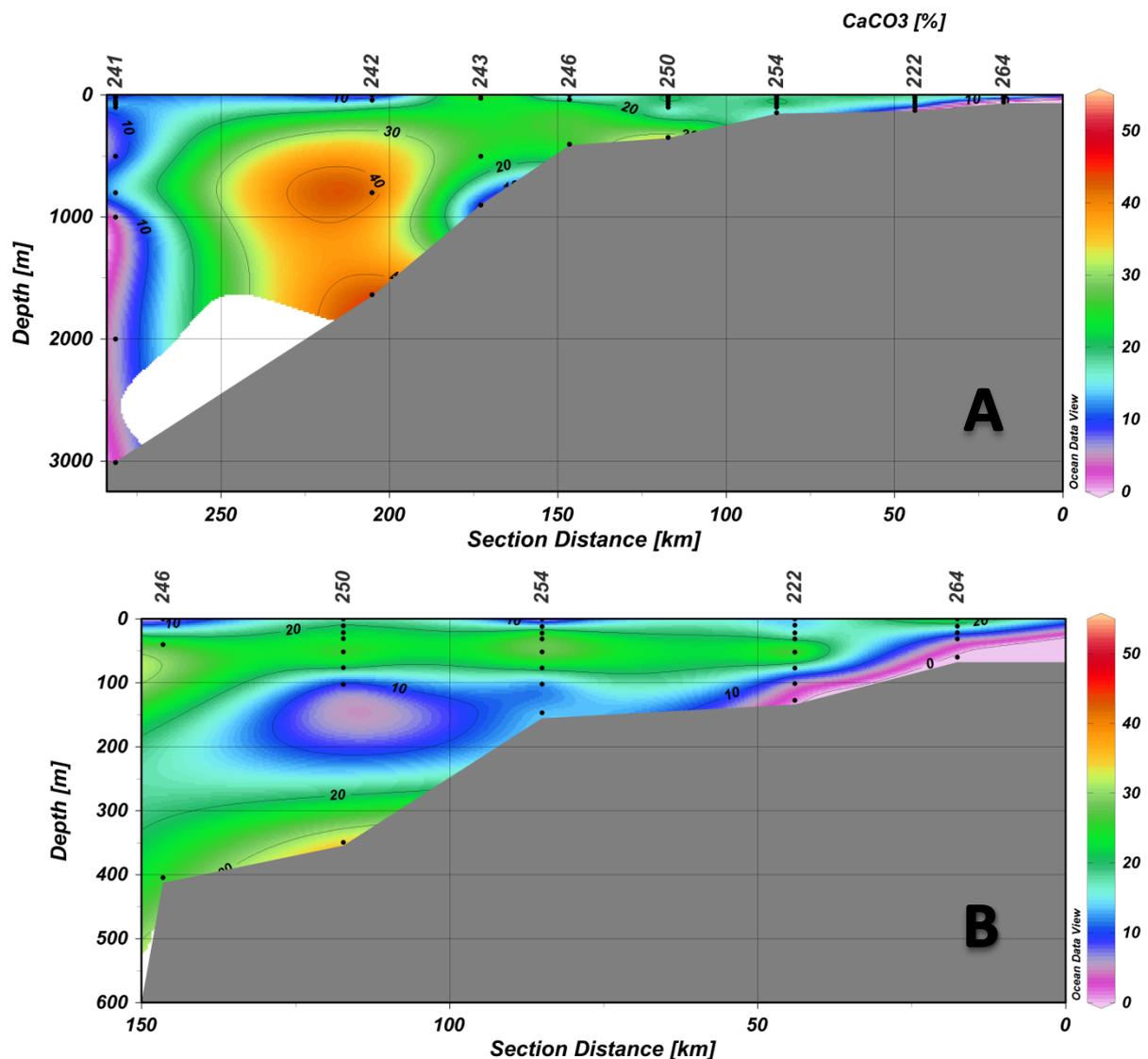
**Abbildung 3.9:** Organischer Kohlenstoffanteil des SPM in % auf dem Transekt 23°S bei Walvis Bay. Gesamtansicht (A), Ausschnitt (B)

Die Bereiche mit hohen Anteilen liegen ebenfalls an der Oberfläche. Besonders hoch sind die Anteile an den Stationen 250 und 264 mit 28,6 % und 28,3 %. Auch die Verteilung des Organischen Kohlenstoffes sinkt etwas an der Oberfläche im Bereich der Station 254.

### 3.2.4 Karbonatanteile

Die Karbonatanteile sind auf dem Transekt entlang 23°S sehr unregelmäßig verteilt und reichen von 0,16 % bis 53,55 %, durchschnittlich sind es 16,2 %.

Auffällig wenig Karbonat befindet sich unterhalb von 10 m an der Station 264 vor der Küste. Dort fällt der Gehalt von 9,19 % in 20 m Tiefe auf 0,79 % am Boden. Auf dem küstennahen Schelf ist der Karbonatgehalt allgemein etwas niedriger, wie in Abbildung 3.10 (B) zu sehen ist. Ebenfalls niedrig ist der Anteil auf dem oberen Kontinentalhang an der Station 243, der hier 7,8 % beträgt. Auffällig niedrig ist darüber hinaus noch der Anteil an der äußeren Station 241 über die gesamte Wassersäule, wie in Abbildung 3.10 (A) deutlich zu sehen ist.



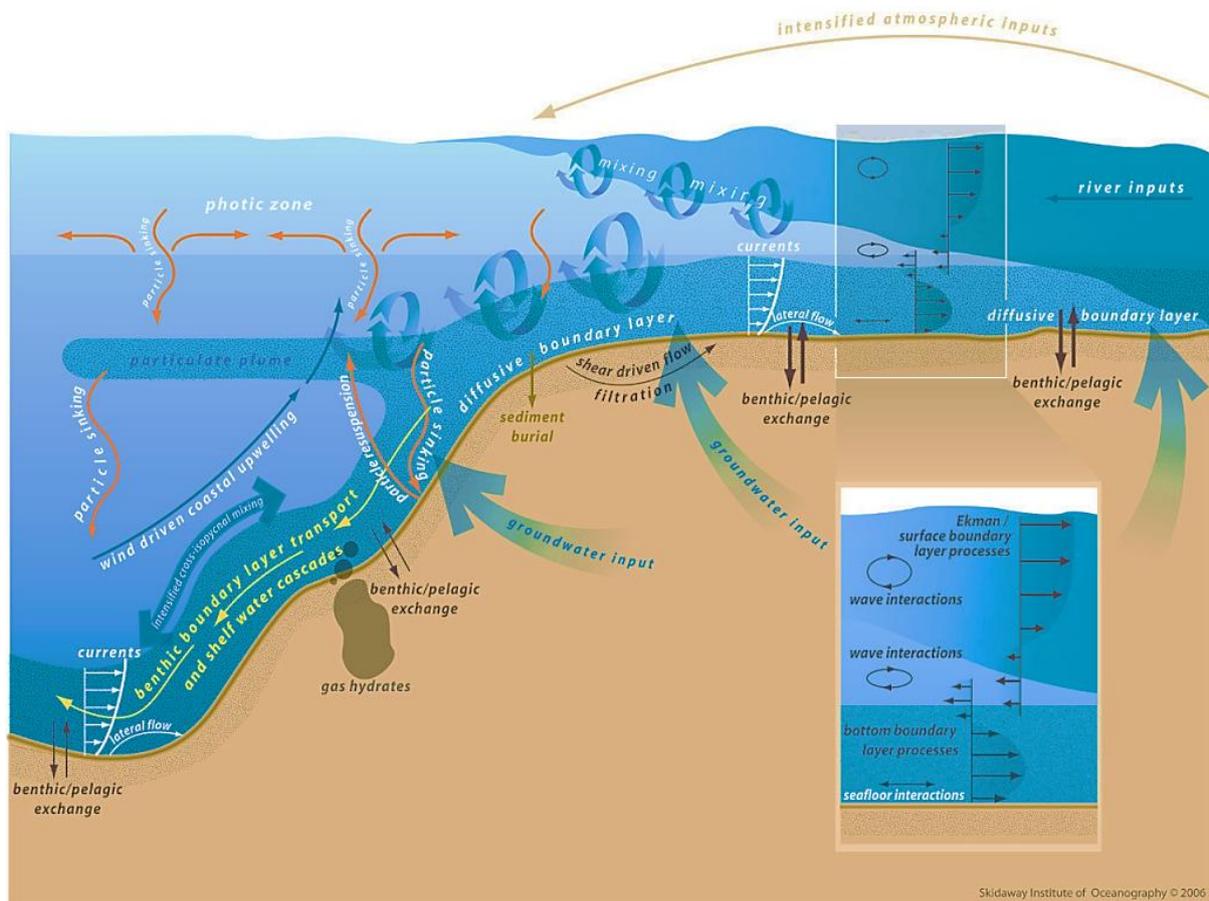
**Abbildung 3.10:** Karbonatanteile des SPM in % auf dem Transekt 23°S bei Walvis Bay. Gesamtansicht (A), Ausschnitt (B)

Sehr hoch hingegen sind die Anteile mittig über dem Kontinentalhang. An der Station 242 betragen die Anteile in der Tiefe von 800 m und am Grund über 40 %. Der äußere Schelfbereich bildet mit einigen Anteilen über 30 % ein weiteres Gebiet, das höhere Anteile an Karbonat enthält.

## 4 Diskussion

### 4.1 Verteilung der Suspensionsfracht

Wie in den Methoden bereits beschrieben wurde, lässt sich durch den Filtrerrückstand die Konzentration von suspendiertem Material im Wasser ermitteln. Besonders hoch sind die Konzentrationen von suspendiertem Material an der Oberfläche auf beiden Transekten. Ursache hierfür ist zum einen, dass in der photischen Zone an der Oberfläche die Primärproduktion stattfindet und dadurch die Menge an Suspensionsfracht erhöht wird. Darüber hinaus spielt an der Oberfläche auch der Eintrag von Material über Flüsse und die Atmosphäre eine Rolle, der vor allem in den oberen Bereichen der Wasserschichten und im Falle von Eintrag durch Flüssen, nah an der Küste einen Einfluss hat. Einen Überblick über die grundlegenden Prozesse auf dem Schelf bietet die Abbildung 4.1.

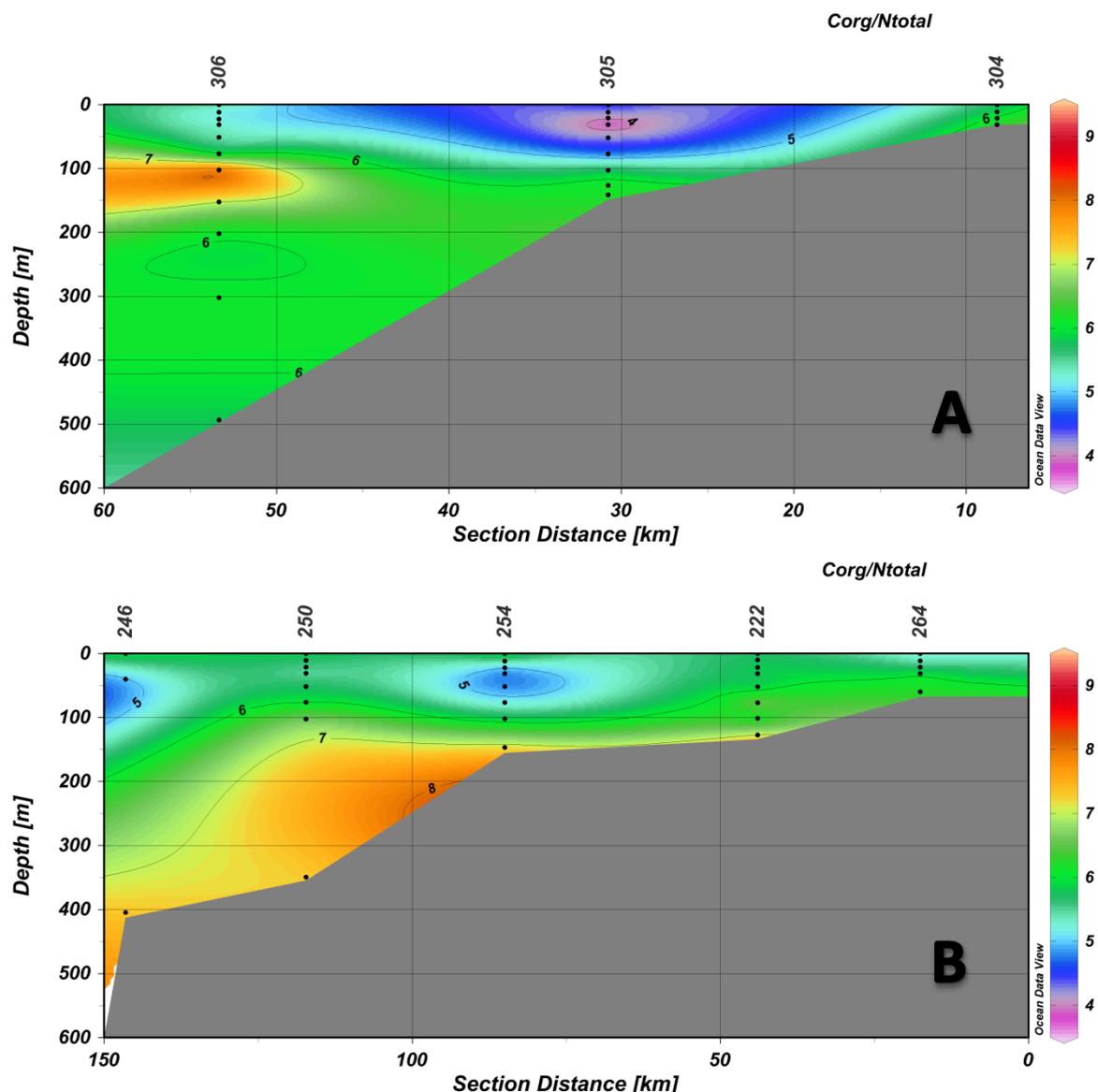


**Abbildung 4.1:** Überblick der wesentlichen Prozesse an Kontinentalrändern (Jahnke, 2010).

Auf der Abbildung 4.1 ist deutlich zu sehen, dass ein Transport des Materials über den Schelf und Kontinentalhang, sowie lateral an der Schelfkante stattfindet. Das aufgewirbelte Material führt zu höheren Konzentrationen der Suspension innerhalb dieser Bereiche nahe am Boden. Besonders auf dem Kontinentalhang sind diese höheren Konzentrationen auch in den Abbildungen 3.1 (A) und 3.6 (A) zu sehen.

Betrachtet man die Situation auf dem Schelf der beiden Transekte etwas genauer, fällt ein erhöhter Gehalt an Suspensionsfracht im Bereich der Küste bei 17°S auf. An der Station 304

in diesem Bereich beträgt die Konzentration in jeder Tiefe über 2 mg/L (Abbildung 3.1 (B)). Dafür könnte der Eintrag durch den Fluss Kunene verantwortlich sein, der an dieser Stelle in den Südatlantik mündet. Der Sedimenteintrag durch Flüsse ist allgemein die größte Quelle für neues Material, welches in die Küstensysteme transportiert wird (Syvitski et al., 2005, in Gao, 2010). Andererseits sind die C/N-Verhältnisse in diesem Bereich nicht erhöht, oder höher als auf 23°S, was die Folge des Eintrags von Material über den Fluss in den Schelfbereich wäre (Abbildung 4.2). Das C/N-Verhältnis liegt hier im Bereich von etwa 4 - 7. Frisches Material hat im marinen Milieu ein C/N-Verhältnis von 5 - 8, das C/N-Verhältnis von Landpflanzen ist 20 oder größer (Emerson und Hedges, 1988, in Twichell et al., 2002). Über Flüsse gelangt Material von Landpflanzen in den Ozean, wodurch sich das Verhältnis in Richtung des Kohlenstoffs verschiebt.

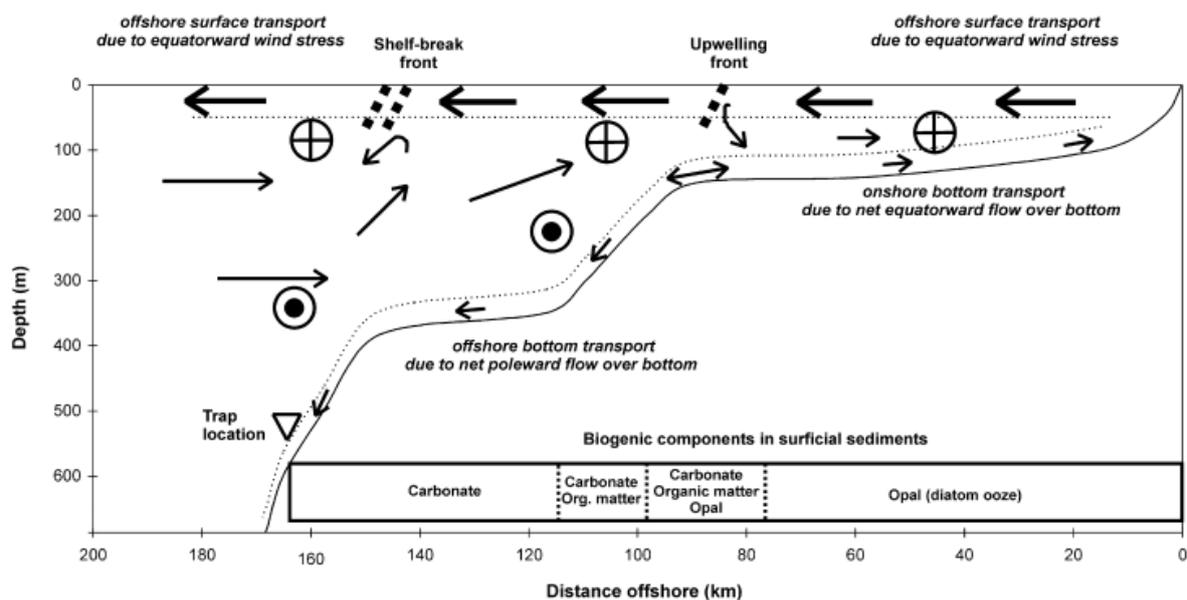


**Abbildung 4.2:** Corg/N Verhältnis auf dem Schelf bei 17°S (A) und 23°S (B)

Auffällig ist an der Station 304 auf 17°S auch die Art der Verteilung des suspendierten Materials. An der Oberfläche ist die Konzentration mit 3,61 mg/L nicht viel höher als an der Oberfläche der küstennahen Station 264 auf 23°S, mit 3,11 mg/L. Jedoch fallen die Werte auf

23°S mit zunehmender Tiefe recht schnell auf 0,55 mg/L in 20 m Tiefe und steigen wieder auf knapp 1 mg/L am Boden. Auf 17°S hingegen, an der Station 304, bleiben die Werte bis zum Boden über 2 mg/L. Daraus folgt, dass hier kein Eintrag von Material stattgefunden hat, der das Verhältnis verschiebt. Darüber hinaus ist auch die verstärkte Resuspension von älterem Material eher unwahrscheinlich, da sonst das C/N-Verhältnis ebenfalls erhöht wäre, wie es bei resuspendiertem Material der Fall ist (Giraudeau, 2000). Ein Grund für diese Verteilung könnte eine stärkere Durchmischung der Wassersäule an der Küste auf 17°S sein, wodurch auch frisches Material mit relativ niedrigen C/N-Verhältnissen in tiefere Bereiche gelangt. Jahnke (2010) beschreibt die Intensität der Durchmischung in Abhängigkeit von der Morphologie in der Küstenregion. Unterschiede gibt es vor allem zwischen Küstenregionen, in denen der Schelf dominiert, wie auf 23°S und in Regionen, wo der Kontinentalhang in seiner Ausprägung überwiegt, wie auf 17°S.

Ebenfalls erhöhte Konzentrationen findet man auf dem Kontinentalhang und am Ende des Schelfs. An diesen Stellen wird vermutlich schon älteres Material resuspendiert. Verantwortlich dafür sind Strömungen und Wellen auf dem Schelf, die das Material wieder in Suspension bringen (Lass und Mohrholz 2005; Gao 2010). In der schematischen Darstellung eines Schelfs von 25,5°S von Giraudeau (2000, Abbildung 4.3) sind diese Strömungen zu sehen. Die Morphologie des Schelfs ist hier ähnlich wie auf 23°S.



**Abbildung 4.3:** Schematisches, dreidimensionales Konzeptmodell für die Strömungen über dem Schelf bei Walvis Bay. Eingekreiste Punkte stehen für polwärtige Strömungen, die Kreise mit Kreuzen deuten auf Strömungen in Richtung Äquator (Giraudeau et al., 2000).

Darüber hinaus sind in der Abbildung 4.3 einzelne Bereiche der Schicht an der Oberfläche voneinander getrennt, die zum einen durch den Auftrieb und zum anderen durch Strömungen über die Schelfkante hinaus entstehen. Dadurch wird in der Oberflächenschicht die Verbreitung des suspendierten Materials unterbrochen (Giraudeau, 2000). Eine ähnliche Unterbrechung ist ungefähr 50 km von der Küste entfernt auf 23°S zu sehen (Abbildung 3.6 (B)). Die Menge an suspendiertem Material ist hier geringer als an den

umliegenden Stationen. Eine zweite Unterbrechung liegt etwa 120 km weit draußen, wo an der Station 250 erneut geringe Konzentrationen an der Oberfläche vorhanden sind (Abbildung 3.6 (B)). Die schematische Darstellung entspricht zwar nicht den morphologischen Gegebenheiten auf 17°S, jedoch ist auch hier eine Unterbrechung der Oberflächenschicht durch geringe Mengen an suspendiertem Material zu sehen. Zwischen 30 km und 40 km Entfernung von der Küste ist die Konzentration der Suspensionsfracht an der Oberfläche deutlich geringer (Abbildung 3.1 (B)).

Zwischen 100 m und 200 m Tiefe auf dem Schelf bei 23°S sind deutlich niedrigere Konzentrationen zu finden. Diese Zwischenschicht scheint unter geringerem Einfluss von Strömungen zu stehen.

## 4.2 Stickstoffanteile der Suspensionsfracht

Die Anteile an Stickstoff in dem suspendierten Material sind dort sehr hoch, wo sich frisches Material befindet, das C/N-Verhältnis ist hier niedrig (Abbildung 4.4). Das ist in beiden Teilen des Arbeitsgebietes, bei 17°S und 23°S an der Oberfläche der Fall.

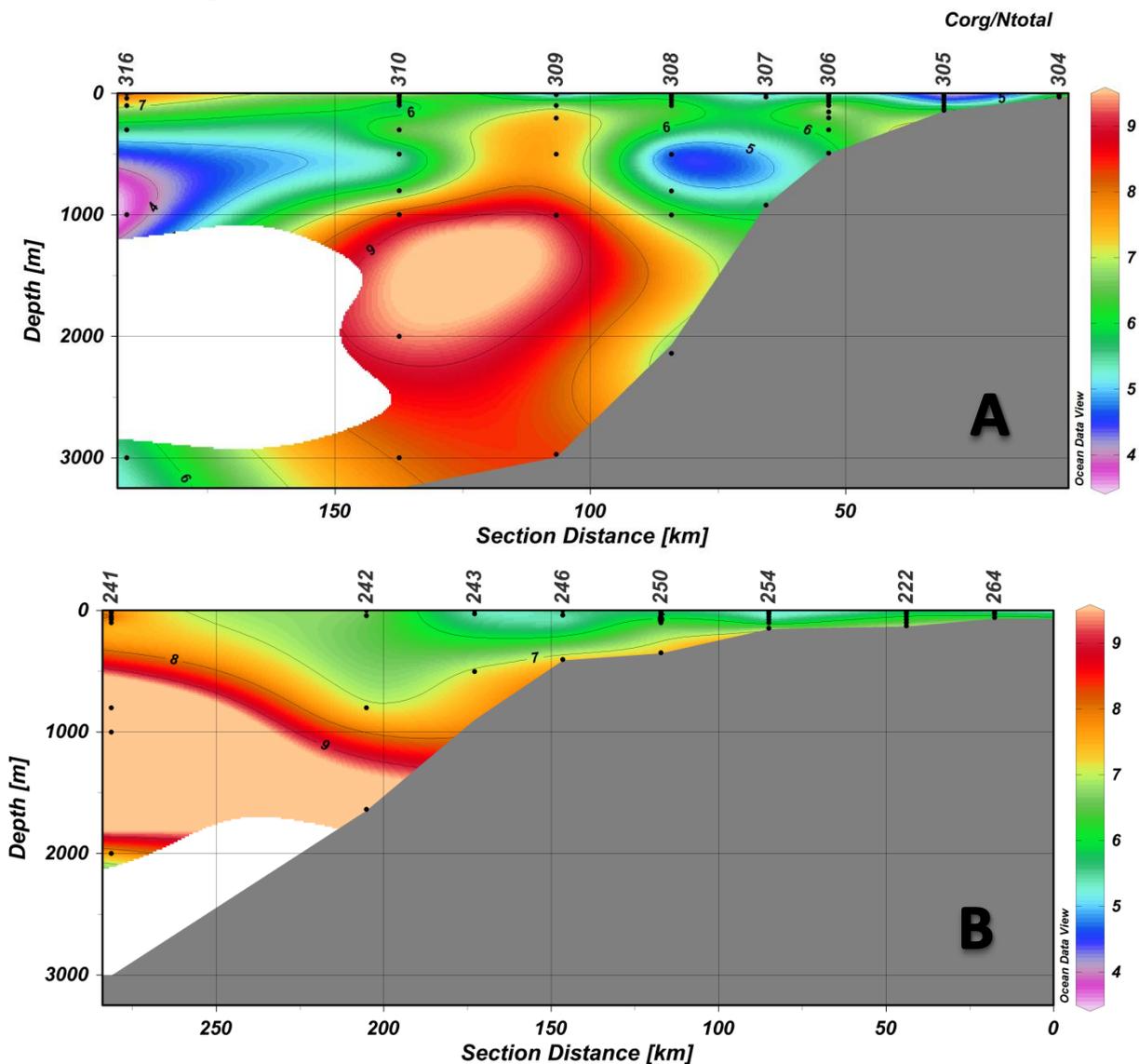


Abbildung 4.4: Corg/N Verhältnis auf 17°S (A) und 23°S (B).

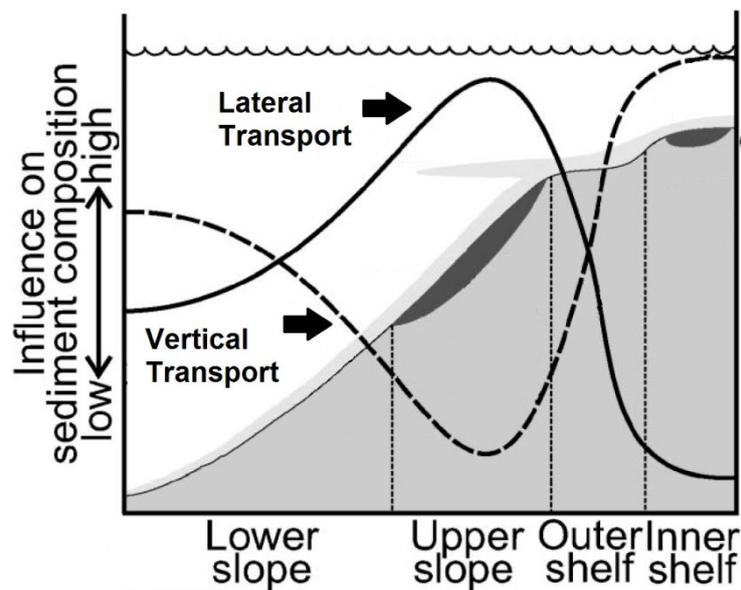
Besonders niedrig sind die Anteile, mit Ausnahme der Oberfläche, wo die Konzentrationen von suspendiertem Material erhöht sind. Dazu zählt der Kontinentalhang in beiden Fällen und der untere Schelfbereich auf 23°S. Resuspendiertes Material ist älter und hat höhere C/N-Verhältnisse (Giraudeau, 2000), ist also an Stickstoff abgereichert, was hier an den niedrigen Stickstoffanteilen zu erkennen ist. Kohlenstoff wird zwar ebenfalls abgebaut, jedoch in geringerer Geschwindigkeit. Während des Absinkens der Suspension werden bevorzugt die stickstoffhaltigen Proteine, im Gegensatz zu Komponenten aus Kohlenwasserstoff, durch mikrobielle Aktivität zersetzt (Verardo und MacIntyre, 1994), was zu einem Anstieg des C/N-Verhältnisses mit zunehmender Tiefe führt. Besonders gut ist dieser Anstieg auf 23°S zu beobachten, wie in Abbildung 4.4 (B) zu sehen ist.

### **4.3 Gesamtkohlenstoff- und Organischer Kohlenstoffanteil der Suspensionsfracht**

Ähnlich wie der Stickstoffgehalt sind die Anteile vom Gesamtkohlenstoff verteilt. Dort wo die Primärproduktion Kohlenstoff im organischen Material bindet, sind die Gehalte deutlich erhöht. Der Kohlenstoff stammt größtenteils aus der Atmosphäre und wird als CO<sub>2</sub> an der Oberfläche des Meeres aufgenommen. Durch die Photosynthese wird CO<sub>2</sub> in anderer Form schließlich im organischen Material fixiert.

In den Bereichen mit hohen Konzentrationen an Suspensionsfracht, die aufgrund von Resuspension des Materials entstehen, enthalten geringere Anteile an Gesamtkohlenstoff und organischem Kohlenstoff. Ähnlich dem Stickstoff enthält älteres Material weniger Kohlenstoff, der beim Abbau von organischen Verbindungen aus dem suspendierten Material verloren geht (Verardo und MacIntyre, 1994).

Wie die gesamte Suspensionsfracht, steht auch das partikuläre organische Material unter dem Einfluss von lateralen und vertikalen Bewegungen innerhalb der Trübungsbereiche über dem Boden. Inthorn et al. (2006, Abbildung 4.5) beschreibt beide Transportbewegungen anhand einer schematischen Darstellung eines Küstenbereiches. Demnach gibt es Bereiche, in denen der vertikale Transport überwiegt, nämlich auf dem oberen Schelf und über dem unteren Kontinentalhang. Dazwischen, über dem oberen Kontinentalhang und im Bereich der Schelfkante bis unteren Schelfbereich, dominiert der laterale Transport von organischem Material (Abbildung 4.5). Vergleicht man diese Erkenntnisse mit den Ergebnissen der Verteilung des organischen Kohlenstoffes, gibt es einige Übereinstimmungen. Auf 17°S sind bis zur Schelfkante, in einer Entfernung von etwa 50 km zur Küste noch hohe Anteile an organischem Kohlenstoff in der gesamten Wassersäule vorhanden. Daraufhin beginnt an der Schelfkante, etwa zwischen 50 km und 70 km Entfernung von der Küste, ein Bereich in dem geringere Anteile an organischem Kohlenstoff gemessen wurden. Das Material unterliegt hier einem lateralen Transport und bewegt sich von der Schelfkante weg. In gleicher Tiefe, auf Höhe der Schelfkante, aber 100 km von der Küste entfernt, ist der Gehalt an organischem Kohlenstoff wieder erhöht. Der Gehalt an Stickstoff ähnelt dieser Verteilung, der ebenfalls von der Schelfkante wegtransportiert zu sein scheint.



**Abbildung 4.5:** Darstellung des vertikalen (gestrichelt) und lateralen (durchgezogen) Transports von partikulärem organischem Material bei 25.5°S (verändert nach Inthorn et al., 2006a)

An dem Transekt auf 23°S lässt sich ebenfalls eine Korrelation der Ergebnisse und den Darstellungen von Inthorn (2006, Abbildung 4.5) feststellen. Auf dem oberen Schelf, bis etwa 80 km Entfernung von der Küste sind die Anteile an Stickstoff und organischem Kohlenstoff noch bis in Bereiche über dem Boden relativ hoch. In dem unteren Schelfbereich, zwischen 100 km und 150 km Entfernung zur Küste, sind die Anteile daraufhin extrem niedrig. Etwa 1 % beträgt hier der Stickstoffanteil und der Anteil an organischem Kohlenstoff sinkt auf unter 10 %. Interessant ist dieser Bereich, da die Menge an suspendiertem partikulärem Material hier leicht erhöht ist. Über dem unteren Kontinentalhang, zwischen 1000 m und 2000 m Tiefe und ungefähr 250 km von der Küste entfernt, ist der Gehalt an organischem Kohlenstoff wieder erhöht. Der laterale Transport hat in diesem Bereich wieder weniger Einfluss.

Im Vergleich der Verteilung des Gesamtkohlenstoffes mit der Verteilung des organischen Kohlenstoffes fallen keine großen Unterschiede auf. Die Anteile des organischen Kohlenstoffes sind geringer, da eine Differenz durch den Karbonatanteil entsteht, jedoch sind keine Verteilungsmuster unterschiedlicher Art auszumachen. Um die Differenz, die für den Karbonatanteil steht, interpretieren zu können, muss dieser einzeln betrachtet werden.

#### **4.4 Karbonatanteil der Suspensionsfracht**

Die Karbonatgehalte sind vor allem von den Organismen oder deren Überresten abhängig, die in den beprobten Bereichen leben. Besitzen Organismen Schalen aus Kalzit, sind die Karbonatanteile deutlich höher. Andererseits gibt es auch Organismen, die anstelle von Kalzit Silikat in ihre Hülle einbauen, wie zum Beispiel die Diatomeen. Letztere kommen laut Giraudeau et al. (2000) (Abbildung 4.3) besonders im Bereich des oberen Schelfs vor. In den Ergebnissen von 17°S und 23°S sind niedrige Gehalte ebenfalls im oberen Bereich des Schelfs vorhanden (Abbildung 3.5 (B) und Abbildung 3.10 (B)), was mit den Ergebnissen von Giraudeau et al. (2000) übereinstimmt. Grund für diese niedrigen Anteile an Karbonaten ist der niedrige pH-Wert von Auftriebswässern (Chavez und Messié, 2009). Dadurch werden Karbonate gelöst, oder in diesen Bereichen erst gar nicht gebildet.

Andere Bereiche mit niedrigen Gehalten an Karbonat können durch polwärts strömende Wässer aus der Region des Angola Doms bedingt sein. Niedrige pH-Werte des Wassers resultieren durch die Aktivität der biologischen Pumpe (Chavez et al., 2008), die hier keinen Auftrieb erfahren, sondern in mittleren Tiefen polwärts strömen, wodurch Karbonate gelöst werden können.

In den unteren Bereichen des Schelfs sind nach der Darstellung von Giraudeau et al. (2000) wieder vermehrt karbonathaltige biogene Komponenten zu finden (Abbildung 4.3). Dies stimmt mit den Ergebnissen aus dem Gebiet in Bodennähe, zwischen 100 km und 150 km von der Küste entfernt, auf 23°S überein. Auf der äußeren, zweiten Stufe des Schelfs sind hier die Karbonatanteile erhöht.

## 5 Zusammenfassung

Im Auftriebsgebiet vor Namibia ist die Verteilung von suspendiertem partikulärem Material von mehreren Faktoren abhängig. Der Auftrieb selbst sorgt für hohe Nährstoffgehalte, die zu einer großen Primärproduktion führen. Hohe Stickstoff- und Kohlenstoffgehalte an der Oberfläche spiegeln die Produktion wider, die darüber hinaus für erhöhte Konzentrationen des suspendierten partikulären Materials sorgen.

Hohe Konzentrationen der Suspensionsfracht sind nicht nur von der Primärproduktion abhängig, sondern auch von Strömungen und Bewegungen der Wassermassen unterhalb der Oberfläche. Das Material wird dadurch wieder aufgewirbelt, was besonders in den Bereichen der Schelfkante und des Kontinentalhanges zu beobachten ist. Der wesentliche Unterschied zu den größeren Mengen an Suspension an der Oberfläche ist hier der Gehalt an organischem Material. Die Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte sind hier gering. Darüber hinaus ist in dem älteren Material das Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff größer, es ist also an Stickstoff abgereichert. Grund dafür ist die schnellere Zersetzung der stickstoffhaltigen Bestandteile, wodurch das Verhältnis in Richtung des Kohlenstoffes verschoben wird.

Darüber hat auch die Morphologie der Küstenregion einen Einfluss auf die Verteilung des Materials. An den beiden Transekten auf 17°S und 23°S ist diese sehr unterschiedlich ausgeprägt. Besonders die Strömungsverhältnisse können durch die Länge und Tiefe des Schelfbereiches beeinflusst werden, wodurch sich unterschiedliche Verteilungsmuster ergeben.

Die Karbonatgehalte im Auftriebsgebiet vor Namibia stehen direkt unter dem Einfluss der aufgetriebenen Wassermassen. Diese haben als Folge der Zersetzung organischen Materials einen niedrigeren pH-Wert, wodurch die Komponenten aus Kalziumkarbonat gelöst oder in diesen Bereichen gar nicht erst gebildet werden. Besonders am Boden des Schelfs in der Nähe der Küste sind die Gehalte gering. Hier dominieren Organismen, die nicht aus karbonathaltigen Komponenten aufgebaut sind, in diesem Falle hauptsächlich Diatomeen.

Um die Prozesse endgültig zu verstehen, ist es wichtig, die Untersuchungen in diesem Gebiet fortzuführen. Die Proben einer einzelnen Expedition bieten nur eine Momentaufnahme der Gegebenheiten vor Ort. Besonders im Rahmen des Klimawandels ist daher eine längerfristige Beobachtung notwendig, um Trends und Entwicklungen feststellen zu können, die Prozesse im Auftriebsgebiet vor Namibia verstärken oder vielleicht abschwächen könnten.

## Literaturverzeichnis

- Chavez F.P., Bertrand A., Guevara R., Soler P., Csirke J. (2008): The northern Humboldt Current System: brief history, present status and a view towards the future. *Progress in Oceanography*, 79, 95-105.
- Chavez, F.P., Messié, M. (2009): A comparison of Eastern Boundary Upwelling Ecosystems. *Progress in Oceanography*, 83, 80-96
- Chen C.-T.A. (2010): Cross-Boundary Exchanges of Carbon and Nitrogen in Continental Margins. *Carbon and Nutrient Fluxes in Continental Margins, Part III*, 561-574 Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- Gao S. (2010): Sediment and Carbon Accumulation on Continental Shelves. *Carbon and Nutrient Fluxes in Continental Margins, Part III*, 587-596 Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Giraudeau J., Bailey G. W., Pujol C. (2000): A high-resolution time-series analyses of particle fluxes in the Northern Benguela coastal upwelling system: carbonate record of changes in biogenic production and particle transfer processes. *Deep-Sea Research II*, 47, 1999-2028.
- 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.
- Inthorn M., Wagner T., Scheeder G., Zabel M. (2006): Lateral transport controls distribution, quality, and burial of organic matter along continental slopes in high-productivity areas. *Geological Society of America*, 34, 205-208.
- Jahnke R.A. (2010): Global Synthesis. *Carbon and Nutrient Fluxes in Continental Margins, Part III*, 597-615, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Kelletat D. (1999): *Physische Geographie der Meere und Küsten—Eine Einführung*. 2. Auflage, Teubner Verlag, Stuttgart, 258 S.
- Lass H.-U., Mohrholz V. (2005): On the fluctuations and vertical structure of the shelf circulation off Walvis Bay, Namibia. *Continental Shelf Research*, 25, 1473–1497.
- Liu K.-K., Atkinson L., Quinones R. A., Talaue-McManus L. (2010): Biogeochemistry of Continental Margins in a Global Context. *Carbon and Nutrient Fluxes in Continental Margins, Part I*, 3-24, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Monteiro P.M.S. (2010): The Benguela Current System. *Carbon and Nutrient Fluxes in Continental Margins, Part I, Eastern Boundary Current Systems*, 65-77.
- Reason C.J.C., Florenchie P., Rouault M., Veitch J. (2006): Influences of large scale climate modes and Agulhas system variability on the BCLME region, Benguela: Predicting a Large Marine Ecosystem, Part III: Hopes, Dreams And Reality, *Forecasting in the Benguela: Our collective wisdom*, 223-238.
- Schulz H.D., Zabel M. (2006): *Marine Geochemistry*, 2. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 594 S.
- Shannon V. (2006): A plan comes together, Benguela: Predicting a Large Marine Ecosystem, Part I: By Way Of Introduction, 3-10.
- Shillington F.A., Reason C.J.C., Duncombe Rae C.M., Florenchie P., Penven P. (2006): Large scale physical variability of the Benguela Current Large Marine Ecosystem (BCLME), Benguela: Predicting a Large Marine Ecosystem, Part II: Setting The Scene, Data, time series and models: What we think we know about variability in the Benguela and comparable systems, 49-70.
- Twichell S.C., Meyers P.A., Diester-Haass L. (2002): Significance of high C/N ratios in organic-carbon-rich Neogene sediments under the Benguela Current upwelling system. *Organic Geochemistry*, 33, 715-722
- Verardo D.J., McIntyre A. (1994): Production and preservation: control of biogenous sedimentation in the tropical Atlantic 0–300,000 years B.P. *Paleoceanography*, 9, 63–86.

Wiesner M. G., Gröngröft A., Lahajnar N. , Amann T., Annighöfer M., Gaye B., Langenberg F., Lendt R., Lindhorst S., Röwer I., Zschocke A. (2010): Geochemisches Grundpraktikum Modul 4.4.3, Universität Hamburg, 42 S.

## **Verzeichnis der verwendeten Internetadressen**

Bureau of African Affairs: <http://www.state.gov/r/pa/ei/bgn/5472.htm>

zuletzt aufgerufen am 12.09.2011

## **Software**

Schlitzer, R., Ocean Data View 4.4.1, <http://odv.awi-bremerhaven.de>, 2011.

## **Danksagung**

Für die Unterstützung bei meiner Bachelorarbeit möchte ich mich bei den folgenden Personen bedanken:

Meinen beiden Betreuern, Prof. Dr. Kay-Christian Emeis und insbesondere Dr. Niko Lahajnar, der mich sehr unterstützt hat.

Besonderer Dank gilt auch Frauke Langenberg, Mitarbeiterin am Institut für Biogeochemie und Meereschemie, die mich in die Laborarbeit eingewiesen, und mir darüber hinaus bei allen Fragen weiterhelfen konnte.

## **Anhang**

Station	Latitude	Longitude	Bot. Depth [m]	Depth [m]	Temp [°C]	Salinity [PSU]	Oxygen [mL/L]	Dry Weight Conc [mg/L]	Total N [%]	Total N [µg/L]	Total C [%]	Total C [µg/L]	Organic C [%]	Organic C [µg/L]	CaCO3 [%]	CaCO3 [µg/L]
222	-23,0	14,0	133,9	0,00	21,544	35,156	0,260	1,23	3,17	38,91	20,21	247,84	18,63	228,43	13,20	161,81
222	-23,0	14,0	133,9	10,29	19,078	35,113	5,728	0,95	5,57	52,91	30,98	294,27	28,74	273,04	18,63	176,98
222	-23,0	14,0	133,9	21,85	16,292	35,143	k.A.	1,19	4,01	47,59	26,83	318,49	26,42	313,66	3,39	40,26
222	-23,0	14,0	133,9	31,66	15,484	35,145	4,157	0,66	4,21	28,00	25,58	170,12	23,36	155,35	18,51	123,07
222	-23,0	14,0	133,9	51,96	14,442	35,264	3,011	0,54	3,45	18,48	23,20	124,42	18,11	97,12	42,41	227,45
222	-23,0	14,0	133,9	77,13	13,691	35,275	1,819	0,45	1,86	8,38	15,57	70,06	14,18	63,80	11,59	52,14
222	-23,0	14,0	133,9	101,15	13,183	35,252	0,710	0,71	3,36	23,98	17,28	123,24	17,17	122,44	0,94	6,68
222	-23,0	14,0	133,9	127,37	13,059	35,245	0,084	0,38	2,47	9,52	18,64	71,77	18,27	70,34	3,10	11,94
241	-23,0	11,8	3004,5	0,00	22,03	35,604	5,160	0,45	2,69	11,97	18,35	81,64	16,46	73,26	15,68	69,80
241	-23,0	11,8	3004,5	11,20	21,844	35,601	5,167	0,25	2,11	5,16	17,03	41,74	16,81	41,21	1,79	4,40
241	-23,0	11,8	3004,5	21,53	21,807	35,599	5,157	0,32	2,61	8,37	21,83	69,85	21,30	68,16	4,41	14,11
241	-23,0	11,8	3004,5	51,49	17,92	35,471	6,072	0,42	1,32	5,56	15,83	66,75	15,46	65,21	3,05	12,86
241	-23,0	11,8	3004,5	66,10	16,102	35,411	5,885	0,37	2,55	9,34	20,07	73,54	16,43	60,20	30,35	111,20
241	-23,0	11,8	3004,5	76,52	15,681	35,379	5,725	0,31	1,91	5,86	14,80	45,31	12,22	37,43	21,44	65,65

Station	Latitude	Longitude	Bot. Depth [m]	Depth [m]	Temp [°C]	Salinity [PSU]	Oxygen [mL/L]	Dry Weight Conc [mg/L]	Total N [%]	Total N [µg/L]	Total C [%]	Total C [µg/L]	Organic C [%]	Organic C [µg/L]	CaCO3 [%]	CaCO3 [µg/L]
241	-23,0	11,8	3004,5	101,51	14,872	35,318	5,226	0,32	1,52	4,84	11,58	36,85	11,56	36,79	0,16	0,51
241	-23,0	11,8	2968,3	502,73	6,255	34,463	3,872	0,22	k.A.	k.A.	8,64	19,20	7,73	17,17	7,60	16,89
241	-23,0	11,8	2968,3	801,62	4,382	34,463	3,437	0,22	0,70	1,52	10,21	22,14	8,51	18,46	14,14	30,66
241	-23,0	11,8	2968,3	1002,57	3,74	34,528	3,93	0,18	1,21	2,15	18,46	32,74	18,00	31,91	3,90	6,91
241	-23,0	11,8	2968,3	2001,35	3,144	34,889	5,21	0,20	1,42	2,81	11,54	22,76	10,87	21,44	5,59	11,02
241	-23,0	11,8	2968,3	3011,83	2,523	34,878	5,34	0,19	k.A.	k.A.	10,40	19,62	10,11	19,07	2,43	4,59
242	-23,0	12,5	1648,3	0,00	21,117	35,292	5,33	0,33	3,17	10,61	21,29	71,34	21,19	70,98	0,89	2,98
242	-23,0	12,5	1648,3	43,94	16,405	35,389	5,96	0,40	1,91	7,62	14,65	58,27	12,51	49,76	17,83	70,93
242	-23,0	12,5	1647,3	802,53	4,388	34,464	3,37	0,13	1,81	2,40	17,90	23,68	12,82	16,96	42,34	56,00
242	-23,0	12,5	1647,3	1637,43	3,47	34,863	4,79	0,41	0,74	2,98	12,76	51,67	7,52	30,48	43,61	176,60
243	-23,0	12,8	k.A.	0,00	20,356	35,237	5,53	0,61	4,07	24,79	26,29	160,10	21,91	133,42	36,51	222,32
243	-23,0	12,8	k.A.	29,64	18,468	35,302	5,89	0,59	3,11	18,26	18,58	109,02	16,66	97,76	15,99	93,82
243	-23,0	12,8	k.A.	502,92	6,542	34,567	1,95	0,17	2,01	3,35	17,27	28,70	14,33	23,82	24,48	40,68
243	-23,0	12,8	k.A.	902,93	4,317	34,481	3,27	0,48	k.A.	k.A.	6,68	31,76	5,74	27,31	7,80	37,11

Station	Latitude	Longitude	Bot. Depth [m]	Depth [m]	Temp [°C]	Salinity [PSU]	Oxygen [mL/L]	Dry Weight Conc [mg/L]	Total N [%]	Total N [µg/L]	Total C [%]	Total C [µg/L]	Organic C [%]	Organic C [µg/L]	CaCO3 [%]	CaCO3 [µg/L]
246	-23,0	13,0	412,9	0,00	20,237	35,202	5,59	0,60	4,01	23,92	24,76	147,62	24,37	145,33	3,20	19,10
246	-23,0	13,0	412,9	40,38	16,497	35,29	4,30	0,76	3,26	24,66	19,13	144,83	15,83	119,83	27,52	208,33
246	-23,0	13,0	412,9	404,84	7,905	34,647	2,17	0,34	1,49	5,09	13,89	47,54	10,87	37,23	25,10	85,93
250	-23,0	13,3	354,6	0,00	19,707	35,175	5,68	0,84	4,73	39,86	29,72	250,37	28,60	240,98	9,29	78,28
250	-23,0	13,3	354,6	10,96	19,698	35,175	5,69	0,79	5,02	39,38	31,87	250,18	27,64	217,01	35,22	276,45
250	-23,0	13,3	354,4	21,77	18,203	35,246	5,59	0,48	3,86	18,43	23,42	111,83	21,79	104,03	13,61	64,99
250	-23,0	13,3	354,4	31,30	18,823	35,215	5,59	1,00	3,91	39,16	22,55	226,07	20,06	201,12	20,74	207,90
250	-23,0	13,3	354,4	51,86	15,673	35,35	4,45	0,29	2,42	7,12	18,05	53,21	14,41	42,47	30,35	89,44
250	-23,0	13,3	354,4	76,31	15,028	35,345	4,05	0,28	2,23	6,25	15,62	43,82	12,87	36,10	22,93	64,35
250	-23,0	13,3	354,4	102,34	13,978	35,234	4,68	0,31	1,30	4,03	9,31	28,87	8,86	27,47	3,76	11,66
250	-23,0	13,3	354,4	349,53	8,867	34,727	2,22	0,97	0,99	9,65	11,31	110,23	7,18	70,05	34,34	334,81
254	-23,0	13,7	155,3	0,00	20,15	35,209	5,69	1,27	3,76	47,78	23,43	297,95	23,39	297,43	0,34	4,30
254	-23,0	13,7	155,3	12,26	20,16	35,208	5,68	1,08	4,08	44,19	24,82	268,89	24,61	266,62	1,49	16,17
254	-23,0	13,7	155,3	22,42	19,928	35,205	5,71	1,40	2,92	40,90	18,16	254,25	11,73	164,29	53,55	749,67

Station	Latitude	Longitude	Bot. Depth [m]	Depth [m]	Temp [°C]	Salinity [PSU]	Oxygen [mL/L]	Dry Weight Conc [mg/L]	Total N [%]	Total N [µg/L]	Total C [%]	Total C [µg/L]	Organic C [%]	Organic C [µg/L]	CaCO3 [%]	CaCO3 [µg/L]
254	-23,0	13,7	155,3	31,55	17,66	35,217	5,26	1,13	4,14	46,59	22,23	250,06	20,30	228,36	16,07	180,83
254	-23,0	13,7	155,3	51,59	14,982	35,291	3,78	0,36	2,93	10,63	17,88	64,90	14,25	51,72	30,26	109,80
254	-23,0	13,7	155,3	76,58	13,982	35,266	3,74	0,32	1,36	4,32	9,58	30,53	6,90	21,97	22,41	71,38
254	-23,0	13,7	155,3	102,31	13,732	35,322	1,62	0,25	2,85	7,25	17,62	44,78	16,79	42,69	6,85	17,41
254	-23,0	13,7	155,3	146,79	13,18	35,272	0,25	0,46	2,12	9,75	17,13	78,68	15,30	70,29	15,21	69,87
264	-23,0	14,3	67,7	0,00	16,383	35,303	3,26	3,11	5,17	160,53	31,08	965,68	28,25	877,56	23,64	734,37
264	-23,0	14,3	67,7	11,65	16,539	35,295	3,35	2,44	4,62	112,63	25,22	615,27	22,37	545,77	23,73	579,13
264	-23,0	14,3	67,7	21,53	15,273	35,357	1,89	0,55	4,42	24,44	24,84	137,37	23,74	131,27	9,19	50,81
264	-23,0	14,3	67,7	31,42	14,753	35,357	0,34	0,66	2,08	13,68	13,90	91,53	13,76	90,67	1,09	7,15
264	-23,0	14,3	67,7	60,12	14,732	35,354	0,26	1,01	2,53	25,60	15,38	155,56	15,28	154,59	0,79	8,03
304	-17,2	11,7	k.A.	0,00	18,173	35,752	2,62	3,61	2,41	86,92	16,78	605,86	14,23	513,70	21,27	767,97
304	-17,2	11,7	k.A.	11,68	18,147	35,752	2,65	2,35	2,82	66,38	15,15	356,07	14,44	339,38	5,92	139,12
304	-17,2	11,7	k.A.	21,74	17,425	35,734	1,75	2,31	1,48	34,09	11,03	254,81	10,13	234,00	7,51	173,37
304	-17,2	11,7	k.A.	31,52	17	35,716	1,14	2,03	1,35	27,43	8,64	175,43	8,05	163,33	4,97	100,83

Station	Latitude	Longitude	Bot. Depth [m]	Depth [m]	Temp [°C]	Salinity [PSU]	Oxygen [mL/L]	Dry Weight Conc [mg/L]	Total N [%]	Total N [µg/L]	Total C [%]	Total C [µg/L]	Organic C [%]	Organic C [µg/L]	CaCO3 [%]	CaCO3 [µg/L]
305	-17,3	11,5	149,1	0,00	20,608	35,917	4,64	1,41	2,85	40,18	17,18	242,18	13,15	185,48	33,51	472,51
305	-17,3	11,5	149,1	12,03	20,602	35,917	4,64	0,78	3,05	23,70	18,02	140,28	14,55	113,22	28,97	225,45
305	-17,3	11,5	149,1	21,16	19,428	35,901	3,55	1,16	2,48	28,74	10,63	123,10	8,78	101,65	15,43	178,72
305	-17,3	11,5	149,1	31,54	19,125	35,918	3,46	1,72	1,20	20,60	6,55	112,58	4,22	72,47	19,45	334,28
305	-17,2	11,5	149,2	52,29	16,378	35,734	2,08	0,79	2,15	16,98	12,85	101,26	9,63	75,89	26,83	211,42
305	-17,2	11,5	149,2	77,38	15,25	35,571	0,92	0,61	3,23	19,78	19,10	116,86	14,18	86,74	41,03	250,95
305	-17,2	11,5	149,2	102,75	14,984	35,539	0,95	0,57	2,18	12,45	15,30	87,56	13,14	75,20	18,01	103,06
305	-17,2	11,5	149,2	126,52	14,865	35,524	0,86	0,85	2,22	18,85	14,17	120,26	14,10	119,71	0,54	4,59
305	-17,2	11,5	149,2	141,45	14,647	35,496	0,77	1,28	2,10	26,76	14,82	189,14	12,44	158,76	19,84	253,24
306	-17,3	11,3	497,5	0,00	23,095	36,008	5,17	1,44	2,68	38,52	16,70	240,46	16,04	230,93	5,52	79,42
306	-17,3	11,3	497,5	11,94	23,073	36,008	5,18	1,86	2,25	41,98	14,03	261,22	9,84	183,23	34,89	649,91
306	-17,3	11,3	497,5	22,71	22,815	36,004	5,15	1,12	2,94	32,79	20,70	231,10	15,18	169,48	45,98	513,46
306	-17,3	11,3	497,5	31,54	21,453	35,951	4,95	0,91	2,54	23,05	15,83	143,55	14,46	131,06	11,48	104,09
306	-17,3	11,3	497,5	51,44	19,026	36,018	3,65	0,49	2,27	11,15	13,47	66,28	12,41	61,05	8,86	43,61

Station	Latitude	Longitude	Bot. Depth [m]	Depth [m]	Temp [°C]	Salinity [PSU]	Oxygen [mL/L]	Dry Weight Conc [mg/L]	Total N [%]	Total N [µg/L]	Total C [%]	Total C [µg/L]	Organic C [%]	Organic C [µg/L]	CaCO3 [%]	CaCO3 [µg/L]
306	-17,3	11,3	498,2	77,02	16,451	35,736	1,92	0,69	2,37	16,26	15,31	105,21	11,12	76,43	34,92	239,89
306	-17,3	11,3	498,2	102,55	15,005	35,55	1,23	0,76	0,73	5,50	7,35	55,51	6,79	51,32	4,62	34,92
306	-17,3	11,3	498,2	152,64	14,303	35,458	0,94	0,49	1,64	7,97	13,97	67,84	10,94	53,16	25,19	122,34
306	-17,3	11,3	498,2	202,11	13,478	35,346	0,71	0,41	2,72	11,21	20,50	84,57	16,31	67,26	34,96	144,22
306	-17,3	11,3	498,2	302,42	12,167	35,173	0,67	0,37	1,96	7,20	13,59	49,87	12,00	44,04	13,25	48,60
306	-17,3	11,3	498,2	493,50	7,689	34,68	1,11	1,12	0,89	9,98	6,49	72,73	5,16	57,79	11,12	124,51
307	-17,3	11,2	924,3	0,00	22,988	36,017	4,93	1,23	2,32	28,43	13,36	163,85	10,56	129,54	23,31	285,96
307	-17,3	11,2	924,3	31,92	22,116	35,975	4,92	0,81	2,48	20,09	14,38	116,48	13,64	110,46	6,19	50,14
307	-17,3	11,2	924,3	920,33	4,125	34,55	3,26	0,99	0,86	8,54	6,33	62,99	4,90	48,71	11,96	118,99
308	-17,3	11,0	2069,2	0,00	k.A.	k.A.	k.A.	1,40	2,25	31,41	14,68	204,95	10,36	144,56	36,05	503,31
308	-17,3	11,0	2069,2	12,15	23,814	36,014	5,08	1,33	1,49	19,72	10,89	144,32	10,41	137,94	4,01	53,20
308	-17,3	11,0	2069,2	22,30	22,233	35,922	5,16	1,48	1,22	18,07	9,95	147,29	7,86	116,31	17,44	258,17
308	-17,3	11,0	2069,2	31,64	21,069	35,97	4,71	1,02	1,64	16,69	10,09	102,76	8,88	90,44	10,08	102,70
308	-17,3	11,0	2069,2	52,58	18,35	35,846	2,37	0,32	2,35	7,50	14,85	47,30	12,90	41,11	16,19	51,59

Station	Latitude	Longitude	Bot. Depth [m]	Depth [m]	Temp [°C]	Salinity [PSU]	Oxygen [mL/L]	Dry Weight Conc [mg/L]	Total N [%]	Total N [µg/L]	Total C [%]	Total C [µg/L]	Organic C [%]	Organic C [µg/L]	CaCO3 [%]	CaCO3 [µg/L]
308	-17,3	11,0	2069,2	76,48	15,889	35,639	0,88	0,48	1,97	9,52	12,79	61,94	11,50	55,68	10,77	52,17
308	-17,3	11,0	2069,2	101,35	15,381	35,579	0,74	0,53	1,26	6,72	8,92	47,42	8,57	45,59	2,88	15,30
308	-17,3	11,0	2124,1	504,09	7,299	34,647	1,19	0,36	2,33	8,36	14,27	51,08	10,28	36,77	33,32	119,23
308	-17,3	11,0	2124,1	804,62	4,787	34,485	2,80	0,28	1,91	5,35	12,12	33,94	10,28	28,79	15,30	42,84
308	-17,3	11,0	2124,1	1002,75	4,008	34,544	3,41	0,27	1,49	4,08	10,02	27,48	9,50	26,07	4,29	11,76
308	-17,3	11,0	2124,1	2140,03	3,188	34,919	5,18	0,54	0,79	4,25	8,70	46,54	5,30	28,37	28,32	151,49
309	-17,2	10,8	2997,1	0,00	22,549	35,866	5,21	1,74	3,86	67,05	21,21	368,46	15,52	269,74	47,35	822,66
309	-17,2	10,8	2997,1	12,19	22,561	35,831	5,23	1,39	1,95	27,00	12,80	177,57	10,08	139,90	22,63	313,94
309	-17,3	10,8	3018,0	101,40	14,941	35,541	0,97	0,34	1,84	6,22	14,77	50,02	13,50	45,74	10,53	35,69
309	-17,3	10,8	3018,0	206,07	13,114	35,297	0,83	0,31	1,67	5,09	12,86	39,26	12,02	36,70	6,98	21,31
309	-17,3	10,8	3018,0	501,46	7,42	34,662	0,98	0,28	1,80	5,11	15,19	43,11	13,67	38,78	12,73	36,13
309	-17,3	10,8	3018,0	1003,91	4,01	34,547	3,40	0,30	1,26	3,76	11,84	35,33	11,32	33,76	4,38	13,07
309	-17,3	10,8	3018,0	2972,00	2,573	34,901	5,17	0,44	0,88	3,86	9,77	42,69	7,34	32,10	20,19	88,25
310	-17,3	10,5	3271,4	0,00	24,577	36,009	4,95	1,26	1,46	18,39	12,78	161,39	11,65	147,05	9,47	119,53

Station	Latitude	Longitude	Bot. Depth [m]	Depth [m]	Temp [°C]	Salinity [PSU]	Oxygen [mL/L]	Dry Weight Conc [mg/L]	Total N [%]	Total N [µg/L]	Total C [%]	Total C [µg/L]	Organic C [%]	Organic C [µg/L]	CaCO3 [%]	CaCO3 [µg/L]
310	-17,3	10,5	3271,4	11,55	24,551	36,007	4,97	1,03	1,63	16,79	11,98	123,16	11,44	117,61	4,49	46,21
310	-17,3	10,5	3271,4	21,77	23,663	35,963	5,05	0,90	2,00	18,09	14,99	135,38	14,67	132,48	2,67	24,14
310	-17,3	10,5	3271,4	31,51	19,826	35,904	5,02	0,69	4,33	29,71	23,07	158,33	22,11	151,76	7,98	54,78
310	-17,3	10,5	3271,4	52,76	17,618	35,933	2,86	0,30	3,62	10,87	20,77	62,31	18,97	56,90	15,03	45,09
310	-17,3	10,5	3271,4	75,89	14,773	35,456	2,74	0,35	1,54	5,35	10,29	35,75	9,83	34,15	3,84	13,33
310	-17,3	10,5	3268,2	100,24	14,09	35,39	1,85	0,32	3,03	9,64	19,37	61,74	16,57	52,83	23,30	74,25
310	-17,3	10,5	3268,2	301,21	10,26	34,947	0,39	0,32	2,04	6,54	14,17	45,42	14,17	45,42	0,00	0,00
310	-17,3	10,5	3268,2	502,25	7,36	34,666	0,85	0,38	1,87	7,12	12,30	46,89	9,77	37,25	21,08	80,36
310	-17,3	10,5	3268,2	801,30	4,725	34,485	2,79	0,33	1,55	5,15	11,19	37,29	9,78	32,59	11,76	39,19
310	-17,3	10,5	3268,2	1000,04	4,08	34,548	3,28	0,28	1,25	3,52	11,39	32,03	10,59	29,79	6,64	18,68
310	-17,3	10,5	3268,2	2001,38	3,32	34,917	5,12	0,31	0,94	2,87	9,01	27,58	8,78	26,88	1,90	5,83
310	-17,3	10,5	3268,2	3000,07	2,642	34,903	5,25	0,33	1,08	3,52	8,67	28,37	8,65	28,32	0,11	0,36
316	-17,2	10,0	3879,7	0,00	k.A.	k.A.	k.A.	1,40	1,25	17,53	10,27	144,01	10,18	142,72	0,76	10,73
316	-17,2	10,0	3879,7	41,92	18,445	35,731	4,31	0,99	0,93	9,24	7,47	74,28	7,17	71,36	2,45	24,36

Station	Latitude	Longitude	Bot. Depth [m]	Depth [m]	Temp [°C]	Salinity [PSU]	Oxygen [mL/L]	Dry Weight Conc [mg/L]	Total N [%]	Total N [µg/L]	Total C [%]	Total C [µg/L]	Organic C [%]	Organic C [µg/L]	CaCO3 [%]	CaCO3 [µg/L]
316	-17,2	10,0	3879,7	101,39	14,548	35,489	0,87	0,39	1,04	4,03	8,26	32,11	7,30	28,37	8,01	31,13
316	-17,2	10,0	3879,7	300,84	10,218	34,94	0,42	0,38	1,38	5,26	10,08	38,43	7,72	29,43	19,68	75,04
316	-17,2	10,0	3879,7	1000,60	3,982	34,539	3,47	0,30	2,20	6,54	13,40	39,80	7,99	23,72	45,12	133,95
316	-17,2	10,0	3879,7	3000,30	2,643	34,902	5,26	0,32	1,58	5,12	11,51	37,26	8,71	28,20	23,31	75,45

## **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.

Ort, Datum Unterschrift