

Phosphat- und Ammoniumaustausch zwischen dem Porenwasser des Sediments und der Wassersäule im Benguela-Auftriebsgebiet

Ursprünglicher Titel:

Phosphat- und Ammoniumaustausch zwischen dem Porenwasser des Schelfsediments und der Wassersäule im Benguela Auftriebsgebiet

Masterarbeit

zur Erlangung des Titels „Master of Science“ Geowissenschaften
Department Geowissenschaften der Universität Hamburg

Institut für Biogeochemie und Meereschemie
Universität Hamburg

Vorgelegt von:

Meike Annighöfer

Hamburg, September 2012

Gutachter:

1. Prof. Dr. Kay-Christian Emeis

2. Dr. Niko Lahajnar

Selbständigkeitserklärung

Ich versichere wahrheitsgemäß, die vorliegende Masterarbeit selbständig angefertigt, alle benutzten Hilfsmittel und Quellen vollständig und genau angegeben und alles kenntlich gemacht zu haben, was aus Arbeiten anderer entnommen wurde.

Einer Veröffentlichung dieser Arbeit stimme ich zu.

Hamburg, den _____

(Unterschrift)

Danksagung

Ich möchte mich bei meinem Betreuer Prof. Dr. Kay-Christian Emeis für die Vergabe dieses interessanten Themas, für die Betreuung und die konstruktiven Kritik während der Masterarbeit danken. Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei meinen Zweitgutachter Dr. Niko Lahajnar für die fachliche Unterstützung beim Anfertigen dieser Arbeit. Ein besonderer Dank geht auch an Andreas Neuman, der mir mit seiner fachlichen Kompetenz, Hilfsbereitschaft und Geduld zur Seite gestanden hat. Für die fachliche Unterstützung möchte ich mich ebenfalls bei Frauke Langenberg und Birgit Nagel bedanken.

Besonderer Dank gilt auch meiner Familie, insbesondere meiner Mutter, für Unterstützung während des Studiums. Des Weiteren möchte ich Simon Rüschkamp, Antje Bauersfeld und Frank Annighöfer für den fachlichen Rat und die konstruktive Kritik während des Anfertigen dieser Arbeit danken.

Kurzfassung

Im Rahmen des GENUS Projektes wurde der Austausch der wachstumslimitierenden Nährstoffe Ammonium und Phosphat zwischen dem Sediment und der Wassersäule im Benguela-Auftriebsgebiet untersucht. Im Fokus dieser Untersuchung stand, die Randparameter, die zu einer Freisetzung bzw. Fixierung der Nährstoffe NH_4^+ und PO_4^{3-} führen, festzustellen und ihren Einfluss zu quantifizieren. Des Weiteren wurde die Möglichkeit einer Ratenabschätzung des Stoffflusses von NH_4^+ und PO_4^{3-} anhand dieser Parameter geprüft. Bei den untersuchten Randparametern handelt es sich um den Sauerstoffgehalt des umgebenden Wassers, den C_{org} -Gehalt und die Korngrößenverteilung des Meeresbodensediments. Zusätzlich wurde untersucht, welchen Einfluss die Freisetzung bzw. Fixierung der Nährstoffe Ammonium und Phosphat auf das Redfield-Verhältnis im Benguela-Auftriebsgebiet haben.

Abstract

The exchange of the production limiting nutrients ammonia and phosphate between sediment surface and surrounding water column was analysed in the Benguela upwelling system as part of the GENUS project. This thesis tried to define and quantify the parameters that control fixation and release of NH_4^+ and PO_4^{3-} . Further research was conducted to estimate the flux of ammonia and phosphate on the basis of these parameters. Analysed parameters included oxygen saturation of the surrounding water, organic carbon content and grain size of the sediment. In addition it was analysed to which extent the release or rather the uptake of nutrients has an effect on the Redfield-ratio in the Benguela upwelling system.

Inhalt	Seite
Erklärung	
Danksagung	
Kurzfassung/ Abstract	
1 Einleitung	1
1.2 Lage des Untersuchungsgebiets	3
1.3 Das Benguela-Auftriebsgebiet	4
2 Material und Methoden	6
2.1 Sedimentproben	6
2.2 Wasserproben	9
3 Ergebnisse	10
3.1 Auswertung und graphische Darstellung	10
3.2 Nährstoffgehalte des Überstandswassers	10
3.3 Porenwasserprofile	11
3.4 PO_4^{3-} - und NH_4^+ -Flux zwischen Porenwasser und Überstandswasser	17
3.4.1 PO_4^{3-} -Flux	17
3.4.2 NH_4^+ -Flux	17
3.4.3 Verhältnis von PO_4^{3-} - zu NH_4^+ -Flux	19
3.5 Sauerstoffgehalt	19
3.6 Organische Kohlenstoffgehalt (C_{org})	20
3.7 Korngrößenverteilung der Sedimente	22
3.8 Temperatur-, Sauerstoff- und Nährstoffverteilung innerhalb der Wassersäule	23
3.8.1 Transekt 17,25°S	23
3.8.2 Transekt 19°S	25
3.8.3 Transekt 23°S	27
4 Diskussion	29
4.1 Identifikation der beteiligten Wassermassen	29
4.2 Sauerstoffminimumzonen entlang des Meeresbodens	30
4.2.1 Sauerstoffgehalt in Abhängigkeit von organischen Kohlenstoff im Sediment	32
4.3 Abhängigkeit des NH_4^+ - und PO_4^{3-} -Flux von den Umgebungsbedingungen	35
4.4 NH_4^+ -Flux	37
4.4.1 NH_4^+ -Flux als Funktion der Bodensauerstoffkonzentration	37

4.4.2	NH ₄ ⁺ -Flux als Funktion der C _{org} -Verteilung im Sediment	39
4.4.3	NH ₄ ⁺ -Flux als Funktion der Korngröße	40
4.5	PO ₄ ³⁻ -Flux	41
4.5.1	PO ₄ ³⁻ -Flux als Funktion der Bodensauerstoffkonzentration	41
4.5.2	PO ₄ ³⁻ -Flux als Funktion der C _{org} -Verteilung im Sediment	44
4.5.3	PO ₄ ³⁻ -Flux als Funktion der Korngröße	45
4.6	Ratenabschätzung von NH ₄ ⁺ und PO ₄ ³⁻ -Flux anhand des Sandgehalts	46
4.6.1	Ratenabschätzung von NH ₄ ⁺ und PO ₄ ³⁻ -Flux anhand des C _{org} -Gehalts	49
4.7	Freisetzung von NH ₄ ⁺ und PO ₄ ³⁻ als Erklärung für verändertes Redfield-Verhältnis	53
4.7.1	Freisetzung von NH ₄ ⁺ als Erklärung für verändertes Redfield-Verhältnis	53
4.7.2	Freisetzung von PO ₄ ³⁻ als Erklärung für verändertes Redfield-Verhältnis	55
4.8	Fazit und Ausblick	57
5	Zusammenfassung	58
6	Literatur	60
	Anhang	

Abbildungsverzeichnis		Seite
Abbildung 1.1:	Nährstoffkreislauf	1
Abbildung 1.2:	Untersuchungsgebiet	3
Abbildung 2.1:	Beprobung der Sedimentkerne	7
Abbildung 3.1:	Nährstoffgehalte im Überstandswasser	11
Abbildung 3.2:	Porenwasser Profile	12
Abbildung 3.3:	Fluxraten	18
Abbildung 3.4:	Sauerstoffgehalt	20
Abbildung 3.5:	C _{org} -Gehalt	21
Abbildung 3.6:	Median	22
Abbildung 3.7:	Nährstoffgehalte Transekt 17,25°S	23
Abbildung 3.8:	Sauerstoff und Temperatur Transekt 17,25°S	24
Abbildung 3.9:	Nährstoffgehalte Transekt 19°S	25
Abbildung 3.10:	Sauerstoff und Temperatur Transekt 19°S	26
Abbildung 3.11:	Nährstoffgehalte Transekt 23°S	27
Abbildung 3.12:	Sauerstoff und Temperatur Transekt 23°S	28
Abbildung 4.1:	Wassermassen	29
Abbildung 4.2:	Sauerstoffminimumzone	32
Abbildung 4.3:	C _{org} -Gehalt vs. Sauerstoff	33
Abbildung 4.4:	O ₂ Wassersäule vs. O ₂ Überstandswasser	36
Abbildung 4.5:	NH ₄ ⁺ -Flux vs. Sauerstoff	38
Abbildung 4.6:	NH ₄ ⁺ -Flux vs. C _{org}	39
Abbildung 4.7:	NH ₄ ⁺ -Flux vs. Median	41
Abbildung 4.8:	PO ₄ ³⁻ -Flux vs. Sauerstoff	43
Abbildung 4.9:	PO ₄ ³⁻ -Flux vs. C _{org}	44
Abbildung 4.10:	PO ₄ ³⁻ -Flux vs. Median	45
Abbildung 4.11:	Sandverteilung	48
Abbildung 4.12:	C _{org} -Verteilung	50
Abbildung 4.13:	NH ₄ ⁺ Wassersäule vs. NH ₄ ⁺ Überstandswasser	54
Abbildung 4.14:	P _{Total} vs. Sauerstoff	56
Abbildung 4.15:	PO ₄ ³⁻ Wassersäule vs. PO ₄ ³⁻ Überstandswasser	57

Tabellen- und Gleichungsverzeichnis	Seite
Gleichung 1: 1. Fick'sches Gesetz	8
Tabelle 3.1a: Ergebnisse Sedimentkerne Nährstoffkonzentrationen	Anhang
Tabelle 3.1b: Ergebnisse Sedimentkerne Nährstofffluss	Anhang
Tabelle 3.2: Ergebnisse Wassersäule	Anhang
Tabelle 4.1: Sauerstoffarme- und anoxische Stationen	31
Tabelle 4.2: Fläche und Sandgehalte	46
Tabelle 4.3: Fläche und Sandgehalte in Sauerstoffminimumzonen	49
Tabelle 4.4: Fläche und C_{org} -Gehalte	51
Tabelle 4.5: Fläche und C_{org} -Gehalte in Sauerstoffminimumzonen	52

Abkürzungsverzeichnis

AAIW	Antarctic Intermediate Water
C _{org}	Organischer Kohlenstoff
ESACW	Eastern South Atlantic Central Water
GENUS	Geochemistry and Ecology of the Namibian Upwelling System
HCl	Salzsäure
MUW	Modified Upwelling Water
N ₂	Stickstoff
NADW	North Atlantic Deep Water
n. b.	nicht bekannt
NH ₄ ⁺	Ammonium
NO ₂ ⁻	Nitrit
NO ₃ ⁻	Nitrat
N _{Total}	Gesamter Stickstoffgehalt
ODV	Ocean Data View
PHA	Polyhydroxyalkanoate
PO ₄ ³⁻	(Ortho-) Phosphat
SAA	Südatlantische Antizyclone
SACW	South Atlantic Central Water
STAW	Standardabweichung
TOC	Total Organic Carbon
vs.	Versus (lat. gegen)

1 Einleitung

Im Rahmen des Projekts GENUS (Geochemistry and Ecology of the Namibian Upwelling System) werden die Folgen des globalen Klimawandels auf das Ökosystem des nördlichen Benguela-Auftriebsgebiets vor der Küste Südwestafrikas untersucht. Durch das nährstoffreiche Tiefenwasser, das an die Oberfläche gelangt, sind Auftriebsgebiete gekennzeichnet durch eine hohe Primärproduktion. Auftriebsgebiete spielen eine wichtige Rolle im globalen CO₂-Kreislauf, da sie die größte marine Quelle für CO₂ darstellen (Wetzel et al. 2005). Da CO₂ der Atmosphäre durch die hohe Primärproduktion wieder entzogen werden kann, ist es wichtig die Prozesse genauer zu untersuchen, die in Auftriebsgebieten für die Primärproduktion verantwortlich sind. Hierbei ist ein wichtiger Faktor der Nährstoffkreislauf, da sich Nährstoffverfügbarkeit limitierend auf das Wachstum von Primärproduzenten auswirkt. Wie in Abbildung 1.1 zu sehen ist, kann eine Veränderung des Klimas und eine damit verbundene Veränderung der Windintensität zu Veränderungen des Nährstoff- und Sauerstoffhaushaltes im Ozean führen (Deutsch et al. 2004).

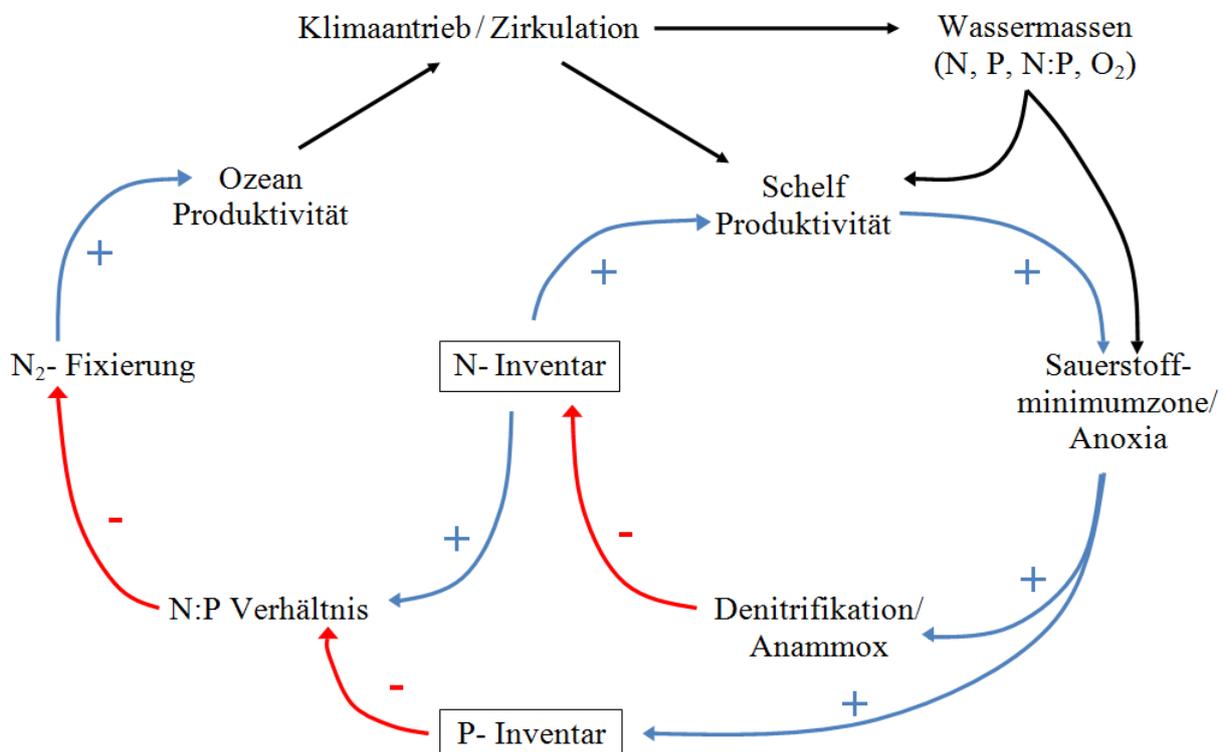


Abbildung 1.1: Die positive (+) und negative (-) Rückkopplung zwischen dem Klima, bzw. der Zirkulation und dem Nährstoffkreislauf in Auftriebsgebieten und dem angrenzenden Ozean. Abbildung verändert nach Deutsch et al (2004).

Nach der Hypothese von Deutsch et al. (2004) führt eine Zunahme der Windintensität dazu, dass sich der Auftrieb verstärkt und eine Wassermasse über den Schelf bis an die Meeresoberfläche getrieben wird. Die so an die Meeresoberfläche gelangenden Nährstoffe lösen eine verstärkte Primärproduktion aus und damit eine Zunahme von organischem Material in der photischen Zone. Durch das Herabsinken des organischen Materials kann dieses am Meeresboden akkumuliert werden. Die teilweise Oxidation dieses organischen

Materials entzieht dem Bodenwasser des Meeresbodens Sauerstoff. Dies und die schlechte Durchmischung der Wassersäule führen zu der Ausbildung von Sauerstoffminimumzonen am Meeresboden. Die so entstandenen Sauerstoffminimumzonen bewirken, dass der Abbau des organischen Materials nun anaerob erfolgt. Dabei wird das im organischen Material vorhandene Ammonium durch Nitrifizierung und den Anammox-Prozess abgebaut und geht der Wassersäule als N_2 -Gas verloren. Gleichzeitig wird jedoch Phosphat unter anoxischen Bedingungen aus dem Sediment in die Wassersäule entlassen. Diese gleichzeitige Abnahme von Stickstoff und die Zunahme von Phosphat in der Wassersäule führen zu einem in Richtung Phosphat verschobenen N:P-Verhältnis. An der Meeresoberfläche wird die Stickstoffuntersättigung durch Stickstoff-Fixierung aus der Atmosphäre wieder ausgeglichen.

Um den regionalen Nährstoffkreislauf im Benguela-Auftriebsgebiet zu untersuchen und modellierbar zu machen, befasst sich die vorliegende Arbeit mit den Stoffflüssen der wachstumslimitierenden Nährstoffe Phosphat (Ortho-Phosphat PO_4^{3-}) und Ammonium (NH_4^+). Hierzu wird die Interaktion zwischen dem Sediment und der darüber liegenden Wassersäule untersucht. Es wird geklärt, ob das Sediment als Quelle bzw. Senke einen Einfluss auf den lokalen Nährstoffkreislauf hat. Des Weiteren wird betrachtet inwieweit der Nährstofffluss im Benguela-Auftriebsgebiet von sauerstoffarmen bis anoxischen Bedingungen beeinflusst wird und welche Auswirkung die Anreicherung von organischem Material entlang des Schelfs auf die PO_4^{3-} - und NH_4^+ -Freisetzung bzw. Fixierung hat. Ein weiterer Untersuchungsgegenstand ist, die PO_4^{3-} - und NH_4^+ -Fluxintensität mit der Korngröße des umgebenden Sediments in Verbindung zu bringen und zu ermitteln, ob sich diese beiden Parameter gegenseitig beeinflussen. Es soll des Weiteren geklärt werden, ob ein spezifisches Stoffflussmuster für unterschiedliche Gehalte von organischem Kohlenstoff (C_{org}) im Sediment existiert. Die Auswertung dieser Daten zielt darauf ab, eine verbesserte Ratenabschätzung des PO_4^{3-} - und NH_4^+ -Kreislaufs innerhalb des Auftriebsgebiets zu ermöglichen. Mit dem so gewonnenen Überblick soll anschließend untersucht werden, inwieweit freigesetzte Nährstoffe das Stickstoff- zu Phosphat-Verhältnis (N:P-Verhältnis) der Wassersäule beeinflussen. In der Vergangenheit wurde festgestellt, dass sich das Redfield-Verhältnis (N:P 16:1) des Auftriebswassers von 16:1 auf 8:1 ändert, sobald es den Schelf passiert hat (Nagel 2011; Kuypers et al. 2005). Es wird untersucht, ob dies durch die in Abbildung 1.1 beschriebenen Vorgänge der Denitrifikation und des Anammox-Prozesses in der Wassersäule sowie auf die Freisetzung von Phosphat aus dem Sediment verursacht wird. Es wurden die Stoffflussmuster von PO_4^{3-} und NH_4^+ aus dem Sediment in die Wassersäule mit den Nährstoffgehalten der Wassersäule abgeglichen, um zu klären, in wie weit diese Beobachtung mit der Interaktion zwischen Sediment und Wassersäule in Verbindung steht. Die Aufgabenstellung dieser Arbeit war es, zu untersuchen, durch welche physikalischen und chemischen Randbedingungen die Freisetzung bzw. Aufnahme von Ammonium und Phosphat durch das Sediment gesteuert werden und ob die Freisetzung der Nährstoffe dazu beitragen kann, das N:P-Verhältnis in der Wassersäule signifikant zu verändern. Aufgrund der so ermittelten Daten soll überprüft werden, ob eine Ratenabschätzung des Ammonium- und Phosphatflux anhand der Korngrößenverteilung und des C_{org} -Gehalts des Sediments durchführbar ist.

1.2 Das Untersuchungsgebiet

Auf der Fahrt 17/3 des Forschungsschiffes Maria S. Merian wurden im Zeitraum vom 08.02 bis zum 07.03.2011 die Wassersäule sowie die Sedimente des nördlichen Benguela- Gebiets an verschiedenen Stellen beprobt. Die Beprobung fand längs von vorher festgelegten Transekten statt, die entlang der Breitengrade (17,25°S, 19°S, 20°S, 21°S, 23°S, 23,5°S und 26,67°S) verlaufen. Wie in Abbildung 1.2 zu sehen ist, liegen vereinzelte Probenstationen auch zwischen den einzelnen Transekten.

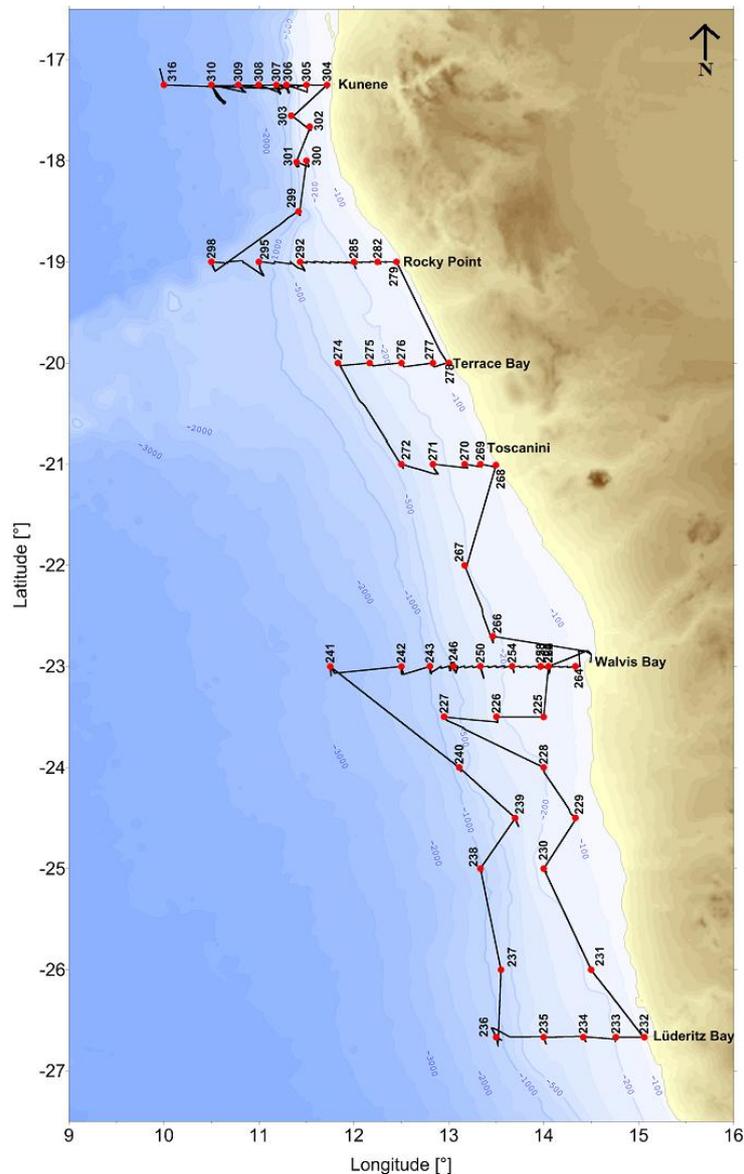


Abbildung 1.2: Die einzelnen Stationen der Probennahme vor der Küste Namibias. Besonderer Fokus wird auf die Transekte entlang der Breitengrade 17,25°S, 19°S und 23°S gelegt. Quelle: Short Cruise Report Maria S. Merian 17/3.

Die beprobten Transekte und Einzelstationen liegen vor der namibischen Küste und im Einflussbereich des Benguela-Auftriebsgebiets (siehe Abbildung 1.2). Die Beprobung der Wassersäule erfolgte mit Hilfe eines Rosettenwasserschöpfers, die Proben des Sediments

wurden mit einem Multicorer genommen (siehe Abschnitt 2.1 Methoden). Bei den einzelnen Stationen handelt es sich um Mess- und Probenpunkte, die auf Transekten waagrecht von West nach Ost über den Ozeanboden den Kontinentalschelf hinauf angeordnet sind (Siehe Abbildung 1.2).

Durch diese waagrecht zur Küste verlaufenden Beprobungstransekte ist es möglich, eine gute Auflösung der biogeochemischen Prozesse zu erhalten, und zu untersuchen, wie sich diese Prozesse den Kontinentalschelf hinauf in Richtung Küste verändern. Die Wassertiefe der Probenpunkte variiert hinsichtlich der Wassertiefe von küstennahen Bereichen mit einer Wassertiefe von 23 m bis hin zu Wassertiefen von 3247 m in küstenfernen Bereichen. Für diese Arbeit besonders relevant sind die Transekte entlang der Breiten 17,25°S, 19°S und des 23°S (siehe Abbildung 1.2). Für die eben genannten Transekte stehen fast vollständige Datensätze entlang des Ozean- und Schelfbodens zur Verfügung und es ist möglich, einen Verlauf für die Ammonium- und Phosphatflüsse entlang des Meeresbodens unter Berücksichtigung der Tiefe und des Sauerstoffgehalts herauszuarbeiten. Für die anderen Probenpunkte bzw. Transekte steht Probenmaterial zur Verfügung, das für diese Arbeit ebenfalls berücksichtigt wurde, allerdings in einer weniger deutlichen bzw. lückenhafteren Auflösung als bei den zuvor genannten Transekten.

1.3 Das Benguela-Auftriebsgebiet

Das Benguela-Auftriebsgebiet wird durch das südatlantische Antizyklone (SAA) gesteuert. Hierbei handelt es sich um eine Hochdruckzelle, die in etwa auf 30°S und 10°W liegt (Schell 1968). Durch dieses Hochdruckgebiet und mehrere kleine Tiefdruckgebiete über dem afrikanischen Kontinent bildet sich eine primär nach nord-, nordwestgerichtete Hauptwindrichtung aus. Durch diese werden im Benguela-Auftriebsgebiet die süd-, südostgerichteten Passatwinde angetrieben, die 90° offshore dazu verlaufende Eckmannströmung treibt das Wasser in westliche Richtung ab (Reuter 2003). Um das so entstehende Ungleichgewicht des Wassers im Ozean auszugleichen, wird nährstoffreiches, unterhalb der Thermokline liegendes Wasser entlang des Kontinentalschelfs aufgetrieben. Das aufgetriebene Wasser ist reich an Nährstoffen, wodurch viele Nährstoffe in die lichtdurchflutete Zone gelangen und das Benguela-Auftriebsgebiet zu einer Hochproduktionszone machen. Die Hauptzone des windgetriebenen Auftriebs befindet sich zwischen den Orten Cape Agulhas 34°S (Südafrika) und Cape Frio 19°S (Namibia) (Hutchings et al 2009). Die Anrainerstaaten des gesamten Auftriebsgebiets sind Angola, Namibia und Südafrika (Shillington 1998). Das Auftriebssystem wird in nördlicher und südlicher Richtung von wärmeren Wassermassen begrenzt. So befindet sich im Norden das subtropische Angola-System, das durch die Wassermassen des South Atlantic Central Water (SACW) dominiert wird. Die Grenze zwischen Benguela- und Angola-System befindet sich zwischen 15°S und 18°S (Boyd et al. 1987). Sie ist variabel und wird hauptsächlich von den Druckgradienten zwischen der intertropischen Konvergenzzone und dem SAA bestimmt (Meeuwis & Lutjeharms 1990). Das subtropische Angola-System grenzt sich nach Norden durch den Zufluss des *Congo Rivers* von dem tropischen Golf von Guinea ab. Im Süden wird

das Benguela-System durch das wärmere Wasser des Eastern South Atlantic Central Water (ESACW) begrenzt. Diese Grenze wird durch das Agulhas-System bestimmt. Mit dem Agulhasstrom gelangt warmes und salzreiches Wasser aus dem Indischen Ozean in den Südatlantik, das dann durch den Benguelastrom in Richtung Norden transportiert wird. Diese Grenze liegt bei etwa 33°S (Shillington et al. 2006). Das Auftriebsgebiet selbst wird hauptsächlich von 5 Wassermassen beeinflusst:

Zum einen existiert eine in Richtung Südpol fließende Unterströmung, die das SACW aus dem Angoladom in das Benguela-Auftriebsgebiet bringt. Diese Unterströmung entsteht durch die Passatwinde, die das Oberflächenwasser in Richtung Norden transportieren. Um dieses Ungleichgewicht der Wasserverteilung auszugleichen, wird das sauerstoffarme SACW unterhalb der durch den Passatwind angetriebenen nördlichen Strömung zurück in Richtung Süden transportiert. Die zweite beteiligte Wassermasse ist das sauerstoffreichere ESACW. Diese Wassermasse wird als Ausgleich zu dem 90° offshore gerichteten Eckmannttransport unterhalb der Oberflächenströmung onshore transportiert und über den Kontinentalhang an die Oberfläche aufgetrieben (O'Toole 1980). Dieser Transport ist direkt an die Geschwindigkeit und die Intensität der Passatwinde gekoppelt. Der Auftrieb in diesem Gebiet und somit die Sauerstoffversorgung der Sedimente ist unmittelbar vom Wind abhängig und reagiert innerhalb von Stunden bis Tagen auf Veränderungen der Stärke des Passatwindes (Fennel 1990). Die dritte beteiligte Wassermasse ist das warme, tropische Oberflächenwasser. Dieses Wasser befindet sich normalerweise nördlich der Benguela-Angola-Grenze, wird aber während Warmwasserereignissen (Benguela-Ninos) in das Benguela-Gebiet Richtung Süden transportiert. Der Passatwind in der Benguelaregion unterliegt saisonalen Schwankungen und somit variiert auch der Auftrieb in diesem Gebiet saisonal. Das Gebiet mit der höchsten Windenergie und somit dem größten windinduzierten Auftrieb befindet sich vor Lüderitz (26°S) (Namibia). Durch die Beteiligung unterschiedlicher Wassermassen mit unterschiedlichen Eigenschaften (z. B. Sauerstoff- und Nährstoffgehalt) erklärt sich, dass die Primärproduktion in diesem Gebiet saisonalen Schwankungen unterliegt, die direkt von der Intensität der Passatwinde abhängt. Daraus folgt, dass immer wenn die Intensität der Passatwinde nachlässt, auch die Primärproduktion nachlässt. Unterhalb des SACW befindet sich die Wassermasse des Antarctic Intermediate Water (AAIW), bei diesem Wasser handelt es sich um das Oberflächenwasser des Falklandstromes, welches mit dem Brasilienstrom zusammenfließt und durch den subtropischen Wirbel in das Benguela-Gebiet gelenkt wird (Talley 1996). Da es sich ursprünglich um antarktisches Oberflächenwasser handelt, ist die Wassermasse des AAIW reich an Sauerstoff und reicht bis in die Wassertiefe von 1000 m hinab. Unterhalb des AAIW liegt die Wassermasse des North Atlantic Deep Water (NADW) (Duncombe Rae 2004). Diese Wassermasse liegt unterhalb der vom Auftrieb betroffenen Wassertiefe. Es wird in der Norwegisch-Grönländischen See gebildet und fließt in einer Wassertiefe von 1200 m – 4000 m Richtung Südatlantik (Reuter, 2003). Die Schelfgeometrie des untersuchten Gebiets ist gekennzeichnet durch seinen langen und flachen Schelfbereich, der eine Breite von bis zu 100km bis zur Schelfkante erreichen kann (Nelson & Hutchings 1983). Dieser Schelfbereich wird in der Literatur in einen oberen und einen unteren Schelf eingeteilt (Inthorn et al. 2006; van der Plas et al. 2007). Hierbei ist zu beachten, dass es

entlang des oberen Schelfs durch die zuvor beschriebene biologische Hochproduktion und die vorherrschenden Strömungsbedingungen zu einer vermehrten Ablagerung von organischem Material kommt. Dieses wird in küstenparallelen Bändern akkumuliert, in den so genannte Mudbelts (van der Plas et al. 2007).

2 Material und Methoden

2.1. Sedimentproben

Die Entnahme der Sedimentproben und somit auch der Porenwasserproben erfolgten mit Hilfe eines Multicorers. Der Aufbau sowie die Funktion des Gerätes werden von Schulz und Zabel (2006) beschrieben. Beim Multicorer handelt es sich um ein Metallgehäuse, in das bis zu 12 Acrylglasröhren eingebaut werden. Die Acrylglasröhren haben eine Länge von ca. 60 cm und einen Durchmesser von 5-10 cm. Diese Acrylglasröhren bohren sich bis ca. 30 cm in den Meeresboden, auf diese Weise lassen sich Sedimente fast ungestört bergen. Diese Methode ermöglicht Untersuchungen an den Sedimentkernen, die bestmöglich die in situ Bedingungen wiedergeben (Enneking et al. 1996). Die Verfälschung bzw. die Veränderung der Sedimentkerne innerhalb der Röhren ist abhängig von der Tiefe, aus der die Proben geborgen werden. So kommt es bei Proben aus großen Wassertiefen auf Grund der Druckentlastung bis zur Wasseroberfläche zu stärkeren Veränderungen als bei oberflächennahen Proben (Schulz & Zabel 2006). An denen vor der Küste Namibias geborgenen Sedimentkernen wurde der organische Kohlenstoffgehalt (C_{org}) der Sedimentoberfläche sowie die Ammonium- und Phosphatkonzentration im Porenwasser sowie im Überstandswasser gemessen. Die Probennahme des Porenwassers erfolgte mit der Rhizonen-Methode, welche erstmals von Seeberg-Elverfeldt et al. (2005) für marine Sedimente beschrieben wurde. Die Wahl fiel auf diese Methode, da sie am ehesten die in situ Bedingungen im Sediment widerspiegelt (Jahnke et al. 1982). Bei der Beprobung mit Rhizonen werden in die Acrylglasröhre vor der Probennahme in Abständen von je 1cm Löcher gebohrt. Nach der Probennahme werden in diese vorgefertigten Löcher die Rhizonen eingesetzt. Bei den Rhizonen handelt es sich um dünne Röhren von 2,5mm Durchmesser, die an dem Ende, mit dem sie im Sedimentkern fixiert werden, eine Membran mit einem Durchmesser von ca. 0,1µm aufweisen. Diese Membran ermöglicht bereits bei der Probennahme die Filtration des Porenwassers, so dass im Nachhinein keine weiteren Schritte zur Filtration notwendig sind (Schulz & Zabel 2006). An das andere Ende des Rhizonenröhrchens wird ein unter Vakuum stehendes Probengefäß angeschlossen, das Porenwasser aus dem Sediment durch die Rhizone in das Probengefäß leitet. Der Aufbau der Probennahme aus dem Sedimentkern mit der Rhizonen-Methode ist in Abbildung 2. 1 schematisch abgebildet. Das so gewonnene Probenwasser wird nach der Probennahme mit Hilfe eines Auto-Analysers auf den Nährstoffgehalt hin untersucht. Die Bestimmung der Nährstoffgehalte erfolgt durch photometrische Determination und wird von Grasshoff et al. (1999) detailliert beschrieben. Die Probennahme mit der Rhizonen-Methode ermöglicht eine gute Tiefenauflösung der Nährstoffkonzentration innerhalb der Sedimentkerne. Um die Interaktion zwischen Sediment und dem darüberliegenden Wasser zu

ermitteln, wird ebenfalls das Überstandswasser¹ des Sedimentkerns mit der Rhizonen-Methode beprobt (siehe Abbildung 2.1). Die Beprobung der Sedimentkerne für die vorliegende Arbeit wurde von Neumann (2012) durchgeführt und detailliert beschrieben.

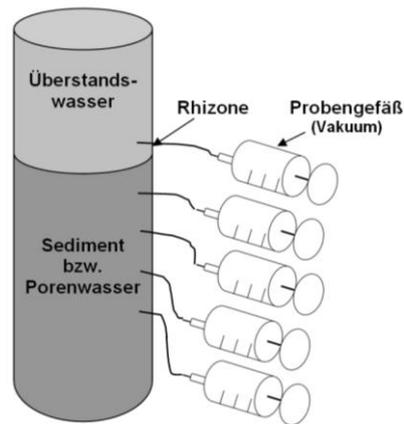


Abbildung 2.1: Der schematische Aufbau der Sedimentkern-Beprobung mit der Rhizonen-Methode.

Aus dem Gradienten der Nährstoffkonzentration in unterschiedlichen Tiefen des Sedimentkerns und im Überstandswasser des Sedimentkerns wurden mit Hilfe des Programms PROFIL die Flussraten (Flux) von Ammonium und Phosphat bestimmt. Das Programm wurde von Berg et al. (1998) entwickelt und beschrieben. Die Berechnung beruht auf der Annahme, dass sich das zu untersuchende Konzentrationstiefenprofil im steady state befindet und sich die Abgabe und Aufnahme von Nährstoffen aus bzw. in das Sediment und der Flux zwischen dem Sediment und der Wassersäule als Funktion der Tiefe darstellen lassen. So berechnet das Programm mehrere kleinere Flussraten durch die Errechnung der Konzentrationsunterschiede zwischen den einzelnen Messpunkten. Anschließend bewertet es diese durch statistische Berechnungen (Berg et al. 1998). Um die Flux-Daten möglichst genau zu berechnen, wurden die Konzentrationen bzw. die Konzentrationsunterschiede aus allen Messpunkten im Sediment und dem Messpunkt im Überstandswasser berechnet. Die Berechnung des Flux durch die Konzentrationsunterschiede erfolgt durch eine Erweiterung des 1. Fick'schen Gesetzes (siehe Gleichung 1). Durch diesen Vorgang wird das Flussprofil mit den meisten Übereinstimmungen und der größten Wahrscheinlichkeit herausgefiltert. Dadurch lässt sich der Flux von Ammonium und Nitrat an dem Übergang zwischen Sediment und Wassersäule präzise bestimmen (Berg et al. 1998). Da das Programm mit mehreren gemessenen Porenwasserdaten arbeitet, ist es weniger fehleranfällig als die Berechnung der Konzentrationsunterschiede zwischen dem Überstandswasser und dem ersten Messwert (oberster Zentimeter) im Sediment. Als Werte für den Diffusions-Koeffizienten wurden die empirisch ermittelten Daten von Li und Gregory (1974) verwendet. Hierbei handelt es sich um Diffusionswerte der einzelnen Parameter bei unterschiedlichen Temperaturen. Um zu berücksichtigen, dass die Diffusion durch die Porosität des Sediments verändert wird, fließt auch diese Größe mit in die Berechnung ein.

¹ Überstandswasser: Wasser welches ebenfalls durch den Multicorer geborgen wurde und über dem eigentlichen Sedimentkern steht.

Gleichung 1: 1. Fick'sches Gesetz (Schulz & Zabel 2006)

$$J_{\text{sed}} = -\Phi \cdot D \cdot (\partial c / \partial x)$$

J_{sed} = Diffusiver Fluss (Flux) im Sediment [$\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$]

$-\Phi$ = Porosität

D = Diffusiver Koeffizient [$\text{cm}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$]

$\partial c / \partial x$ = Konzentrationsunterschied

Zur Analyse des gesamten organischen Kohlenstoffgehalts (TOC) wurde der erste Zentimeter der Sedimentoberfläche getrocknet und anschließend mit einem Gaschromatographen die Konzentration des TOC ermittelt. Hierzu wurde das getrocknete Sediment mit einem Mörser homogenisiert und in zwei Probeläufen analysiert. Im ersten Lauf wurde das Sediment in Zinnkapseln gefüllt und mit Hilfe des Gaschromatographen auf den totalen Kohlenstoffgehalt (C_{tot}) untersucht. Im zweiten Probenlauf wurde das Sediment in eine Silberkapsel gefüllt und mit Salzsäure (HCL) behandelt, um eine Verfälschung der Proben durch karbonatisch gebundenen Kohlenstoff auszuschließen. Mit dieser Methode wurde der Gehalt an C_{org} ermittelt (Kaiser 2011). Im Gaschromatographen werden die Kapseln auf bis zu 1200 °C erhitzt, woraufhin der enthaltene Kohlenstoff zu CO_2 oxidiert. Dieses Gas durchläuft verschiedene Katalysatoren, um eine Verfälschung durch andere Elemente möglichst gering zu halten. Danach wird CO_2 von anderen Elementen (z. B. N_2) durch Gaschromatographie an einer Trennsäule getrennt und durch einen Wärmeleitfähigkeitsdetektor bestimmt (Kaiser 2011). Die genaue Funktionsweise von Gaschromatographen wird von Schulz und Zabel (2006) beschrieben. Die Auswertung dieser Daten fand im Vorfeld dieser Arbeit statt. Durchgeführt und detailliert beschrieben wurde sie von Kaiser (2011). Ebenfalls fand eine Bestimmung der Korngröße des ersten Zentimeters im Sediment statt. Hierzu wurde das Sediment durch das Durchlaufen von sechs übereinander stehenden Sieben voneinander getrennt. Die Siebgrößen waren 1000 μm , 500 μm , 250 μm , 125 μm , 63 μm sowie 20 μm ; der Anteil < 20 μm wurde am Ende des Siebturms aufgefangen. Durch das anschließende Wiegen der einzelnen Anteile der Korngrößenfraktionen wurde der Anteil dieser bestimmt. Diese Analyse führte ebenfalls Kaiser (2011) durch. Aus den gewonnenen Daten wurde anschließend mit Hilfe des Computerprogramms Gradistad die mittlere Korngröße (Median²) des Sediments bestimmt. Durch die Berechnung des Medians wird die Datenmenge auf einen Wert pro Probe reduziert, was der späteren Auswertung sowie der besseren graphischen Darstellungsmöglichkeiten zuträglich ist. Darüber hinaus wurde die Sauerstoffkonzentration am Übergang zwischen Sediment und Überstandswasser gemessen. Die Messung erfolgte kurz nach der Probennahme mit Hilfe von faseroptischen Mikrooptoden (Unisense). Dieses Prinzip beruht auf sauerstoffabhängiger Fluoreszenzlöschung und wurde von Fischer und Borchert (1985) sowie Klimant et al. (1995) detailliert beschrieben. Bei dieser Methode wird Licht mittels einer Glasfaser in das zu untersuchende Medium geleitet. Die Spitze dieser Glasfaser ist mit einer dünnen Schicht Epoxydharz überzogen. Dieses Harz beinhaltet einen Farbstoff (Rutherfordium (II)- tris- 4,7- Dephenyl- I,I- Phenanthroline). Dieser Farbstoff

² Der Median ist ein statistisches Mittel und teilt die zu untersuchende Probe in zwei gleichgroße Hälften.

fluoresziert bei einer Wellenlänge von 610 nm und die Intensität dieser Fluoreszenz hängt von dem Gehalt an Sauerstoff im untersuchten Medium ab (Schulz & Zabel 2006). Kalibriert wurde direkt nach der Bergung an jedem Sedimentkern, hierzu wurde die 2-Punkt Kalibration genutzt.

2.2 Wasserproben

Um eine Aussage über die Interaktion zwischen dem Porenwasser des Sediments und der darüberliegenden Wassersäule bzw. Wassermasse treffen zu können, wurden an den oben beschriebenen Probepunkten ebenfalls Wasserproben aus der Wassersäule genommen. Die Wasserprobenentnahme fand in unterschiedlichen Tiefen³ und unter Zuhilfenahme eines Rosettenwasserschöpfer mit integrierter CTD-Messsonde⁴ statt. Anschließend wurde die Phosphat- und Ammoniumkonzentration in den Wasserproben untersucht. Die Untersuchung der Nährstoffkonzentration erfolgte wie bei dem Porenwasser mit dem Auto-Analyser nach der Methode der photometrischen Determination (siehe Abschnitt 2.1). Der Sauerstoffgehalt sowie die Temperatur wurden direkt von der CTD-Messsonde gemessen. Zur Ermittlung des Sauerstoffgehalts wurde ein optischer Sauerstoffsensor benutzt und die gemessenen Sauerstoffkonzentrationen in regelmäßigen Abständen durch die Winkler Titrationsmethode verifiziert.

Zur Auswertung der Daten wurden die folgenden Programme verwendet: Zur Berechnung des Flux von NH_4^+ und PO_4^{3-} wurde das Programm PROFILE von Berg et al. (1998) verwendet; Zur Berechnung der mittleren Korngröße das Programm Gradistat genutzt; Die graphische Darstellung der Ergebnisse erfolgte unter Verwendung der Programme ArcGis, Microsoft EXCEL, Ocean Data View und SigmaPlot.

³ meist in den Tiefen 0 m, 10 m, 20 m, 30 m, 50 m, 75 m, 100 m und je nach Tiefe der Station in den Abständen 100 m, 500 m, 800 m, 1000 m, 2000 m, 3000 m sowie eine Probe an der tiefsten Stelle der Station (siehe Taabelle3.2).

⁴ Messsonde für Leitfähigkeit (Conductivity), Temperatur (Temperature) und für Tiefe (Depht).

3 Ergebnisse

3.1 Auswertung und graphische Darstellung

Für die vorliegende Arbeit wurden insgesamt 51 unterschiedliche Stationen auf verschiedene Parameter hin untersucht. Die Parameter sind der Nährstofffluss (Flux) von PO_4^{3-} und NH_4^+ zwischen Sediment und Wassersäule sowie dadurch bedingt der Nährstoffgehalt (PO_4^{3-} und NH_4^+) des Überstandswassers (erster Zentimeter) sowie der Nährstoffgehalt (PO_4^{3-} und NH_4^+) des Porenwassers in den Sedimentkernen; Der organische Kohlenstoffgehalt (C_{org}) sowie die Korngrößenverteilung (Median) des ersten Zentimeters der Sedimentkerne; Des Weiteren der Sauerstoff- und Nährstoffgehalt (PO_4^{3-} und NH_4^+) sowie die Temperatur der Wassersäule. Die Ergebnisdaten der Sedimentkernuntersuchung sind in Tabelle 3.1a und 3.1b aufgelistet. Tabelle 3.1a beinhaltet die Daten der Nährstoffkonzentrationen als Rohdaten, in Tabelle 3.1b sind die Daten der Fluxwerte der Nährstoffe Ammonium und Phosphat eingetragen. Die Ergebnisse der Wassersäulenanalyse sind in Tabelle 3.2 festgehalten.

3.2 Nährstoffgehalte des Überstandswassers

Für die Untersuchung des Überstandswassers sowie die Flux-Berechnung von PO_4^{3-} und NH_4^+ wurden die Daten von insgesamt 37 Messstationen ausgewertet (siehe Abbildung 3.1). Für die anderen 14 Messstationen liegen keine Nährstoffwerte aus den Sedimentkernen vor. Das Überstandswasser bezeichnet die Wasserprobe aus dem Sedimentkern, die über der Wasser-Sedimentgrenze entnommen wurde. Der PO_4^{3-} -Gehalt des Überstandswassers variiert zwischen dem Maximum von $18,91 \mu\text{mol/l}$ und dem Minimum von $0,70 \mu\text{mol/l}$. Tendenziell nehmen die Nährstoffgehalte in Küstennähe zu. Diese Werteverteilung ist nur bei den Messwerten entlang des $17,25^\circ\text{S}$ Breitengrads nicht erkennbar, dort nimmt der Gehalt in Richtung Ozean zu (siehe Abbildung 3.1). Auf diesem Breitengrad mündet der *Kunene River* in den Atlantischen Ozean, wodurch sich eventuell die Auffälligkeit im PO_4^{3-} -Gehalt erklären lässt

Bei dem NH_4^+ -Gehalt des Überstandswassers ist dieselbe tendenzielle Werteverteilung wie beim PO_4^{3-} -Gehalt zu erkennen. Auch hier nimmt der Gehalt in Richtung Küste, mit Ausnahme des $17,25^\circ$ Breitengrads, dort ist diese Erhöhung genau wie beim PO_4^{3-} nicht erkennbar (siehe Abbildung 3.1)

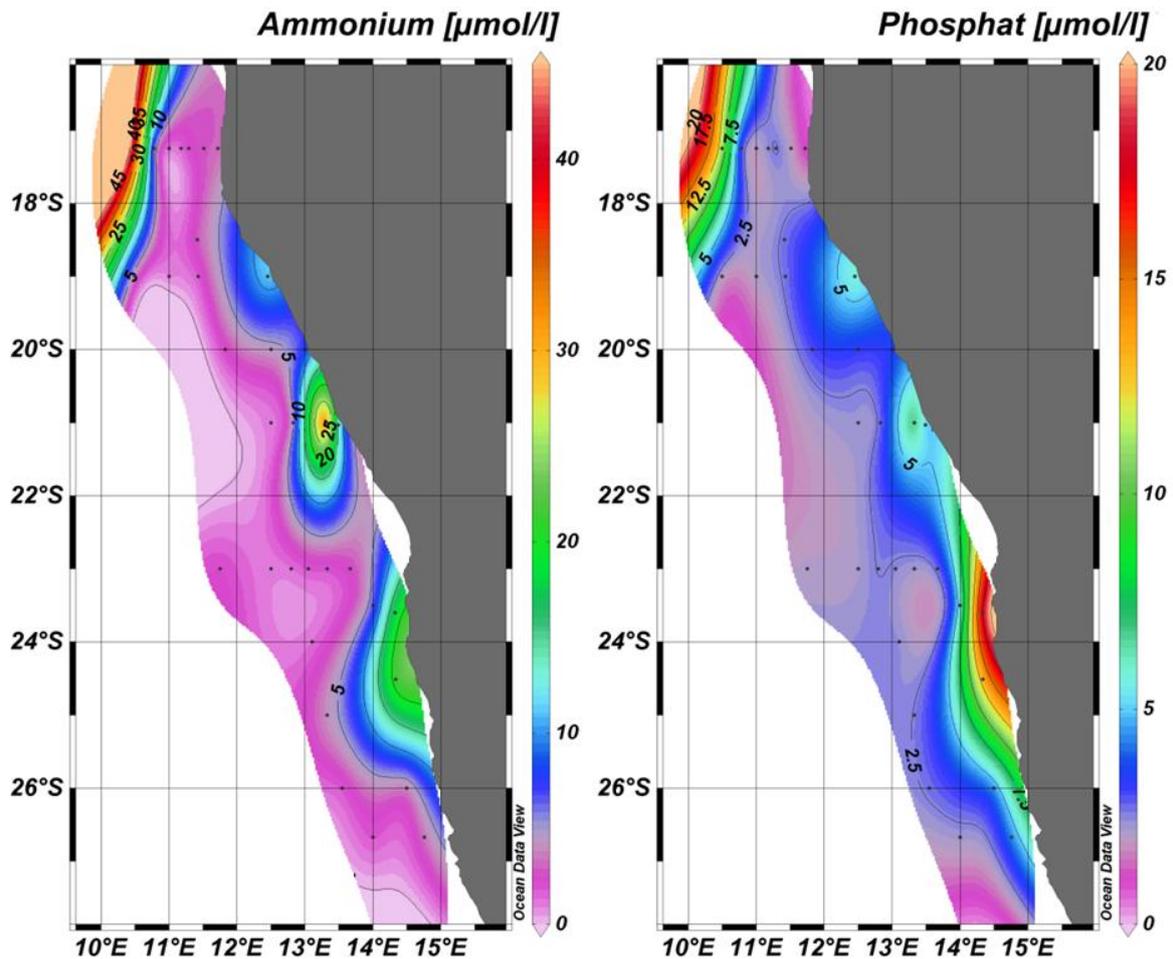
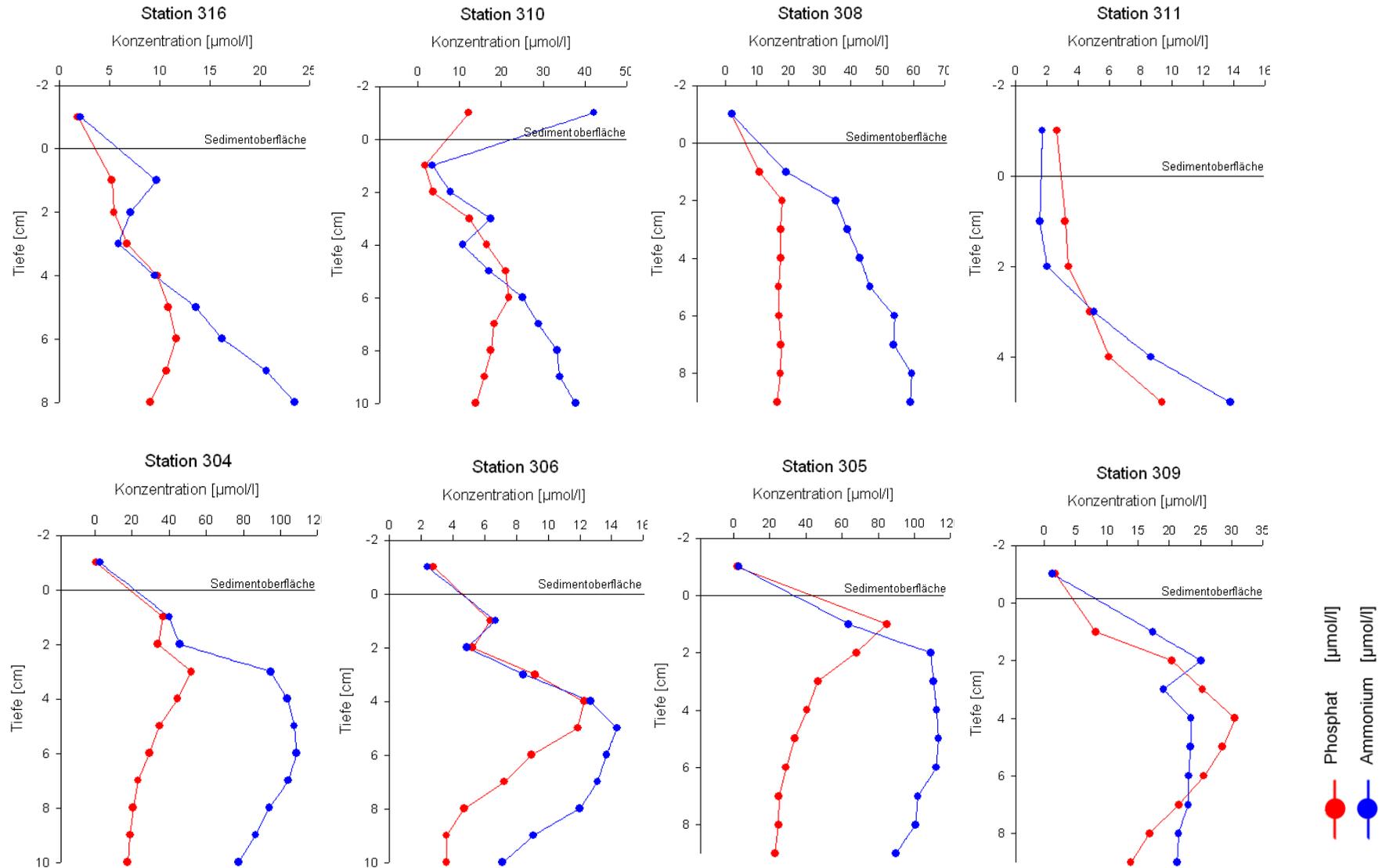


Abbildung 3.1: Die Gehalte von NH_4^+ und PO_4^{3-} im Überstandswasser der Sedimentkerne. Die Maxima der beiden Nährstoffkonzentrationen befinden sich in auf Höhe der 19°S , 21°S und $23,5^\circ\text{S}$ Breitengrade in Küstennähe.

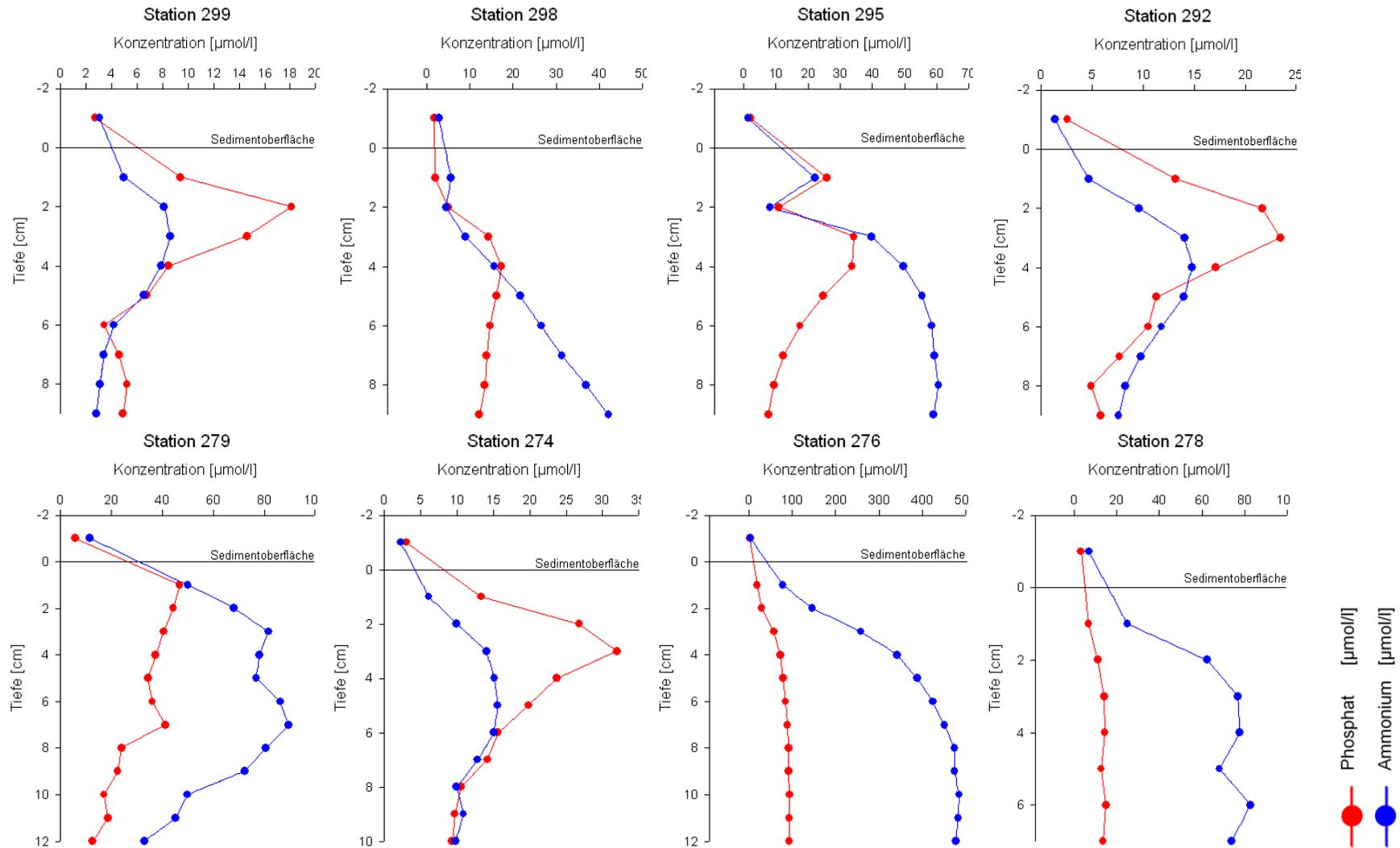
3.3 Porenwasser Profile

Wie zuvor beschrieben wurde das Porenwasser sowie das Überstandswasser der Sedimentkerne auf die Konzentration der Nährstoffe Ammonium und Phosphat untersucht. Die Ergebnisse der Porenwasseruntersuchung sowie die Ergebnisse der der Untersuchung des Überstandswassers der Sedimentkerne sind in Abbildung 3.2 dargestellt. Die Profile wurden nach Transekten angeordnet und entlang dieser Transekte wurden sie von West nach Ost gegliedert (siehe Abbildung 1.2). Aus den Konzentrationsunterschieden oberhalb und unterhalb der Sedimentoberfläche wurde im folgenden Abschnitt der Flux der Nährstoffe Ammonium und Phosphat zwischen dem Sediment und der Wassersäule bestimmt. Die Daten, die dieser Darstellung zugrunde liegen, sind in Tabelle 3.1a aufgelistet (siehe Anhang).

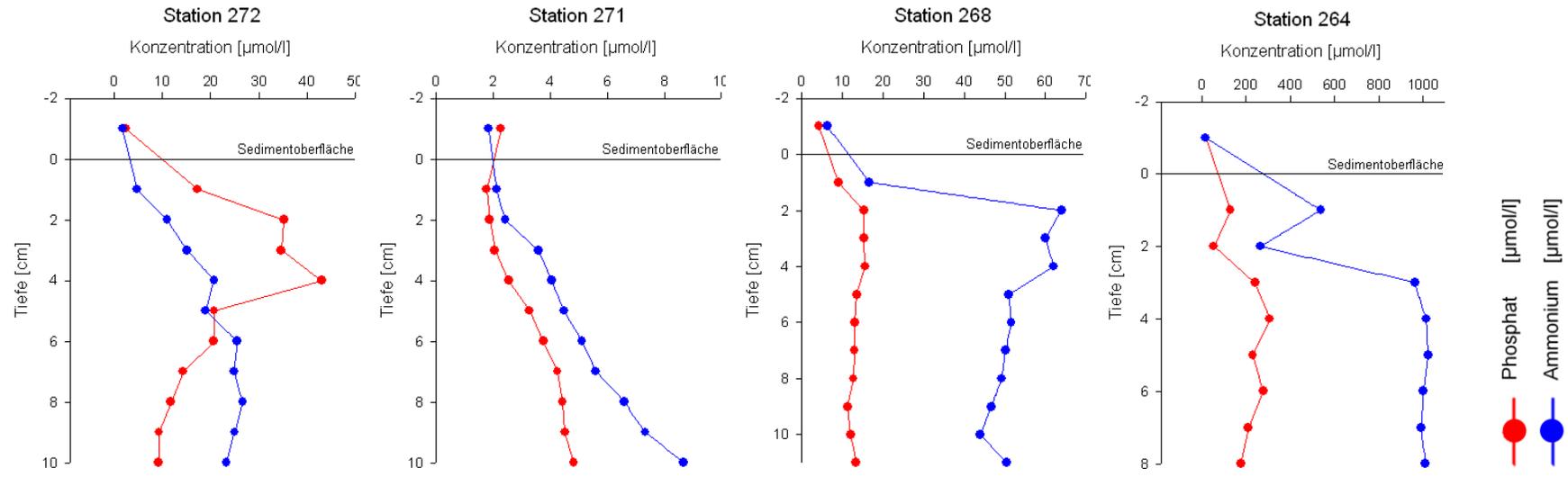
Transekt 17,25°S



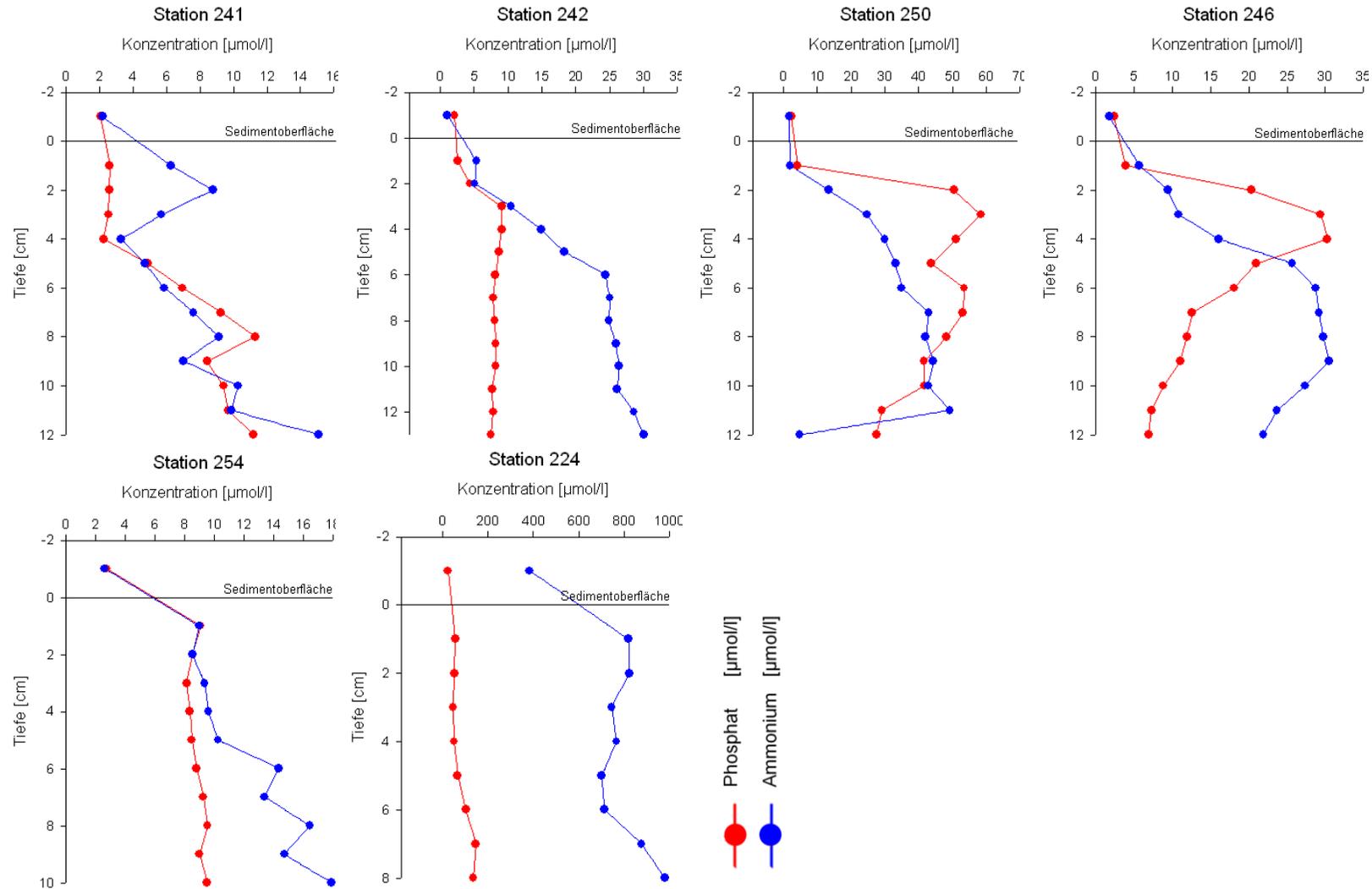
Transekte 18°S, 19°S, 20°S



Transekt 21°S



Transect 23°S



Transekte 24°S, 25°S, 26°S

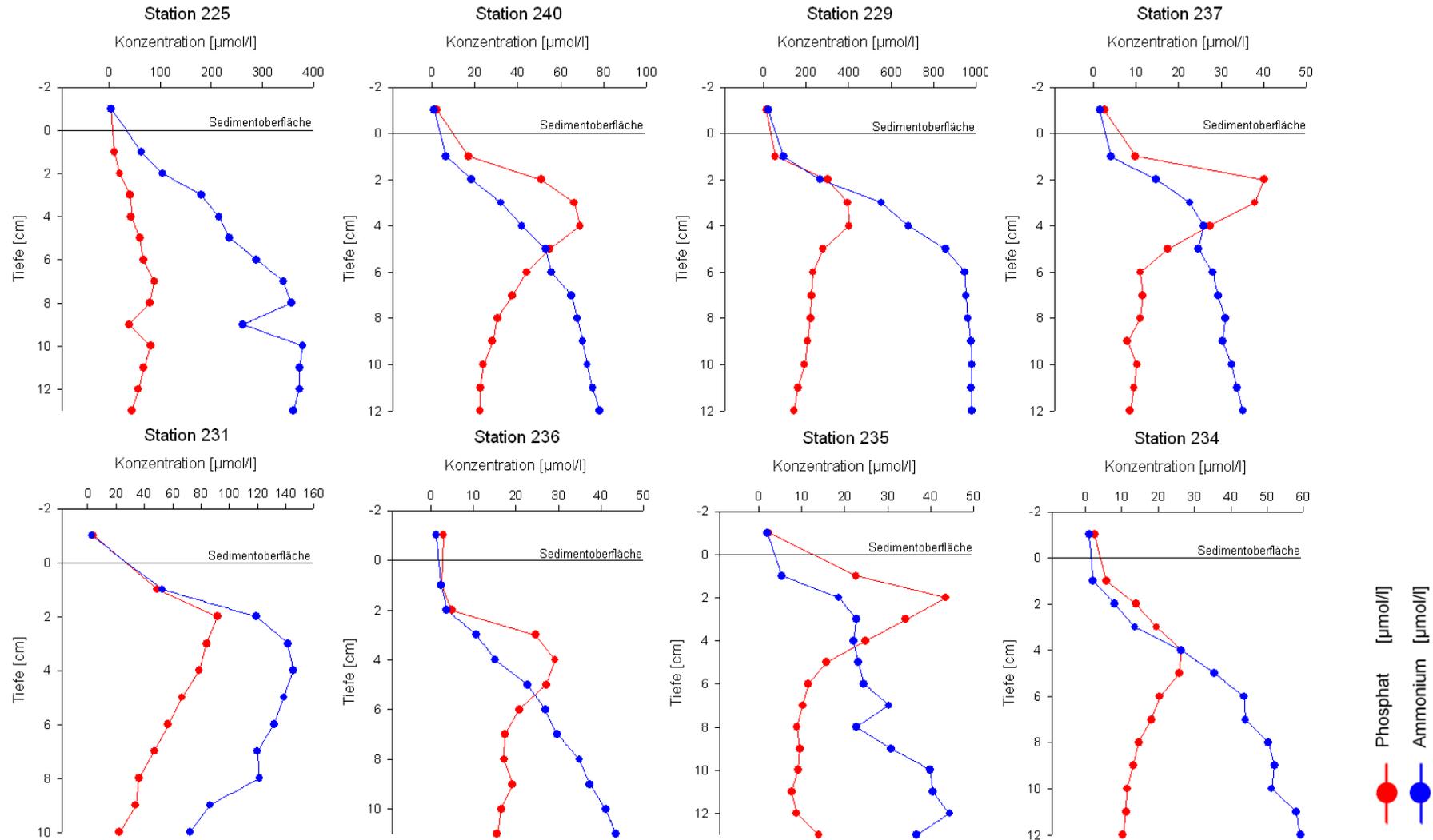


Abbildung 3.2: Die Porenwasserprofile der einzelnen Messstationen. Aus den Konzentrationsunterschieden oberhalb und unterhalb der Sedimentoberfläche wurde der Flux der Nährstoffe Ammonium und Phosphat berechnet.

3.4 PO₄³⁻- und NH₄⁺-Flux zwischen Porenwasser und Überstandswasser

Die Fluxwerte für die Nährstoffe PO₄³⁻ und NH₄⁺ wurden wie im Abschnitt 2.2 beschrieben mithilfe des Programms PROFILE ermittelt. Ein positiver Wert bedeutet einen Fluss aus der Wassersäule in das Sediment. Das Sediment nimmt also Nährstoffe auf, in diesem Fall PO₄³⁻ und NH₄⁺. Bei negativen Fluxwerten verhält es sich umgekehrt: In diesem Fall verläuft der Fluss aus dem Sediment in Richtung Wassersäule: „The negative sign indicates that the diffusive flux runs in opposition to the gradient's direction from high concentration to lower concentrations“ (Schulz & Zabel 2006). Anders ausgedrückt bedeutet dies, dass das Sediment PO₄³⁻ und NH₄⁺ an das Porenwasser und somit an die darüber liegende Wassersäule abgibt. Um die Ergebniswerte übersichtlicher darstellen zu können, wurden die Werte von μmol*m⁻²*s⁻¹ auf μmol*m⁻²*d⁻¹ umgerechnet.

3.4.1 PO₄³⁻-Flux

In dem gesamten Untersuchungsgebiet wurden an 36 Stationen Fluxwerte für den Nährstoff PO₄³⁻ ermittelt. An drei dieser Stationen wurden positive Fluxwerte verzeichnet, hierbei handelt es sich um die Stationen 242, 271, 298. Der positive Flux variiert zwischen 2,80 μmol*m⁻²*d⁻¹ und 3,30 μmol*m⁻²*d⁻¹ (siehe Tabelle 3.1b). An den übrigen 33 Probenstationen wurden negative Fluxwerte ermittelt. Die Werte für den Flux aus dem Sediment in die Wassersäule variieren zwischen dem Minimalwert -0,63 μmol*m⁻²*d⁻¹ und dem Maximalwert -1346,11 μmol*m⁻²*d⁻¹. Der Minimalwert wurde bei der Station 311 gemessen und liegt an der Position 17,25°S/ 11,18°E. Der Maximalwert liegt bei Position 17,25°S/ 11,71°E und wurde er an der Station 229 gemessen (siehe Abbildung 3.3). Auffällig ist, dass der höchste und der niedrigste Flux aus dem Sediment in der Wassersäule räumlich sehr dicht beieinander liegen. Dieses Phänomen kommt vermutlich durch die Einmündung des Kunene Rivers (auf Höhe des 17,25°S Breitengrads) in den Atlantik zustande, so können veränderte Strömungen oder Einträge aus dem Fluss zu diesem Umstand führen.

Es gibt drei Bereiche mit einer stark erhöhten PO₄³⁻-Fluxintensität. Der Bereich mit den höchsten Werten liegt in unmittelbarer Küstennähe, entlang des 17,25°S Breitengrads, der zweite, etwas niedrigere liegt bei der Position 22°S/ 13,5°E in Richtung Schelfmitte. Ein dritter Anstieg des PO₄³⁻-Flux wurde wieder in unmittelbarer Küstennähe entlang des 20°S Breitengrads gemessen (siehe Abbildung 3.3).

3.4.2 NH₄⁺-Flux

Für den Flux von NH₄⁺ wurden die Daten von insgesamt 34 Probestationen ausgewertet. An 7 Stationen wurden positive Werte gemessen. Diese liegen bei Messstationen 234, 237, 238, 268, 271, 298 und 311. Ein positiver Wert bedeutet, wie schon zuvor erwähnt einen Fluss aus der Wassersäule hinein ins das Sediment, die Werte für diesen positiven Flux schwanken zwischen 0,9 μmol*m⁻²*d⁻¹ und 170,81 μmol*m⁻²*d⁻¹. Der Minimalwert für den positiven Flux befindet sich bei der Station 234 (Position 26°S/ 14,42°E), der Maximalwert wurde an

der Station 268 (Position 21,20°S/ 13,49°E) ermittelt (siehe Tabelle 3.1b). An den 27 restlichen Messstationen wurden negative Werte des Nährstoffflusses von NH_4^+ kartiert. Das Maximum des Flusses aus dem Sediment in Richtung Wassersäule liegt mit $-2636,06 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ auf der Position 17,25°S/ 11,71°E bei der Messstation 304 (siehe Abbildung 3.3) und somit unmittelbar vor der Küste an der Mündung des Kunene Rivers.

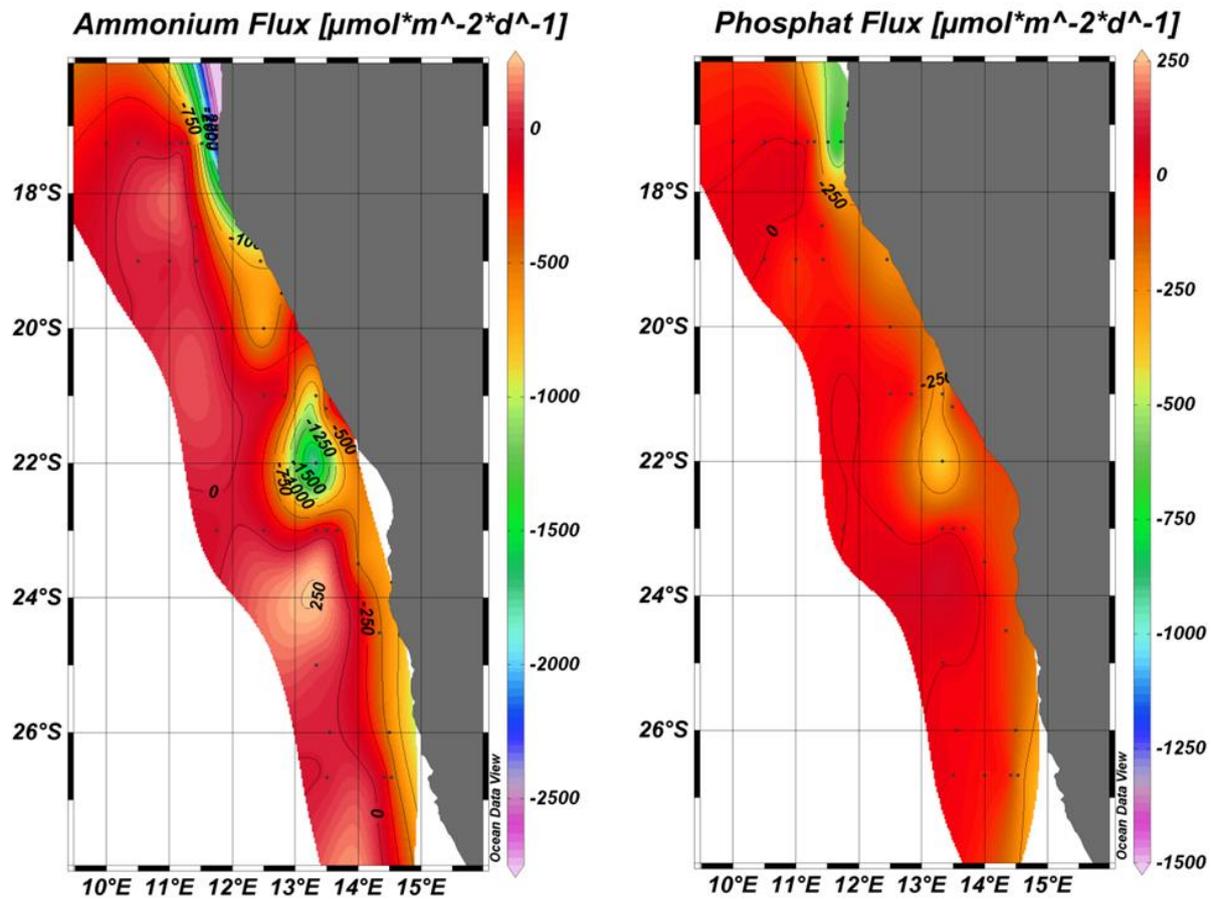


Abbildung 3.3: Die Fluxraten von NH_4^+ und PO_4^{3-} zwischen Sediment und Wassersäule. Bei der Abbildung des NH_4^+ -Flux handelt es sich bei der Position 24°S/ 13,5°E um eine Interpolationsschwäche von Ocean Data View, für diesen Bereich stehen keine positiven Messdaten zur Verfügung.

Der kleinste Wert mit $-1,43 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ wurde bei der Position 18,5°S/ 11,41°E (Station 299) gemessen und liegt etwas von der Küste entfernt. Wie in Abbildung 3.2 zu sehen ist, gibt es bei dem NH_4^+ -Flux zwei auffällig hohe Intensitäten. Die eine liegt in unmittelbarer Küstennähe und erstreckt sich zwischen dem 17,25°S und 20°S Breitengrad. Die zweite liegt zwischen den Positionen 21°S/ 13°E und 23°S/ 14°E und damit etwas küstenferner als der zuerst genannte Wert. In der Abbildung 3.2 ist zu sehen, dass der zuletzt erwähnte Anstieg in der Intensität des NH_4^+ -Flux dicht an der Küste bis hin zu dem 26,67°S Breitengrad ausläuft. Bei den Werten die entlang des 24°S Breitengrads als positiver Flux von bis zu $250 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ dargestellt sind, handelt es sich um eine Darstellungsschwäche von ODV. Diese Werte wurden interpoliert und bilden keine real gemessenen Werte ab. Interessant ist zu beobachten, dass sowohl das Maximum des PO_4^{3-} - als auch das Maximum des NH_4^+ -Flux an der Station 304, an der Mündung des Kunene Rivers gemessen wurden. Ebenfalls der Anstieg der

Fluxintensität bei der Position 22°S/ 13,5°E ist bei beiden Nährstoffen zu erkennen. Auch ist ein leichter Anstieg der beiden Nährstoffflüsse entlang des 26,67°S Breitengrads in unmittelbarer Küstennähe zu erkennen. Eine Überschneidung ist ebenfalls bei den positiven Fluxwerten zu sehen, so kommen an der Station 271 sowohl ein positiver PO_4^{3-} - und ein positiver NH_4^+ -Fluxwert vor (siehe Tabelle 3.1b).

3.4.3 Verhältnis von PO_4^{3-} - zu NH_4^+ -Flux

Wie man in Abbildung 3.2 und in der Tabelle 3.1 sehen kann, liegen die Werte für den NH_4^+ -Flux deutlich über der Fluxintensität von PO_4^{3-} . Durchschnittlich ist der Flux von NH_4^+ aus dem Sediment in die Wassersäule 3 mal höher als der Flux von PO_4^{3-} . Es wird gleichzeitig aber auch deutlich, dass es fast in dem gesamten Untersuchungsgebiet zu einer Freisetzung der Nährstoffe NH_4^+ und PO_4^{3-} aus dem Sediment in die Wassersäule kommt. Da an nur insgesamt 8 Messpunkten positive Fluxwerte gemessen wurden, scheint die Freisetzung von Nährstoffen aus dem Sediment in diesem Gebiet die Regel zu sein.

3.5 Sauerstoffgehalt

Bei den Sauerstoffwerten, die am Übergang zwischen Wassersäule und Sediment gemessen wurden, fallen drei Minimumzonen auf, die einen Sauerstoffgehalt von $\leq 5 \mu\text{mol/l}$ aufweisen. Diese minimalen Werte liegen zwischen den Breitengraden 20°S, 23°S und 26°S an den küstennächsten Stationen. Generell erstreckt sich eine sauerstoffarme Zone direkt an der Küste zwischen dem 18°S und 26°S Breitengrad. Weiterhin lässt sich feststellen, dass der Sauerstoffgehalt tendenziell abnimmt, je näher man der Küste kommt.

Diese Tendenz bestätigt sich an den Probenstationen zwischen den Breitengraden 18°S und 26,67°S. Bei den auf Breitengrad 17,25°S gemessenen Werten wurde keine Minimumzone in Küstennähe festgestellt. Nichtsdestotrotz nimmt auch hier der Sauerstoffgehalt mit der Küstenentfernung zu (siehe Abbildung 3.4).

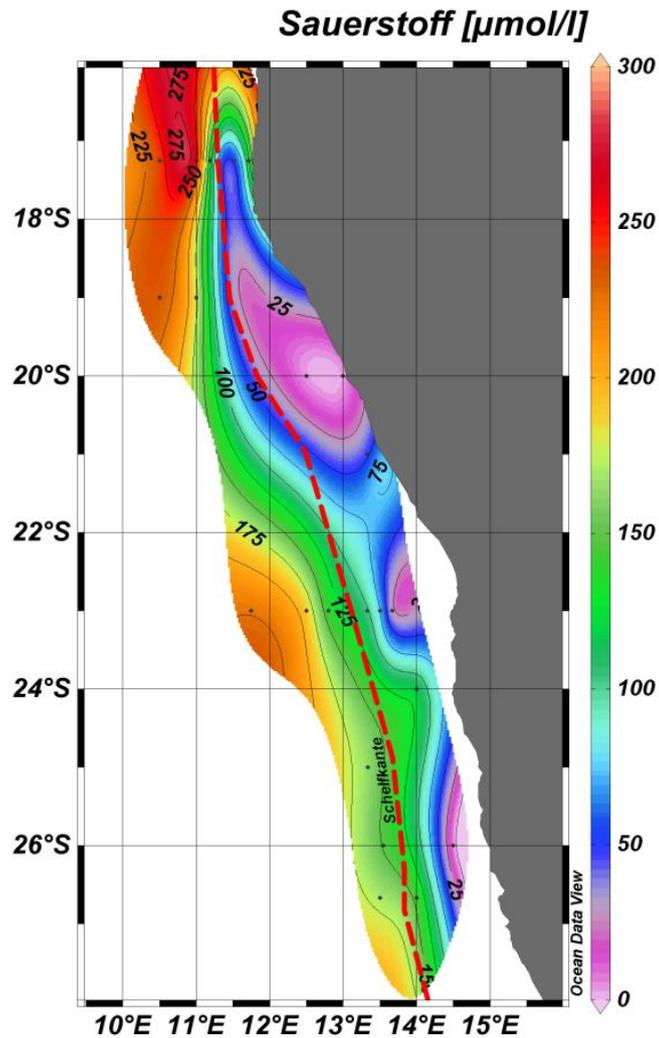


Abbildung 3.4: Die Sauerstoffkonzentration in $\mu\text{mol/l}$ am Übergang zwischen Sediment und Wassersäule. Die Gebiete mit der geringsten Konzentration befinden sich alle in unmittelbarer Küstennähe und oberhalb einer Wassertiefe von 500 m. Die Gebiete mit den höchsten Konzentrationen befinden sich unterhalb einer Wassertiefe von 500 m, relativ weit von der Küste entfernt. Zur Orientierung wurde die Schelfkante eingefügt. Daten zur Lage der Schelfkante übernommen von Shannon und Nelson (1996).

3.6 Organischer Kohlenstoffgehalt (C_{org})

Der C_{org} -Gehalt des ersten Zentimeters der Sedimentproben wurde von Kaiser (2011) an den Sedimentkernen bestimmt, aus denen auch die PO_4^{3-} - und NH_4^+ -Wasserproben entnommen wurden. An den Stationen 243 und 225 wurden die die höchsten Werte des C_{org} Gehalts von 10,55 % gemessen. Diese liegen auf den Breitengraden 23°S und dem $23,6^\circ\text{S}$. Der Minimalwert von 0,32 % liegt bei Station 268 auf dem 21°S Breitengrad.

Insgesamt wurden sechs Maxima in den C_{org} -Gehalten der Sedimente kartiert: Diese liegen zwischen dem 23°S und dem $26,67^\circ\text{S}$ Breitengrad. Nördlich des 23°S Breitengrads liegen die gemessenen C_{org} -Werte zwischen 4,15 % und 0,32 % (siehe Abbildung 3.5).

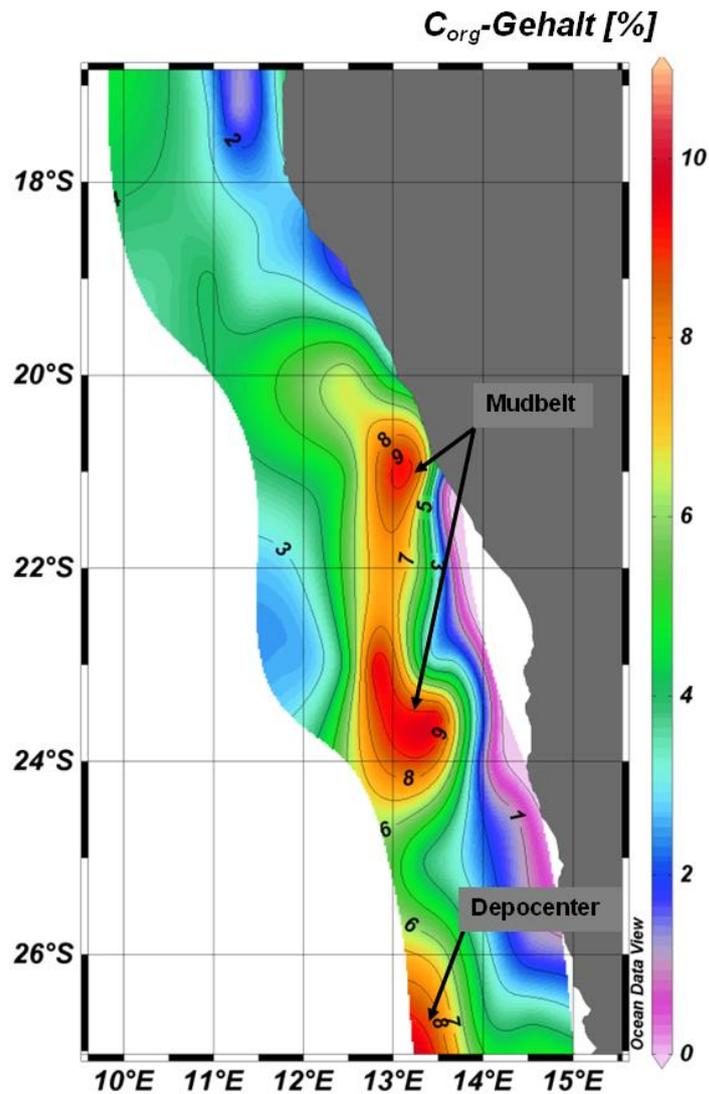


Abbildung 3.5: Die Konzentration des organischen Kohlenstoff im ersten Zentimeter des Sediments in Gewichtsprozent. Die Gebiete mit den höchsten Konzentrationen in Küstennähe sind als Mudbelt gekennzeichnet, die Gebiete mit einer hohen Konzentration, die sich weiter von der Küste entfernt befinden, sind als Depocenter gekennzeichnet. Die Identifizierung der Mudbelts und des Depocenters wurde von Kaiser (2011) übernommen.

Die C_{org} -Maxima zwischen den Breitengraden 20°S und 25°S wurden von Kaiser (2011) nach Inthorn et al. (2006) als „Mudbelt“⁵ kartiert. Die unterhalb des 25°S Breitengrads kartierten Anstiege im C_{org} -Gehalt wurden von Kaiser (2011) ebenfalls nach Inthorn et al. (2006) als „Depocenter“⁶ beschrieben.

⁵ Der Schelf vor Namibia wird in etwa 400 m Wassertiefe relativ flach, dieser Bereich wird in den inneren Schelf von 100 - 200 m Wassertiefe und den äußeren Schelf von 200 - 400 m Wassertiefe unterteilt. Der Mudbelt wird im inneren Schelf abgelagert und besteht aus Diatomeen-Schlamm (Bremner 1983, Inthorn et al. 2006).

⁶ Das Depocenter wird auf dem äußeren Schelf abgelagert. Hierbei handelt es sich um organisches Material, das an der Wasseroberfläche gebildet und durch einen *down-slope* gerichteten Transport auf dem äußeren Schelf akkumuliert wird (Mollenhauer et al. 2007).

3.7 Korngrößenverteilung der Sedimente

Die Untersuchung der Korngrößenverteilung führte ebenfalls Kaiser (2011) durch. Es wurde unterteilt zwischen den Korngrößen $>1000\ \mu\text{m}$, $>500\ \mu\text{m}$, $>250\ \mu\text{m}$, $>125\ \mu\text{m}$, $>63\ \mu\text{m}$ sowie $<63\ \mu\text{m}$. Dies ergibt gemäß der DIN 4022⁷ eine Unterteilung in Grobsand, Mittelsand, Feinsand und Grobschluff. Für die vorliegende Arbeit wurden diese Daten genutzt und mit dem Programm Gradistat auf den Median-Wert umgerechnet. Dieser schwankt im Untersuchungsgebiet zwischen $69,4\ \mu\text{m}$ und $1005,5\ \mu\text{m}$ (siehe Abbildung 3.6).

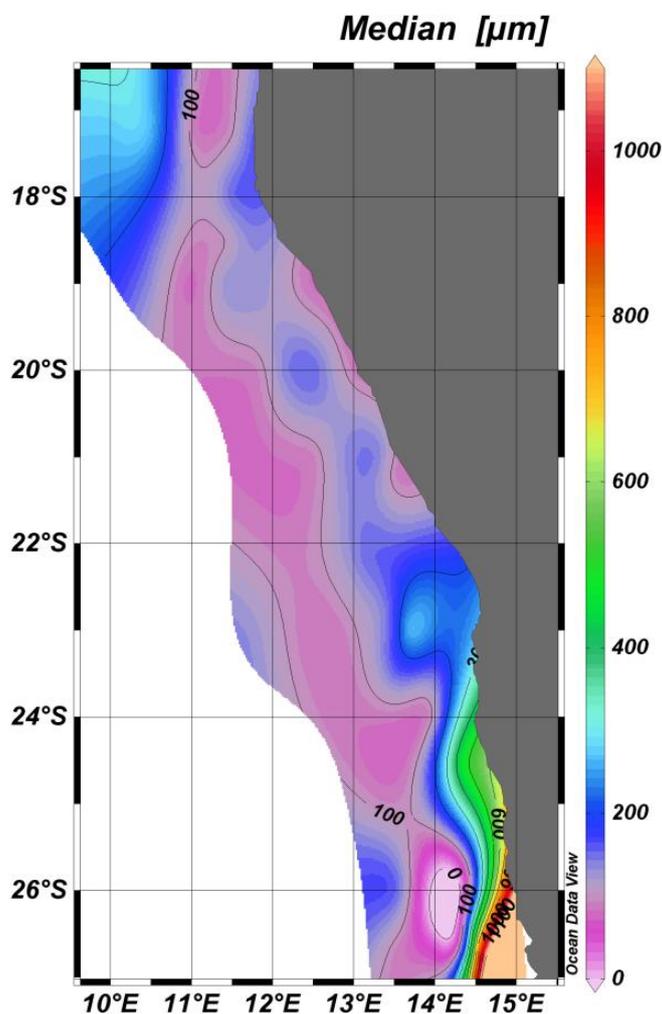


Abbildung 3.6: Die Verteilung des Medians [μm] der Korngrößen. Der Medianwert nimmt im südlichen Teil des Untersuchungsgebiets zu.

Wie in Abbildung 3.5 dargestellt, weist der südliche Teil des Untersuchungsgebiets zwischen den Breitengraden 22°S und 26,6°S eine Zunahme des Medians in Küstennähe auf, die in Richtung Süden kontinuierlich ansteigt. Eine weitere Zunahme lässt sich entlang des Breitengrads 17,25°S erkennen, in diesem Fall jedoch mit steigender Entfernung zur Küste (siehe Abbildung 3.6).

⁷ DIN 4022: DIN Norm des Deutschen Instituts für Normung e.V.

3.8 Temperatur-, Sauerstoff- und Nährstoffverteilung innerhalb der Wassersäule

Die Daten der Auswertung der Sauerstoffsättigung sowie des Nährstoffgehaltes der Wassersäule ist in Tabelle 3.2 zusammengefasst. Aufgrund der Masse an Daten wurden die Ergebnisse der Datenanalyse entlang dreier Transekte dargestellt. Bei den abgebildeten Transekten handelt es sich um die waagrecht zur Küste verlaufenden Transekte 17,25°S, 19°S und 23°S. Sie wurden aufgrund ihrer nahezu vollständigen Datensätze ausgewählt.

3.8.1 Transekt 17,25°S

Der Transekt bei 17,25°S ist der am nördlichsten gelegene des Untersuchungsgebiets. An dieser Stelle mündet der Kunene River in den Atlantischen Ozean. Wie in der Abbildung 3.7 zu erkennen ist, fallen die Gehalte an NH_4^+ entlang dieses Transekts im Gegensatz zu den Gehalten an PO_4^{3-} eher gering aus.

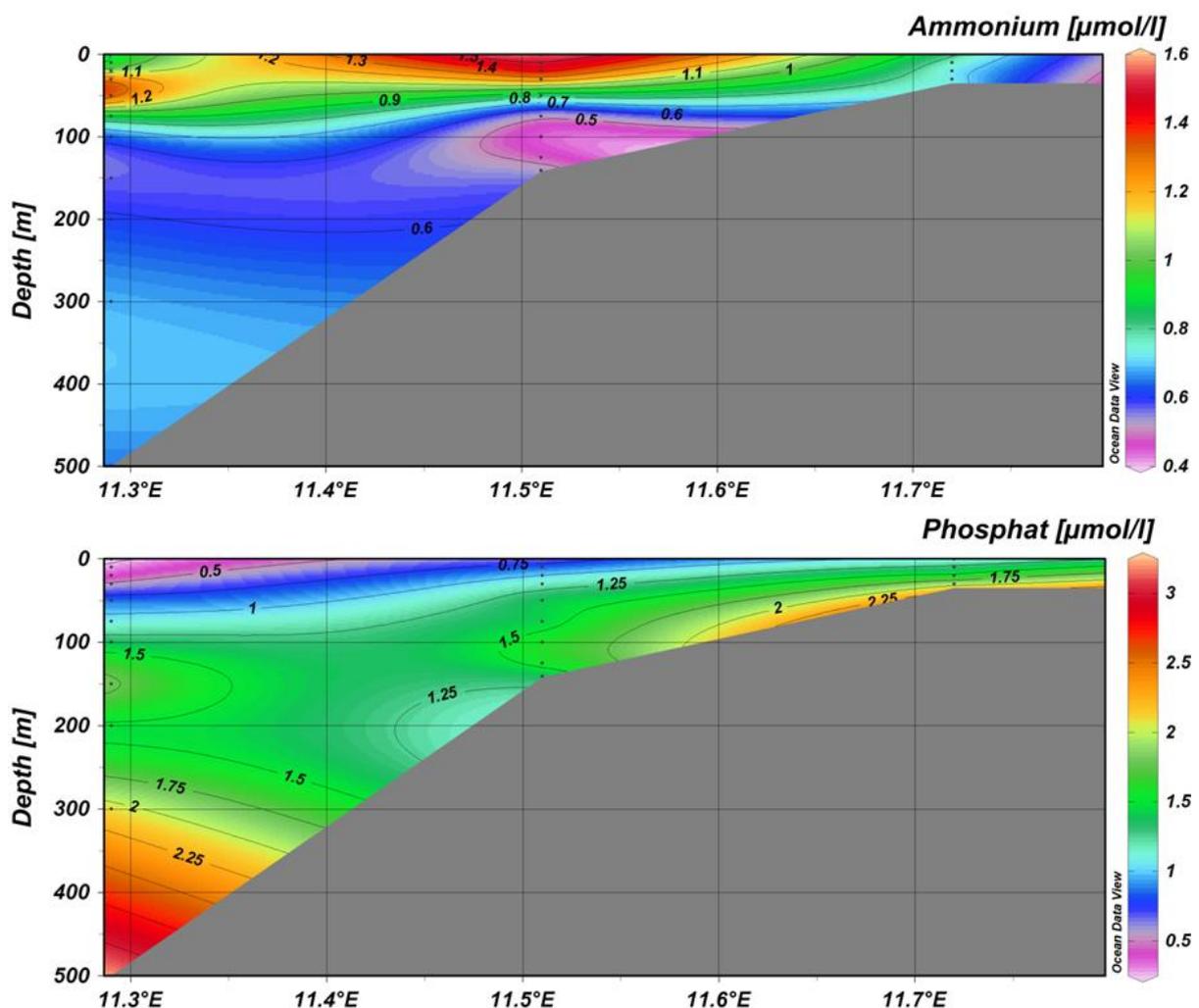


Abbildung 3.7: Die Verteilung der Nährstoffe PO_4^{3-} und NH_4^+ entlang des 17,25°S Transekts. Wie sich feststellen lässt, ist in diesem Transekt das N:P-Verhältnis (16:1) deutlich zu Gunsten des Phosphats verschoben.

So schwanken die Werte für NH_4^+ zwischen ca. $0,0 \mu\text{mol/l}$ - $1,0 \mu\text{mol/l}$ (siehe Tabelle 3.2). Auffällig hierbei ist, dass diese Werte sehr homogen verteilt sind: Die tieferen Wasserschichten weisen einen NH_4^+ -Gehalt von $<0,75 \mu\text{mol/l}$ auf; zur Wasseroberfläche steigt der Gehalt bis auf ca. $1 \mu\text{mol/l}$ an. Anders verhält sich dies bei dem Nährstoff PO_4^{3-} . Hier schwanken die Werte zwischen ca. $0,5 \mu\text{mol/l}$ und $5 \mu\text{mol/l}$. Die Verteilung der Konzentrationen von PO_4^{3-} weicht von der Konzentrationsverteilung des NH_4^+ ab. So wurden entlang des $17,25^\circ\text{S}$ Transekts die niedrigsten für Werte PO_4^{3-} direkt an der Meeresoberfläche gemessen. Mit zunehmender Wassertiefe steigen die Werte an und erreichen küstenfern (11°E) bei einer Wassertiefe von 750 m ein Maximum von ca. $5 \mu\text{mol/l}$. Nach Erreichen dieses Maximums nehmen die Werte mit zunehmender Wassertiefe wieder ab (siehe Abbildung 3.6). Erwähnenswert ist, dass der Gehalt an PO_4^{3-} im Durchschnitt deutlich höher ausfällt als der Gehalt an NH_4^+ . Der Sauerstoffgehalt entlang des $17,25^\circ\text{S}$ Transekts hat zwei Spitzenwerte: Einer befindet sich direkt an der Wasseroberfläche, ein anderer liegt unterhalb einer Meerestiefe von ca. 750 m (siehe Abbildung 3.8).

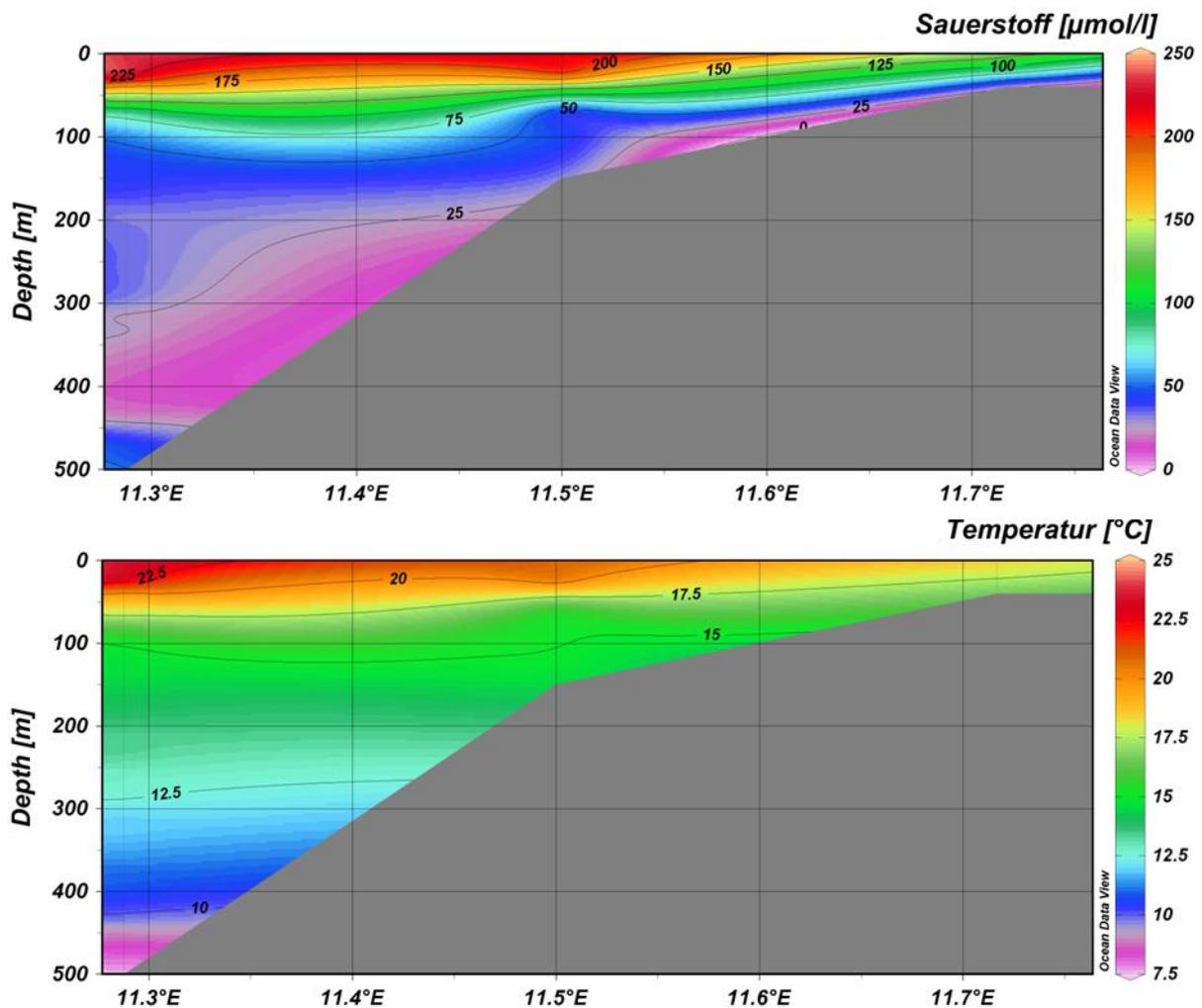


Abbildung 3.8: Die Sauerstoffsättigung sowie die Temperatur der Wassersäule entlang des $17,25^\circ\text{S}$ Transekts.

Die Minima des Sauerstoffgehalts (ca. $25 \mu\text{mol/l}$) wurden in einer Wassertiefe von ca. 200 m und 500 m gemessen. Ober- und unterhalb dieser Minima steigt der Sauerstoffgehalt bis zu

den zuvor erwähnten Spitzenwerten an (siehe Abbildung 3.8). Die Temperatur entlang des untersuchten Transekts erreicht ihr Maximum (ca. 22 °C) direkt an der Meeresoberfläche und sinkt kontinuierlich mit zunehmender Wassertiefe (siehe Abbildung 3.8).

3.8.2 Transekt 19°S

Entlang des 19°S Transekts stellt sich die Nährstoffverteilung deutlich anders dar als entlang des zuvor beschriebenen Transekts bei 17,25°S. So ist die Verteilung des NH_4^+ unregelmäßiger, es lassen sich in der Wassersäule insgesamt drei Spitzenwerte feststellen. Der höchste Wert (ca. 2,25 $\mu\text{mol/l}$) liegt an der Position 11°E in einer Wassertiefe von ca. 750 m. Ein weiterer liegt direkt an der Küste nahe der Wasseroberfläche. Der dritte Spitzenwert liegt ebenfalls auf der Position 11°E, direkt an der Wasseroberfläche (siehe Abbildung 3.9).

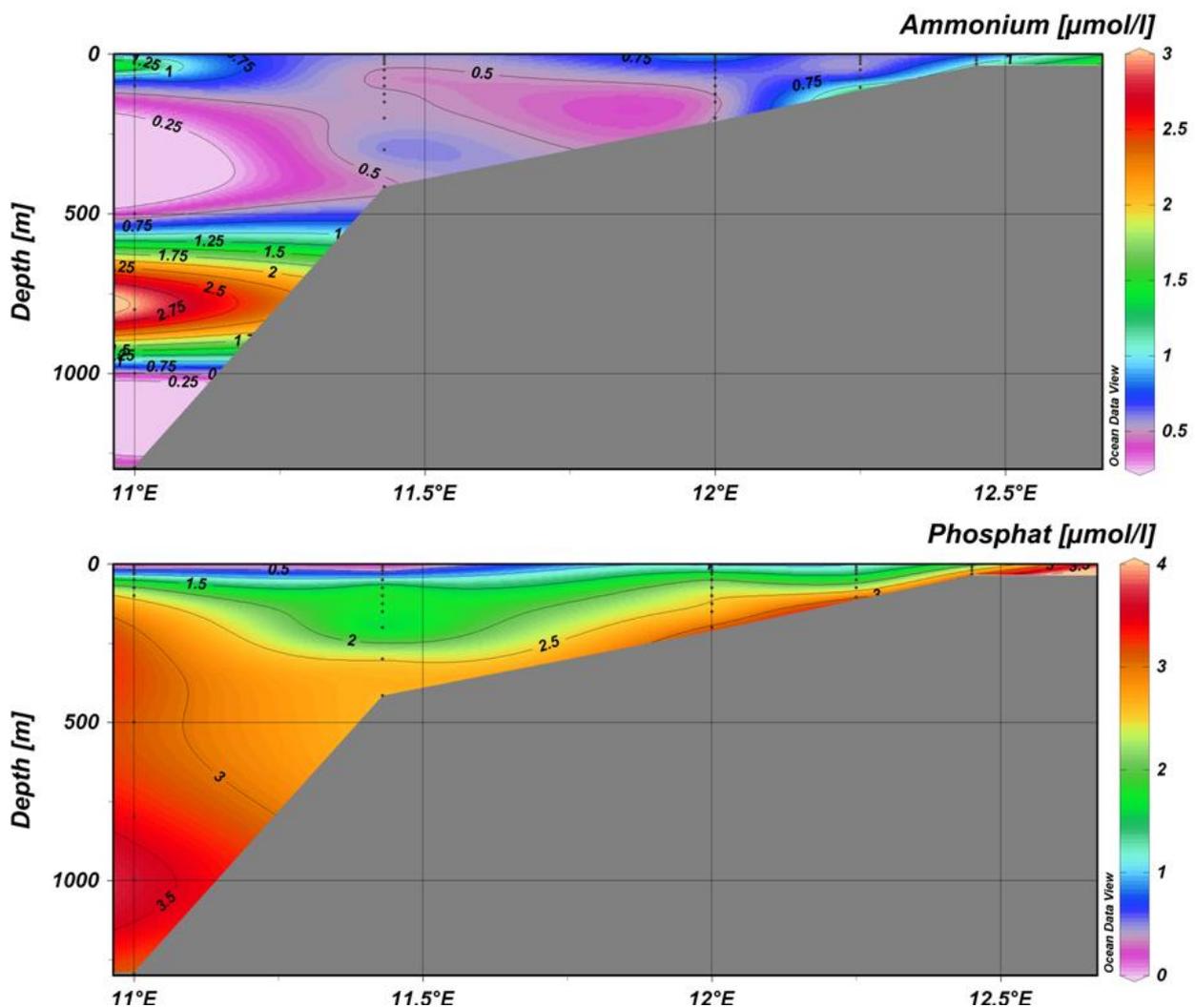


Abbildung 3.9: Die Gehalte an NH_4^+ und PO_4^{3-} in der Wassersäule entlang des 19°S Transekts.

Außerhalb dieser eben beschriebenen Maxima schwankt der NH_4^+ -Gehalt zwischen 0,0 $\mu\text{mol/l}$ und 0,5 $\mu\text{mol/l}$. Auch bei dem PO_4^{3-} -Gehalt der Wassersäule lassen sich drei auffällige Anstiege in der Konzentration erkennen. Der höchste Anstieg (ca. 5 $\mu\text{mol/l}$) liegt direkt an der

Küste an der Wasseroberfläche. Die anderen beiden befinden sich in einer Wassertiefe von ca. 750 m und 1000 m an den Positionen 10,5°E und 11°E (siehe Abbildung 3.9). Auffällig ist, dass die Höchstwerte der beiden Nährstoffe, die direkt an der Küste liegen, sich an derselben Position befinden. Im Bezug auf den Sauerstoffgehalt entlang des 19°S Transekts lassen sich Ähnlichkeiten mit dem des 17,25°S Transekts erkennen. Es lassen sich zwei Spitzenwerte der Sauerstoffkonzentration erkennen: Der eine direkt an der Meeresoberfläche und der andere ab einer Meerestiefe von ca. 1500 m. Auch hier existiert eine Minimumzone zwischen der Wassertiefe von ca. 200 m - 500 m, jedoch liegt der Sauerstoffgehalt in diesem Fall bei ca. 50 $\mu\text{mol/l}$. Dieser nimmt jedoch zur Küste hin bis auf $<25 \mu\text{mol/l}$ ab (siehe Abbildung 3.10). Die Temperaturverteilung entlang des 19°S Transekts ähnelt der Temperaturverteilung entlang des 17,25°S Transekts. So nimmt die Temperatur auch hier von der Meeresoberfläche mit zunehmender Meerestiefe kontinuierlich ab (siehe Abbildung 3.10).

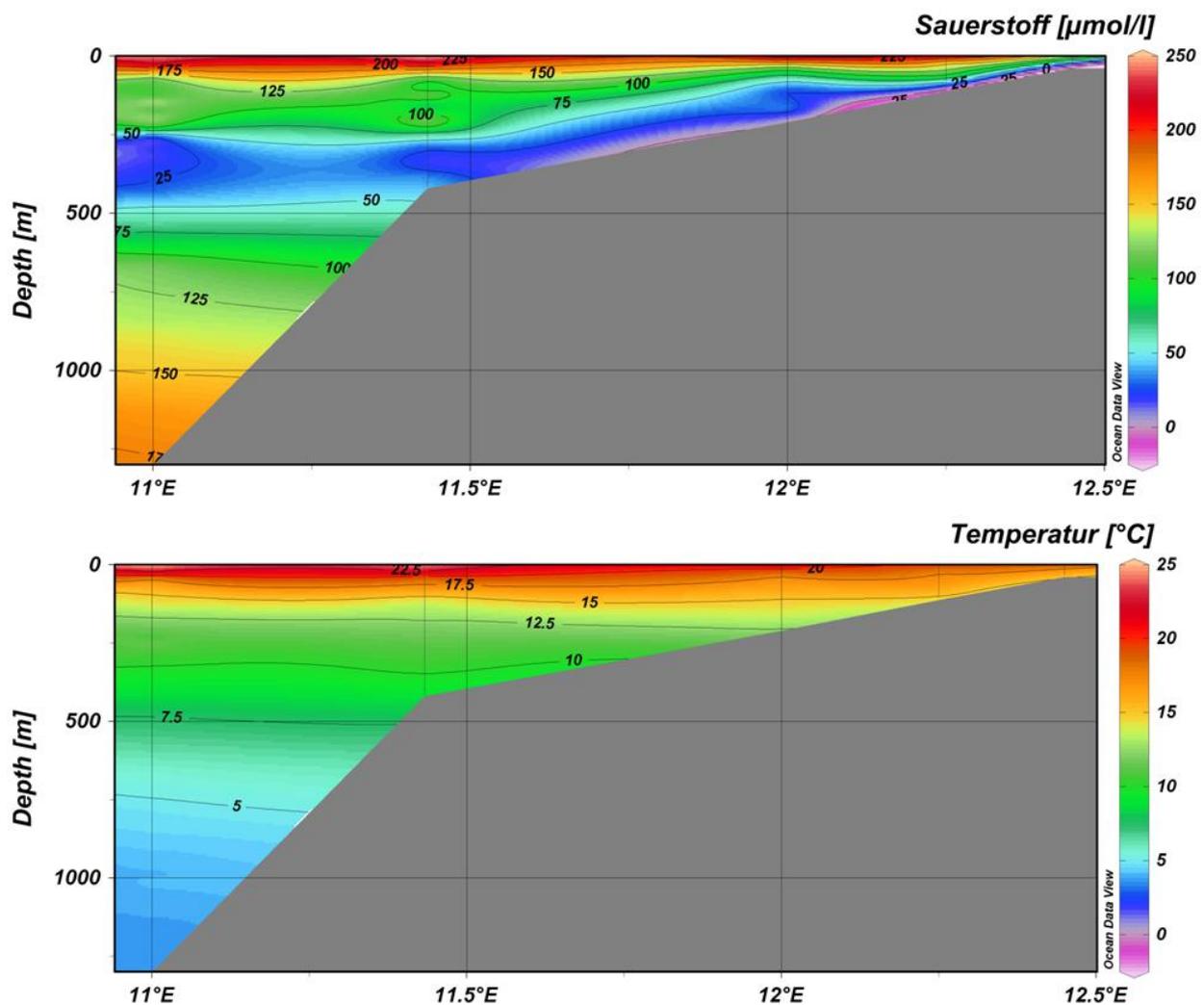


Abbildung 3.10: Die Sauerstoffsättigung sowie die Temperatur der Wassersäule entlang des 19°S Transekts.

3.8.3 Transekt 23°S

Entlang des 23°S Transekts gibt es eine relativ gleichmäßige Verteilung der Nährstoffe NH_4^+ und PO_4^{3-} . So haben beide Nährstoffe ihr Konzentrationsmaximum direkt an Küste in unmittelbarer Nähe zur Meeresoberfläche. Bei der NH_4^+ -Konzentration liegt das Maximum bei ca. 1,75 $\mu\text{mol/l}$ und reicht bis ca. 14°E von der Küste aus in Richtung Westen. Westlich der Position 14°E nimmt die Konzentration stark ab und schwankt in der untersuchten Wassersäule zwischen ca. 0,0 $\mu\text{mol/l}$ und 0,5 $\mu\text{mol/l}$. Bei der PO_4^{3-} -Konzentration hat das zuvor beschriebene Maximum ($>4 \mu\text{mol/l}$) eine weitere räumliche Ausdehnung und reicht in Schelfnähe in westlicher Richtung bis zu der Position 13°E. Mit geringerer Konzentration (ca. 2 $\mu\text{mol/l}$) setzt sich ein Ausläufer dieses Maximums in Richtung Westen in einer Tiefe von ca. 500 m – 1000 m fort. Oberhalb und unterhalb dieses beschriebenen Konzentrationshochs schwankt die PO_4^{3-} -Konzentration zwischen ca. 0,0 $\mu\text{mol/l}$ und 1,5 $\mu\text{mol/l}$ (siehe Abbildung 3.11). Deutlich erkennbar ist, dass auch in diesem Transekt, die durchschnittliche Konzentration von PO_4^{3-} höher liegt, als die Konzentration von NH_4^+ .

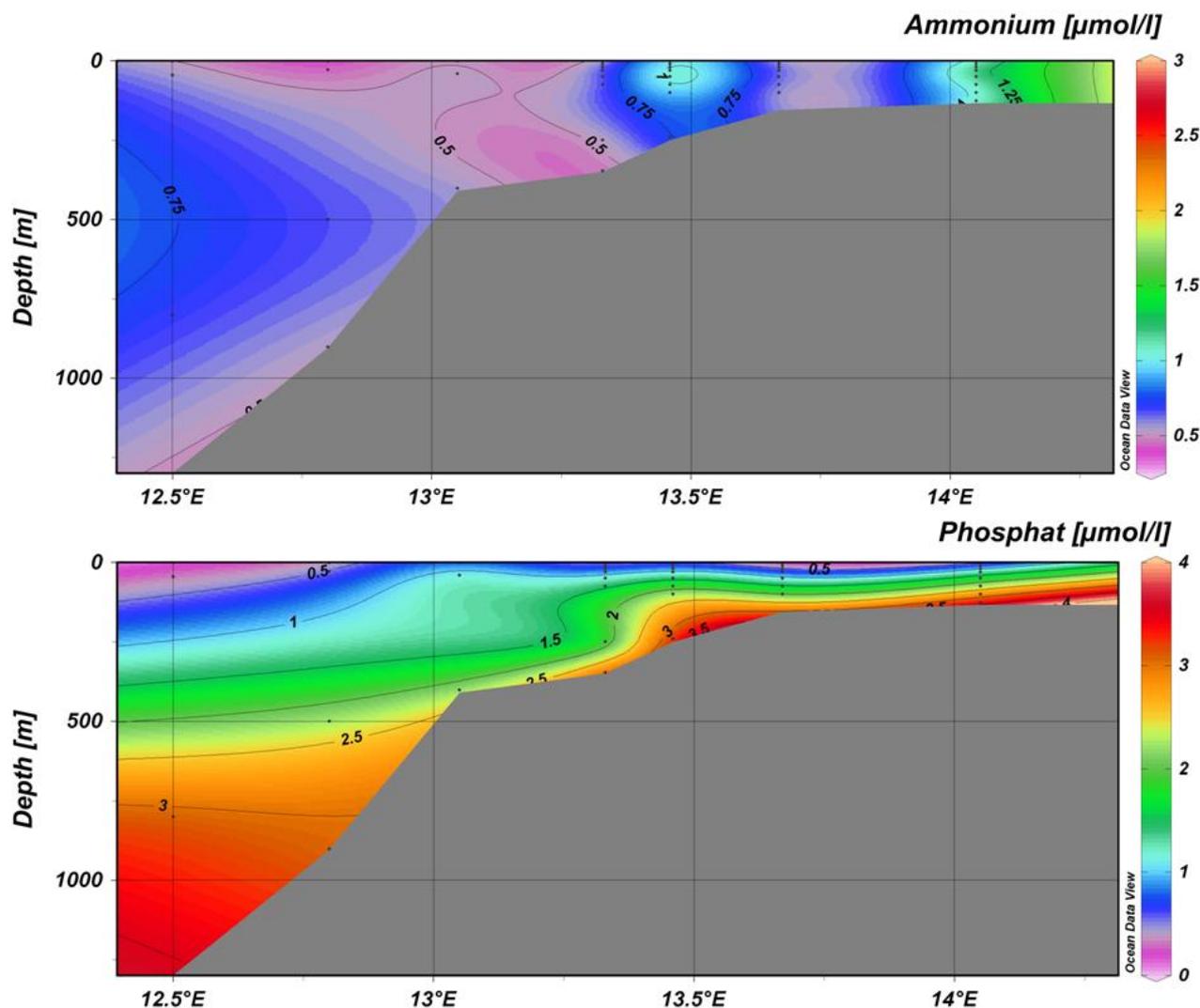


Abbildung 3.11: Die Gehalte an NH_4^+ und PO_4^{3-} in der Wassersäule entlang des 23°S Transekts.

Hinsichtlich der Untersuchung des Sauerstoffgehalts unterscheidet sich der 23°S Transekt von den beiden zuvor beschriebenen. So ist die Sauerstoffverteilung in der Wassersäule ungleichmäßiger. Es kommt am oberen Schelf zwischen 13,5°E und 14,5°E zu einem Minimum mit Sauerstoffgehalten von $<25 \mu\text{mol/l}$. Weiter westlich lässt sich ein Bereich mit einem Sauerstoffgehalt von $<150 \mu\text{mol/l}$ lokalisieren, der sich in einer Wassertiefe von ca. 200 m – 1000 m befindet. Oberhalb und unterhalb dieser geringeren Konzentration steigen die Werte wieder an (siehe Abbildung 3.12). Bei der Temperatur der Wassersäule gibt es auch entlang dieses Transekts keine Veränderung: Auch hier sinkt die Temperatur mit zunehmender Wassertiefe (siehe Abbildung 3.12). Grundsätzlich muss bei den Darstellungen mit ODV darauf hingewiesen werden, dass es sich bei den Darstellungen um real gemessene Werte handelt, die Daten zwischen diesen Messwerten wurden aufgrund der besseren graphischen und räumlichen Darstellung interpoliert. Somit handelt es sich bei den Abbildungen um eine Annäherung an die realen Bedingungen.

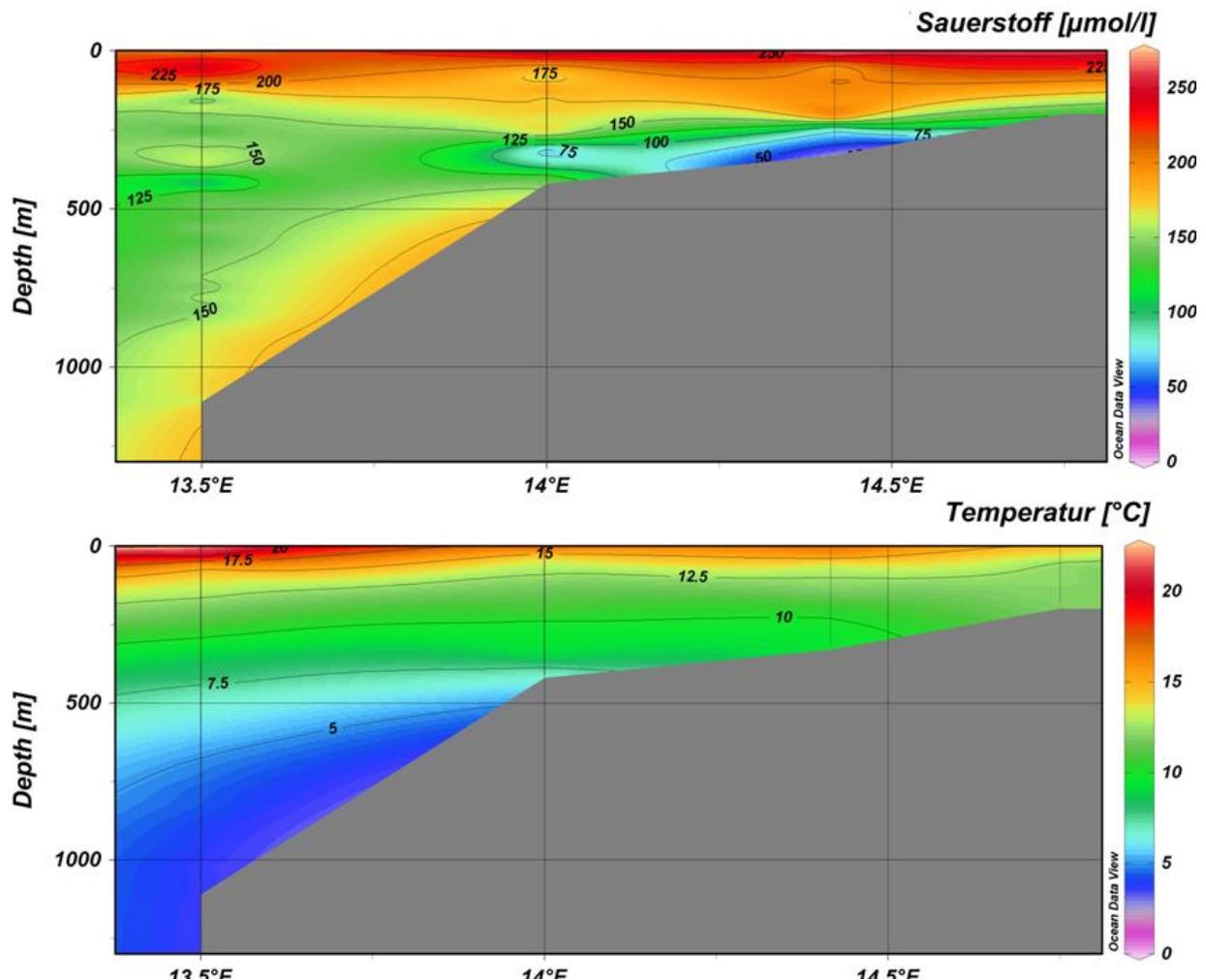


Abbildung 3.12: Die Temperatur sowie die Sauerstoffkonzentration entlang des 23°S Transekts. Auffällig ist hier die unregelmäßigere Verteilung des Sauerstoffs im Gegensatz zu den zuvor beschriebenen Transekten.

4 Diskussion

4.1 Identifikation der beteiligten Wassermassen

Für das Sauerstoffbudget des Auftriebsgebiets spielt die Verteilung der Zentralwassermassen eine Schlüsselrolle (Mohrholz et al. 2008). Daher soll in diesem Abschnitt geklärt werden, welche Wassermassen zur Zeit der Probennahme das Untersuchungsgebiet beeinflusst haben.

Wie in Abschnitt 3.5 beschrieben, kommen sauerstoffarme bis anoxischen Bedingungen vor allem in Küstennähe und in der Wassersäule oberhalb einer Wassertiefe von 500 m vor. Diese Sauerstoffarmut entlang der Küste kann zum einen auf das an Sauerstoff verarmte Auftriebswasser zurückgeführt werden (Reuter 2003), zum anderen auch auf die schlechte Durchmischung und die geringe Wassertiefe. Eine sauerstoffarme bis anoxische Wassermasse liegt in der Wassertiefe von 250 m – 500 m (In Abschnitt 3.8 beschrieben: Transekt 17,25°S, Transekt 19°S). Bei dieser Wassermasse handelt es sich vermutlich um das sauerstoffarme und mit Nährstoffen angereicherte SACW, das durch den windinduzierten Auftrieb in diesem Gebiet aus Richtung Norden den Schelf hinauf bis an die Wasseroberfläche getrieben wird (Reuter, 2003; Hutchings et al. 2009). Das SACW ist eine polwärts gerichtete Unterströmung, die den nordwärts gerichteten Ekmantransport ausgleicht. Es wird im Golf von Guinea gebildet und treibt das sauerstoffarme Wasser aus dem *Angola Dome*⁸ in das Untersuchungsgebiet (Chapman & Shannon, 1987). Diese Wassermasse wird entlang des untersuchten Transekts 17,25°S aus einer Wassertiefe von 200 m – 400 m den Schelf hinauf bis an die Wasseroberfläche getrieben (siehe Abbildung 4. 1).

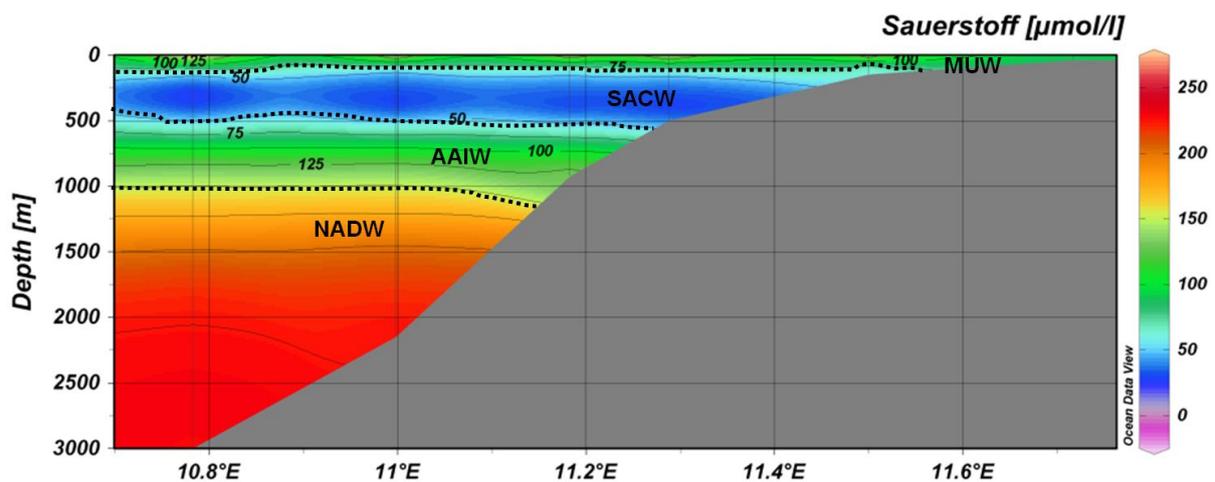


Abbildung 4.1: Die Sauerstoffverteilung entlang des 17,25°S Transekts. Die einzelnen Wassermassen sind durch eine gepunktete Linie voneinander getrennt.

Unterhalb des SACW bis ca. 1000 m Wassertiefe befindet sich eine Wassermasse, die eine höhere Sauerstoffsättigung aufweist (siehe Abbildung 4.1). Bei diesem Wasser handelt es sich vermutlich um das Antarctic Intermediate Water (AAIW). An das AAIW grenzt das NADW, welches nach Literaturangaben unterhalb von 1000 m Wassertiefe vorkommt (Duncombe Rae

⁸ Sauerstoffarme Meeresregion nördlich des Benguela Auftriebsgebiets

2004). Oberhalb des SACW liegt eine ca. 200 m mächtige Wassermasse, die bis an die Meeresoberfläche reicht. Sie weist im Durchschnitt einen Sauerstoffgehalt von 133 $\mu\text{mol/l}$ auf. Hierbei könnte es sich um das Modified Upwelling Water handeln. Das MUW ist aufgetriebene Wasser, welches durch den Austausch mit der Atmosphäre an Sauerstoff angereichert ist (Mohrholz et al. 2004).

4.2 Sauerstoffminimumzonen entlang des Meeresbodens

Um zu klären, wie effizient die Freisetzung von Nährstoffen aus dem Sediment als Funktion der Bodenwasser-Sauerstoffkonzentration ist (Genus II Projekt-Leitantrag), wird in diesem Abschnitt zunächst die Sauerstoffverteilung im Übergang zwischen Sediment und Wassersäule im Auftriebsgebiet diskutiert.

Beurteilt man den Sauerstoffgehalt des Bodenwassers nach den Kriterien von Bailey (1991), laut denen es sich bei einem Sauerstoffgehalt von $<0,5 \text{ ml/l}^{-1}$ um anoxisches⁹ Wasser und ab einem Sauerstoffgehalt $<2 \text{ ml/l}$ um sauerstoffarmes¹⁰ Wasser handelt, so kommt man zu dem Ergebnis, dass an insgesamt 13 Messstationen entlang des Meeresbodens sauerstoffarme Bedingungen herrschen (siehe Tabelle 4.1). An den übrigen 16 Stationen für die die Sauerstoffwerte am Übergang zwischen Sediment und Wassersäule vorliegen, wurden Messwerte oberhalb von 2 ml/l gemessen. Alle für diese Arbeit untersuchten Stationen, die eine Sauerstoffarmut aufweisen, liegen küstennah und oberhalb einer Wassertiefe von 500 m (siehe Tabelle 4.1).

Die Sauerstoffarmut kann zum einen auf das an Sauerstoff verarmte Auftriebswasser (siehe Abschnitt 4.1), und zum anderen auf die Schelftiefe zurückgeführt werden (Mohrholz et al. 2008). Da der Namibische Schelf im Untersuchungsgebiet über weite Bereiche ungewöhnlich flach und breit ist (Inthorn et al 2006), verwundert es nach dieser Theorie nicht, dass es großflächige an Sauerstoff verarmte Bereiche im oberen Schelf gibt. Nach Bailey (1991) Cai und Reimers (1995) sind jedoch nicht allein das sauerstoffarme Auftriebswasser und die Wassertiefe, sondern auch die C_{org} Produktion in der photischen Zone (bedingt durch den Auftrieb von nährstoffreichem Wasser), die temperaturliche Stratifizierung der Wassersäule und die Anreicherung von organischem Material am Schelfboden für diese Sauerstoffuntersättigung verantwortlich.

⁹ Wasser mit einem Sauerstoffgehalt $<0,5 \text{ ml/l}$, wurde von Demaison, und Moore (1980) als anoxisch definiert.

¹⁰ Wasser mit einem Sauerstoffgehalt $<2 \text{ ml/l}$, wurde von Deuser (1975) als sauerstoffarm definiert.

Tabelle 4.1: Die Lage sowie die Tiefe der sauerstoffarmen- und anoxischen Stationen im Untersuchungsgebiet. Die Sauerstoffwerte sind in ml/l sowie in $\mu\text{mol/l}$ angegeben.

Kern	Latitude	Longitude	Wasser- tiefe [m]	C_{org} [%]	Sauerstoff [ml/l]	Sauerstoff [$\mu\text{mol/l}$]
231	-26,00	14,50	190	1,52	0,00	0
278	-20,00	13,00	30	3,57	0,02	1
276	-20,00	12,50	153	6,82	0,04	2
254	-23,00	13,67	155	3,62	0,11	5
274	-20,00	11,83	408	5,38	0,85	38
269	-21,00	13,33	98	9,63	0,87	39
299	-18,50	11,42	436	3,19	0,90	40
292	-19,00	11,43	416	2,92	0,92	41
306	-17,25	11,29	500	1,20	0,96	43
305	-17,26	11,51	142	1,88	1,05	47
272	-21,00	12,50	425	4,77	1,28	57
304	-17,25	11,72	35	2,66	1,34	60
268	-21,19	13,49	23	0,32	1,93	86

Der im Wasser gelöste Sauerstoff steht an der Wasseroberfläche im Gleichgewicht mit dem atmosphärischen Sauerstoff (Schulz & Zabel 2006). Somit ist das Oberflächenwasser gut durchlüftet. Wird die photische Zone nun wie im Fall des Benguela-Auftriebsgebiets mit Nährstoffen angereichert, führt dies zu einer erhöhten Primärproduktion und damit zu einer erhöhten Produktion von organischem Material (Hutchings et al. 2009). Liegt eine Stratifizierung der Wassersäule vor, findet kein Sauerstoffaustausch zwischen dem Oberflächenwasser und dem Wasser unterhalb der Thermokline statt, abgestorbenes organisches Material rieselt in tiefere Wasserschichten (Bailey 1991). Hensen et al. (2000) beschreiben mit Blick auf das Benguela-Auftriebsgebiet, dass die Ablagerung bzw. Anreicherung von organischem Material hauptsächlich durch den vertikalen Transport von der Wasseroberfläche zum Sediment stattfindet. Es gibt Schätzungen, dass bis zu 50 % des durch die Primärproduktion gebildeten Materials durch den Vertikaltransport am Schelfboden abgelagert werden (Schulz & Zabel 2006). Nach einer Theorie von Bailey (1991) wird durch die teilweise Zersetzung dieses organischen Materials das Wasser unterhalb der Thermokline zusätzlich an Sauerstoff abgereichert. Wird mehr organisches Material abgelagert, als von dem im Auftriebswasser vorhandenen Sauerstoff oxidiert werden kann, führt dies zu einer Anreicherung von organischem Material (Mudbelt) auf dem Schelf (Bailey 1991).

4.2.1 Sauerstoffgehalt in Abhängigkeit von organischem Kohlenstoff im Sediment

Wie im Abschnitt zuvor beschrieben, wird von Bailey (1991) eine Abhängigkeit zwischen dem Sauerstoffgehalt des Bodenwassers und der Ablagerung von organischem Material im Benguela-Auftriebsgebiet postuliert (siehe Abbildung 4.2). In diesem Abschnitt soll diskutiert werden, ob dieser Zusammenhang ebenfalls in den 2011 genommenen Proben beobachtet werden kann.

Betrachtet man die Sauerstoffverteilung am Übergang von Sediment zur Wassersäule, so fällt auf, dass sich alle Sauerstoffminimumzonen dicht an der Küste und oberhalb einer Wassertiefe von 500 m befinden (siehe Abbildung 3.4). Die Verteilung von C_{org} im Sediment ist auf den ersten Blick nicht homogen verteilt (siehe Abbildung 3.5): Es gibt auffällig hohe Werte, die in Küstennähe liegen, allerdings gibt es ebenfalls C_{org} -Maxima, die küstenfern vorkommen.

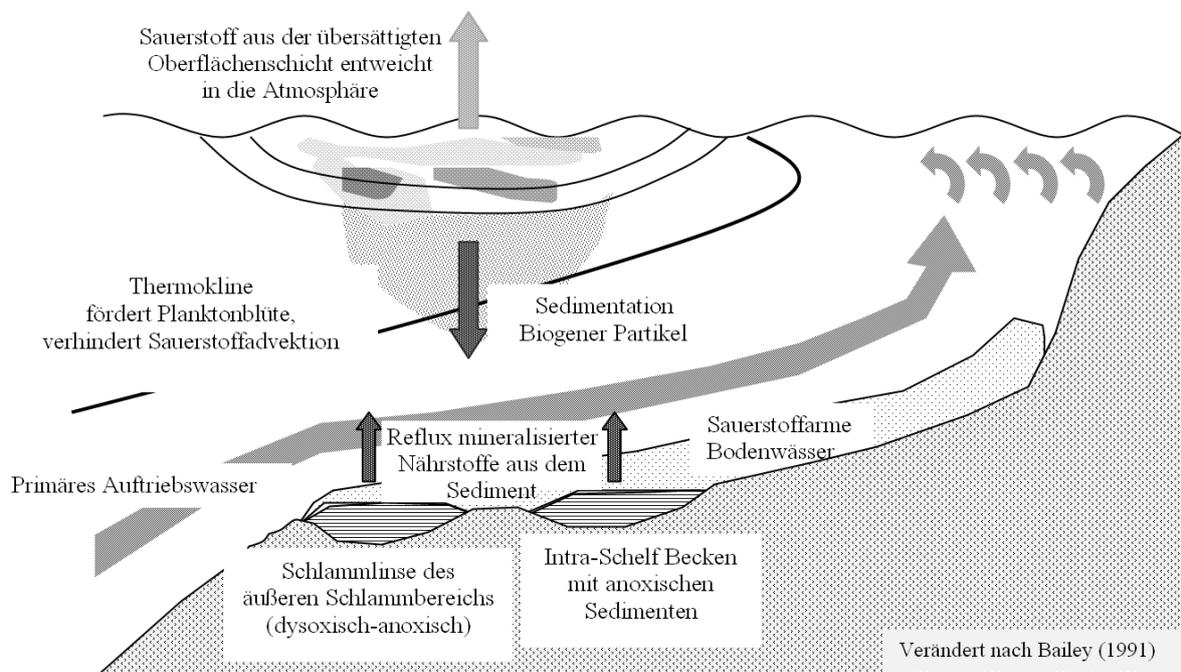


Abbildung 4.2: Die schematische Verteilung der Sauerstoffminimumzonen, nachdem das Auftriebswasser den Mudbelt passiert hat. Abbildung verändert nach Bailey (1991).

Bei den Anreicherungen von C_{org} , die küstennah und oberhalb einer Wassertiefe von 500 m vorkommen, handelt es sich nach Kaiser (2011) aller Wahrscheinlichkeit nach um so genannte Mudbelts. Dies sind Anreicherungen von C_{org} , die durch den am oberen Schelf vorherrschenden Lateraltransport entstehen (Inthorn et al. 2006). Hierbei wird organisches Material entlang des Schelfs parallel zur Küste abgelagert. Bei den Anreicherungen die unterhalb von 500 m Wassertiefe vorkommen, handelt es sich vermutlich um Depocenter. Diese Depocenter werden von dem organischen Material aus der Hochproduktionszone gespeist, das organische Material wird dann durch offshore gerichtete Strömungen den Meeresboden hinunter transportiert (Mollenhauer et al. 2007). Für die Position 26°S/13,55°E

in 750 m Wassertiefe wurde von Kaiser (2011) ein so genanntes Depocenter am oberen Kontinentalhang kartiert. Eine Abhängigkeit zwischen der Ablagerung von C_{org} und dem Sauerstoffgehalt am Schelfboden kann in den 2011 ausgewerteten Daten nicht festgestellt werden. Wie man in Abbildung 4.3 erkennt, kommen hohe Gehalte an C_{org} sowohl in sauerstoffarmen, als auch in sauerstoffreichen Gebieten vor. Dies kann unter Umständen an den zuvor erwähnten Strömungsmustern im Benguela-Gebiet liegen, da sowohl küstennah (Mudbelts), als auch küstenfern (Depocenter) vermehrt C_{org} abgelagert wird.

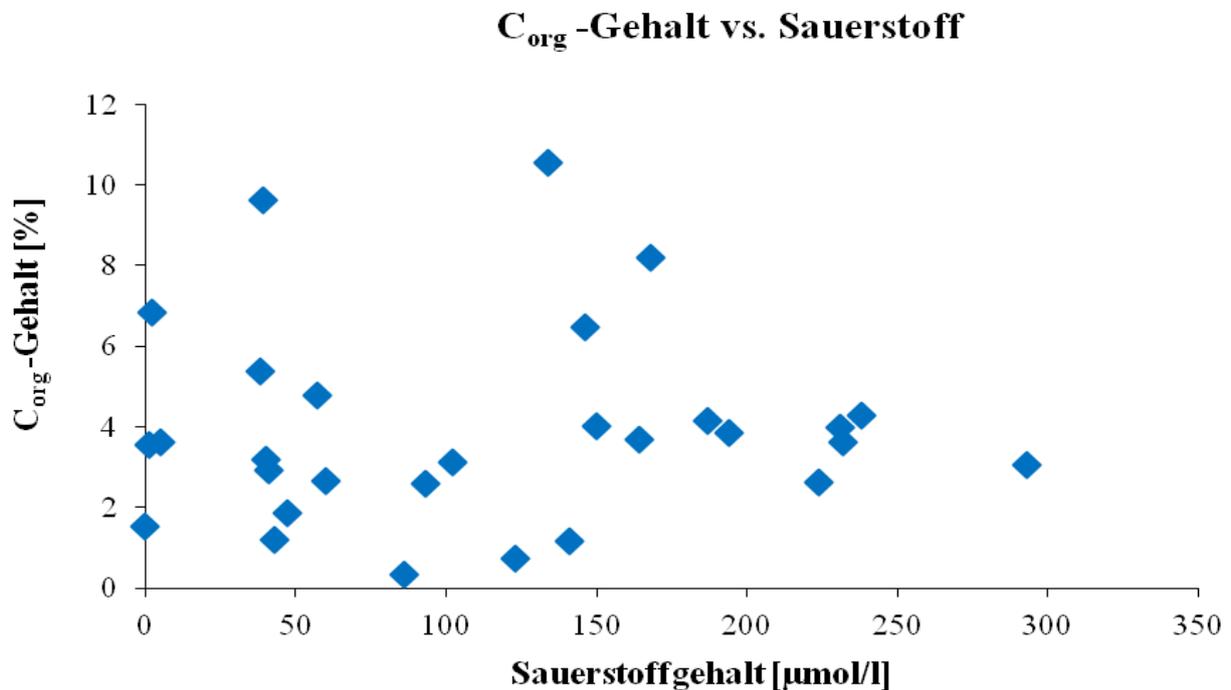


Abbildung 4.3: Die Sauerstoffverteilung [$\mu\text{mol/l}$] am Übergang zwischen Sediment und Wassersäule aufgetragen gegen den C_{org} -Gehalte [Gewichts-%] im Sediment. Ein Zusammenhang der Parameter kann nicht nachgewiesen werden.

Durch die zuvor gewonnenen Erkenntnisse ist davon auszugehen, dass es neben der Sauerstoffarmut noch andere Parameter geben muss, die die Ablagerung von organischem Material steuern. Von van der Plas et al. (2007) wurde postuliert, dass nicht die Sauerstoffarmut allein, sondern die hohe Primärproduktionsrate, die Schelftopographie sowie Strömungen entlang des Schelfs und des Ozeanbodens für die Ablagerung des organisch reichen Materials verantwortlich sind.

Aufgrund der Datengrundlage dieser Arbeit ist es wahrscheinlich, dass die Hypothese von Bailey (1991) hier nicht bestätigt werden kann, da die C_{org} -reichen Sedimente nicht von sauerstoffarmem Wasser beeinflusst werden. Es scheint so als wenn der Auftrieb und somit die Sauerstoffzufuhr zurzeit der Probenahme stark ausgeprägt ist und der Schelf in C_{org} -reichen Gebieten von dem sauerstoffreichen, aber nährstoffarmen ESACW beeinflusst wird. Wie zuvor erwähnt, führt die Ablagerung von organischem Material entlang des oberen Schelfs zu einer Verstärkung der Sauerstoffarmut, wenn das ohnehin sauerstoffarme Wasser über diesen Bereich den Schelf hinauf an die Oberfläche treibt (Bailey 1991). Da dieses

Phänomen in den 2011 genommenen Proben nicht beobachtet werden konnte, liegt die Vermutung nahe, dass die sauerstoffarmen Bedingungen zwar zum Teil durch die polwärts gerichtete Unterströmung des SACW verursacht wird (siehe Abbildung 4.1), aber vor allen Dingen auf die schlechte Durchmischung und die Stratifizierung der Wassersäule zurückzuführen sind. Die Hypothese des Auftriebs wird durch die Untersuchung der Sauerstoffgehalte entlang der drei, in Abschnitt 3.8 beschriebenen, Transekte gestärkt. So ist, wie in Abbildung 4.1 zu sehen ist, die Identifikation der Wassermassen entlang des 17,25°S Transekts anhand des Sauerstoffgehalts möglich. Auch entlang des 19°S Transekts sind die Unterschiede des Sauerstoffgehalts in der Wassersäule noch erkennbar, wenngleich der Gehalt in der zuvor als SACW beschriebenen Wassermasse schon zugenommen hat und es nur noch vereinzelt Bereiche innerhalb der vermeintlichen SACW Wassermasse gibt, in denen ein Sauerstoffgehalt von $<25 \mu\text{mol/l}$ gemessen wurde (siehe Abbildung 3.10). Schaut man sich nun den Gehalt an Sauerstoff entlang des 23°S Transekts an, ist eine Identifikation der Wassermassen anhand des Sauerstoffgehalts nicht mehr möglich (siehe Abbildung 3.12). Innerhalb des 23°S Transekts schwankt der Sauerstoffgehalt in der Tiefe zwischen 200 m und 500 m, in welcher in den beiden zuvor beschriebenen Transekte das SACW vermutet wurde, zwischen $75 \mu\text{mol/l}$ und $150 \mu\text{mol/l}$. Bei dieser Wassermasse handelt es sich aller Wahrscheinlichkeit nach um das auftriebende ESACW. Von Norden nach Süden, kann das SACW bis hin zum 19°S Transekt nachgewiesen werden, entlang des 23°S Transekts ist dies allerdings nicht mehr der Fall. In diesem Bereich wird der Meeresboden vermutlich von dem nährstoffärmeren, aber sauerstoffreicheren ESACW beeinflusst. Wie in Abbildung 3.4 zu sehen ist, kommen die C_{org} -reichen Mudbelts zwischen den Breitengraden 21°S und 24°S vor. Da der Schelf wie eben diskutiert in südliche Richtung zwischen dem 19°S und 23°S vermutlich nicht mehr von der sauerstoffarmen Unterströmung des SACW beeinflusst wird, ist es daher gut möglich, dass das SACW nicht den Schelf hinauf über die C_{org} -reichen Sedimente fließt und damit die Sauerstoffarmut im Bereich der Mudbelts bzw. südlich des 21°S Breitengrads nicht mehr entsteht, bzw. verstärkt wird. Diese Theorie würde erklären, warum in den 2011 untersuchten Proben kein Zusammenhang zwischen dem C_{org} -Gehalt und der Sauerstoffarmut hergestellt werden kann. Diese Theorie ist auch aufgrund der Tatsache plausibel, dass es sich bei dem C_{org} -Gehalt der Sedimente um ein Langzeitgleichgewicht der physikalischen Bedingungen (Strömungsintensität, Schelfmorphologie usw.) handelt. Wohingegen der Sauerstoffgehalt variabel ist und maßgeblich durch die Windenergie an der Meeresoberfläche bestimmt wird.

4.3 Abhängigkeit des NH_4^+ - und PO_4^{3-} -Flux von den Umgebungsbedingungen

Wie in verschiedenen Veröffentlichungen festgestellt wurde, ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass der Nährstofffluss im Untersuchungsgebiet von verschiedenen Umgebungsbedingungen gesteuert bzw. beeinflusst wird. So wurde von Emeis et al. (2000), Schulz und Schulz (2005), Schulz und Zabel (2006) sowie van der Plas et al. (2007) eine Abhängigkeit der Nährstofffreisetzung von dem Sauerstoffgehalt des umgebenden Wassers postuliert. Von Bailey (1991) wurde die Theorie aufgestellt, dass es eine Abhängigkeit des Nährstoffflusses aus dem Sediment in die Wassersäule und dem C_{org} -Gehalt des Sediments gibt. Von van der Plas et al. (2007) wurde postuliert, dass nicht nur die umgebenden Wasserbedingungen Einfluss auf das Flussverhalten der Nährstoffe haben können, sondern dass auch das Sediment als Einflussgröße ein wichtiger Parameter sei. Aufgrund dieser Überlegung wurde das Sediment nicht nur auf seinen Anteil an org. Kohlenstoff sondern ebenso auf die Korngröße hin untersucht. Es wird angenommen, dass die Korngröße, die einen erheblichen Einfluss auf die Porosität hat (Bodenkundliche Kartieranleitung 2005), mit der Nährstofffluxintensität in Verbindung stehen könnte. Aufgrund der zuvor genannten Feststellungen, bzw. Vermutungen wurde das Fluxverhalten der Nährstoffe NH_4^+ und PO_4^{3-} auf die folgenden Parameter untersucht: Die Abhängigkeit von dem Sauerstoffgehalt der Wassersäule, die Abhängigkeit von dem C_{org} -Gehalt sowie von der Korngröße des Sediments.

Wie die Untersuchungen der 2011 erhobenen Daten ergaben, kommt es im gesamten Untersuchungsgebiet mit wenigen Ausnahmen (8 Stationen: 234, 237, 238, 268, 271, 298, 311 positiver Flux von NH_4^+ , 242, 271, 298 positiver Flux von PO_4^{3-}) zu einer Freisetzung der Nährstoffe aus dem Sediment. Im Folgenden wurden die Nährstofffreisetzungen von NH_4^+ und PO_4^{3-} getrennt voneinander untersucht, um festzustellen, ob es für die beiden Nährstoffe unterschiedliche Beeinflussungsgrößen gibt.

Im Vorfeld dieser Untersuchung soll noch auf einige mögliche Verunreinigungen des Probenmaterials und Berechnungsbedingte Fehlerquellen hingewiesen werden. So ist es ist nicht auszuschließen, dass es bei Bergung und der nachträglichen Untersuchung der Sedimentkerne zu einer Verfälschung, bzw. Veränderung der untersuchten Parameter kommen. Einige dieser möglichen Fehlerquellen sollen an dieser Stelle genannt werden. Der Sauerstoffgehalt im Übergang zwischen Sediment und Wassersäule wurde erst nach dem Bergen des Sedimentkerns im Labor untersucht. Der Sedimentkern, je nach Tiefe des Kerns, wurde durch die Wassersäule mit unterschiedlichen Sauerstoffkonzentrationen und Temperaturen geborgen (Glud et al. 1994), daher ist nicht gewährleistet, dass es keinen Sauerstoffaustausch zwischen dem Sauerstoffgehalt im Sedimentkern und dem Sauerstoffgehalt der Wassersäule gegeben hat. Um zu untersuchen wie groß dieser möglichen Fehler ist, wurden die im Sediment gemessenen Sauerstoffkonzentrationen mit denen der untersten Messstation der Wassersäule abgeglichen. Wie in Abbildung 4.4 zu sehen ist, unterscheiden sich die Sauerstoffwerte nur minimal, der Gehalt an Sauerstoff ist am Übergang zwischen Sediment und Wassersäule fast identisch mit dem der tiefsten Station.

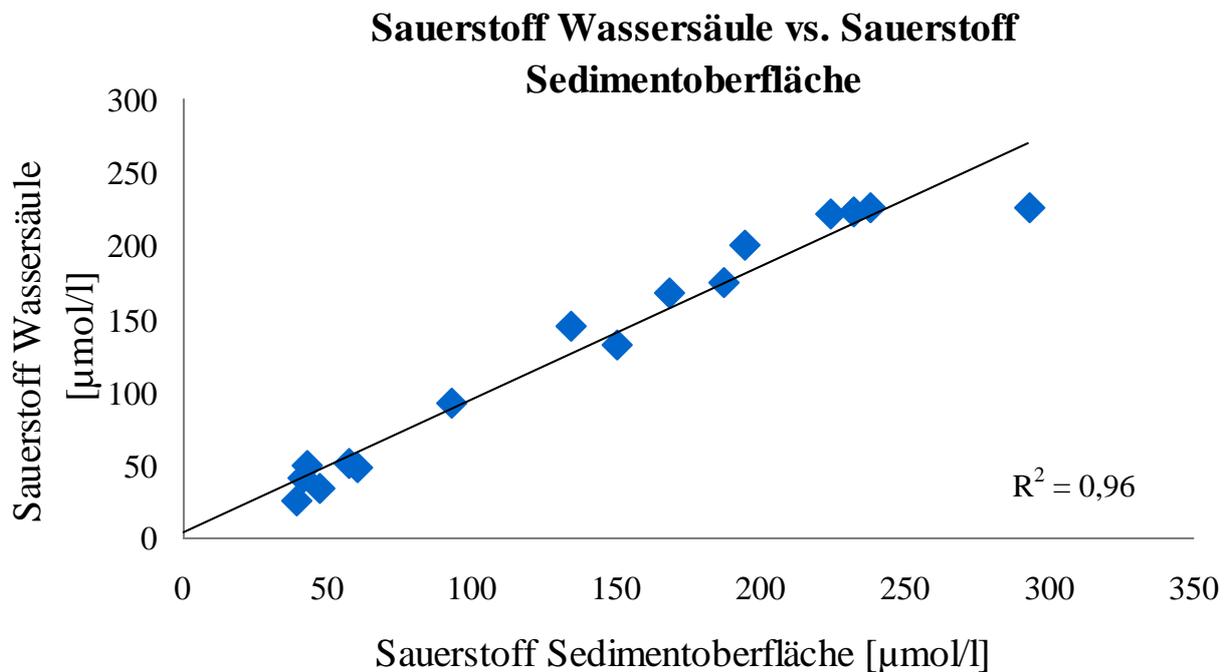


Abbildung 4.4: Die Sauerstoffwerte am Übergang zwischen Sediment und Wassersäule sowie die Sauerstoffgehalte innerhalb der Wassersäule. Der Sauerstoffgehalt innerhalb der Wassersäule wurde am tiefsten Messpunkt (ca. 8m) über der Sedimentoberfläche gemessen.

Der Fehler, der in der Sauerstoffkonzentration innerhalb des Sedimentkerns entstanden ist, ist daher als minimal anzusehen und zu vernachlässigen. Aufgrund dieser Beobachtung ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass auch die Nährstoffkonzentrationen innerhalb des Sedimentkerns den Transport an die Meeresoberfläche ohne größere Kontaminationen durch die Wassersäule überstanden haben. Durch das Bergen der Sedimentkerne, kann es laut Glud et al. (1994) durch die Druckentlastung (je nach Tiefe der geborgenen Probe) zu Veränderungen der Nährstoffkonzentrationen kommen. Glud et al. (1994) postulieren, dass es durch die Druckentlastung beim bergen der Probe Mikroorganismen zerstört werden können und somit Nährstoffe in das umgebende Wasser abgeben werden. Da auch von Schulz und Zabel (2006) beschrieben wird, dass Mikroorganismen vor allem im Bereich der Sedimentoberfläche vorkommen, ist es möglich, dass die Zerstörung dieser Mikroorganismen zu einem Anstieg der Konzentration innerhalb des Überstandswassers und der obersten cm innerhalb des Sedimentkerns führt. Es ist nicht bekannt, wie groß dieser mögliche Fehler ist und mit welchem Konzentrationsanstieg durch diesen Prozess gerechnet werden muss.

Auch muss beachtet werden, dass es sich bei den für diese Arbeit gemessenen Nährstoffkonzentrationen und Konzentrationsunterschieden um eine Momentaufnahme handelt und sich die Umgebung des beprobten Sediments, bzw. Wassers nicht im steady state befunden hat, die Methode zur Berechnung des Nährstoffflusses anhand der Konzentrationsunterschiede mit dem Programm PROFILE geht jedoch von einem steady state aus. Das Einfrieren der Wasserproben hat laut Schulz und Zabel (2006) keinen nachweisbaren Effekt auf die Konzentration der Nährstoffgehalte, aus diesem Grund kann das Einfrieren der Proben und die ca. einmonatige Lagerung der Proben bei $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ als Fehlerquelle vernachlässigt werden. Bei der Berechnung der Fluxintensitäten der Nährstoffe NH_4^+ und PO_4^{3-} handelt es sich wie bereits erwähnt um eine Momentaufnahme der Gegebenheiten und es

ist daher nicht gewährleistet, dass die Werte die hier in $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ angegeben sind, über 24 Stunden stabil sind. Diese Rechengröße wurde wie bereits erwähnt gewählt, um mit übersichtlicheren Werten arbeiten zu können.

4.4 NH_4^+ -Flux

4.4.1 NH_4^+ -Flux als Funktion der Bodenwassersauerstoffkonzentration

In diesem Abschnitt der Arbeit soll diskutiert werden, inwieweit die Freisetzung bzw. die Aufnahme von NH_4^+ des Sediments mit dem Sauerstoffgehalt im Bodenwasser in Verbindung steht. Da durch die Nitrifikation von Ammonium Nitrat entstehen kann, und Nitrat ein wichtiger wachstumslimitierender Nährstoff ist, gilt es zu verstehen, unter welchen Umweltbedingungen Ammonium in die Wassersäule entlassen wird.

Ammonium (NH_4^+) ist das direkte Produkt des Abbaus von stickstoffreichem organischem Material. Dies wird durch das Herabsinken im Sediment abgelagert und durch den Vorgang der Ammonifikation¹¹ aus dem Sediment entlassen. Die Umwandlung von Ammonium zu Nitrat erfolgt durch nitrifizierende Bakterien, wie z. B. *Thiobacillus* oder *Nitrobacter* (Schulz & Zabel 2006). Unter sauerstoffarmen Bedingungen wird der im Nitrat vorhandene Sauerstoff von nitratreduzierenden Organismen, z.B. *Thiobacillus denitrificans* zum Abbau von organischem Material genutzt (Dissimilation). Durch den Vorgang der Denitrifikation¹² wird Nitrat zuerst zu Nitrit und dann zu atmosphärischem Stickstoff reduziert und geht dem System Ozean als N_2 -Gas verloren. Eine Reduzierung kann auch durch die Anammox-Reaktion¹³ erfolgen, bei der Nitrit zusammen mit NH_4^+ zu N_2 reagiert (Kuypers et al.2005). Die Anammox-Reaktion wurde 1995 nachgewiesen, es konnte jedoch bislang kein Bakterienstamm für diese Reaktion isoliert werden (Schulz & Zabel 2006). Sowohl die Denitrifikation von NO_2^- zu N_2 als auch die Anammox-Reaktion hängen von der Menge an Nitrit ab und somit von der Sauerstoffkonzentration des Wassers. Wie in Abbildung 4.5 dargestellt wird, hängt der Flux von NH_4^+ aus dem Sediment in die Wassersäule mit der Sauerstoffkonzentration zusammen. Die Maximalwerte des NH_4^+ -Flux ($>400 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) liegen alle in Gebieten mit einer Sauerstoffkonzentration von $<86 \mu\text{mol/l}$. Für den höchsten Fluxwert ($-2895 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$) und einige anderen Werte stehen jedoch keine Sauerstoffdaten zur Verfügung (siehe Tabelle 3.1b).

¹¹ Formel für Ammonifikation: $\text{Norg} \rightarrow \text{NH}_4^+$ (Schulz & Zabel 2006)

¹² Formel für Denitrifikation: $5 (\text{CH}_2\text{O}) + 4\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ \rightarrow 5 \text{CO}_2 + 7\text{H}_2\text{O} + 2\text{N}_2$ (Schulz & Zabel 2006)

¹³ Formel für Anammox: $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- \rightarrow \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ (Schulz & Zabel 2006)

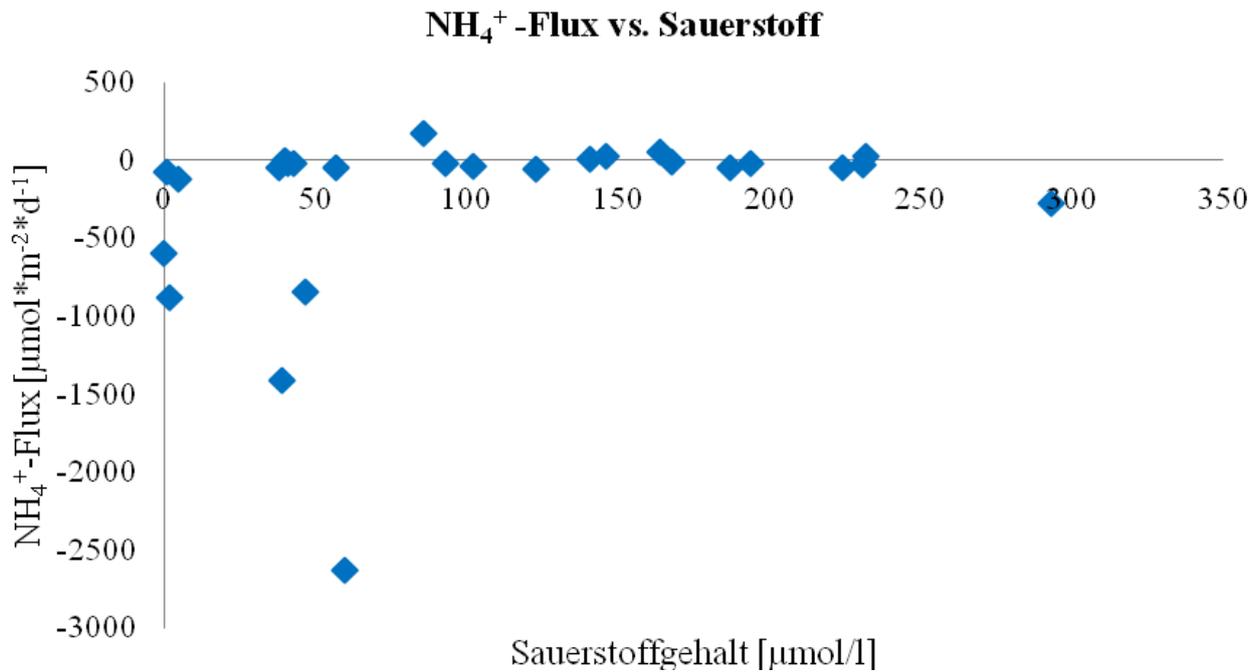


Abbildung 4.5: Die NH₄⁺-Fluxintensität in Abhängigkeit von der Sauerstoffsättigung. Erhöhte Fluxintensitäten von >400 μmol*m⁻²*d⁻¹ kommen nur in sauerstoffarmen Gebieten vor. Die NH₄⁺-Fluxwerte, für die kein Sauerstoffwert zur Verfügung steht, wurden in dieser Graphik nicht berücksichtigt.

Eine Aufnahme von NH₄⁺ durch das Sediment konnte nur an 7 Stationen festgestellt werden, der höchste Wert von 170,81 μmol*m⁻²*d⁻¹, liegt ebenfalls bei einer Sauerstoffsättigung von <86μmol/l. Die sechs weiteren Punkte liegen bei einer höheren Sauerstoffsättigung (siehe Abbildung 4.5). Untersucht man den Zusammenhang zwischen Sauerstoffkonzentration und NH₄⁺-Flux genauer, so wird deutlich, dass die NH₄⁺-Flux-Höchstwerte unter sauerstoffarmen bis anoxischen Bedingungen vorkommen, dass jedoch auch Minimalwerte des NH₄⁺-Flux, sowie eine Aufnahme von NH₄⁺ durch das Sediment in sauerstoffarmen Bedingungen gemessen wurden (siehe Abbildung 4.5). So kann die NH₄⁺-Freisetzung mit dem Sauerstoffgehalt im Untersuchungsgebiet in Verbindung gebracht werden, die Intensität der Freisetzung lässt sich über die Sauerstoffsättigung jedoch nicht erklären. Für die Aufnahme von NH₄⁺ kann eine Abhängigkeit von der Sauerstoffsättigung am Übergang zwischen Sediment und Wassersäule nicht bestätigt werden. Dieses mag auch an den wenigen gemessenen Daten liegen, die eine NH₄⁺-Aufnahme aufweisen. Somit wird deutlich, dass es neben der Sauerstoffkonzentration noch andere Randbedingungen geben muss, die den NH₄⁺-Flux in diesem Gebiet steuern. Insgesamt ist festzuhalten, dass die Freisetzung von NH₄⁺ aus dem Sediment in die Wassersäule weit öfter beobachtet wird als ein Fluss aus der Wassersäule in das Sediment (siehe Tabelle 3.1b).

4.4.2 NH_4^+ -Flux als Funktion der C_{org} -Verteilung im Sediment

Da in Abschnitt 4.4 beschrieben worden ist, dass Ammonium das direkte Produkt aus dem Abbau organischen Materials ist, soll in diesem Abschnitt diskutiert werden, ob es einen Zusammenhang zwischen der Ablagerung bzw. Akkumulation von organischem Material und der NH_4^+ -Fluxintensität gibt.

Der organische Kohlenstoffanteil erscheint im Kontext dieser Arbeit interessant, da der organische Kohlenstoffanteil im Sediment ebenfalls Auskunft über den Gehalt an Stickstoff und Phosphat liefert. Es ist davon auszugehen, dass das am Schelfboden abgelagerte organische Material eine Nährstoffzusammensetzung von ca. 106C:16N:1P aufweist (Redfield et al. 1963). Daraus folgt, dass ein Anstieg des abgelagerten C_{org} -Anteils mit einem Anstieg des Stickstoffs im Sediment korrespondiert. Da die NH_4^+ -Freisetzung das direkte Produkt des Abbaus von organischem, stickstoffreichem Material ist (Schulz & Zabel 2006), muss die Frage nach dem Stickstoffgehalt des Sediments gestellt werden. Trägt man die hier gemessenen Werte von C_{org} -Gehalt und NH_4^+ -Flux gegeneinander auf, wird deutlich, dass zwischen dem NH_4^+ -Flux und dem C_{org} -Gehalt (bzw. Stickstoff -Gehalt) keine Abhängigkeit besteht (siehe Abbildung 4.6).

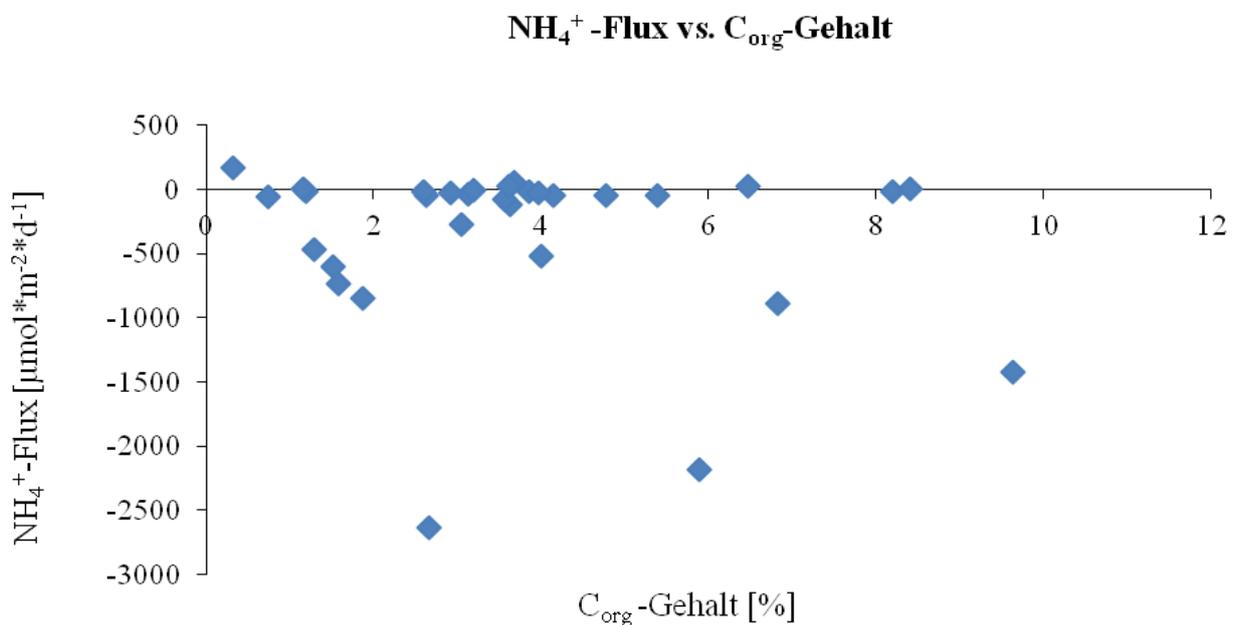


Abbildung 4.6: Der C_{org} -Gehalt aufgetragen gegen den NH_4^+ -Flux. Eine Abhängigkeit der Parameter kann nicht festgestellt werden.

Da der NH_4^+ -Flux jedoch zuvor als direkte Folge des Abbaus von organischem Material beschrieben wurde (Schulz & Zabel 2006), erscheint dieses Ergebnis überraschend. Nach Hensen et al. (2000) ist nicht allein das Vorhandensein des organischen Materials, sondern auch die Qualität dieses Materials, saisonale Flussmuster sowie unterschiedliche Abbauvorgänge für die Intensität des NH_4^+ -Flux verantwortlich. Da für die vorliegende Arbeit die spezifischen saisonalen Flussmuster nicht untersucht wurden, kann mit den hier erhobenen Daten keine für alle Bereiche zutreffende Abhängigkeit festgestellt, eine solche aber auch

nicht widerlegt werden. Betrachtet man diese Feststellung mit der in Abschnitt 4.2.1 getroffenen Aussage, dass sich aufgrund des Zeitraumes der Probenahme keine Abhängigkeit zwischen dem C_{org} -Gehalt und der Sauerstoffsättigung feststellen lässt, so klingt die fehlende Abhängigkeit zwischen dem NH_4^+ -Flux und dem C_{org} -Gehalt plausibel. Denn wie zuvor beschrieben wurde, kommt es zu einem tendenziell verstärkten Flux von NH_4^+ aus dem Sediment in die Wassersäule wenn die umgebende Sauerstoffsättigung unter $86 \mu\text{mol/l}$ fällt. Da dieses an C_{org} angereicherte Material nicht von der Sauerstoffarmut betroffen ist, kommt es vermutlich auch nicht zu einer verstärkten Freisetzung von NH_4^+ in C_{org} -reichen Bereichen

Des Weiteren folgt im Abschnitt 4.6 eine flächendeckende Untersuchung des C_{org} -Gehalts. Um einen besseren Überblick über die Daten zu bekommen und die C_{org} -Daten aus mehreren Ausfahrten in das Untersuchungsgebiet mit der Fluxintensität von 2011 vergleichen zu können, wird erneut auf die Ratenberechnung der Fluxintensität in Abhängigkeit von dem C_{org} -Gehalt eingegangen.

4.4.3 NH_4^+ -Flux als Funktion der Korngröße

Als weiterer Parameter für die Steuerung der Intensität des NH_4^+ -Flux soll in diesem Abschnitt die Korngröße behandelt werden. Um eine einheitlich Größe der einzelnen Sedimentzusammensetzung der Stationen zu bekommen, wurde die mittlere Korngröße (Median) bestimmt. Diese Überlegung beruht auf der Berechnung der Fluxintensität (siehe Abschnitt 3). In die Berechnung der Flussintensität geht ebenfalls die Porosität des Sediments mit ein (Schulz & Zabel 2006). Da die Porosität maßgeblich von der Korngröße und der Sortierung des Sediments abhängt und dafür verantwortlich ist, wie gut das Porenwasser im Sediment zirkulieren kann, wäre es nicht überraschend, wenn auch die mittlere Korngröße Einfluss auf die Fluxintensität hat. Vergleicht man die 2011 ausgewerteten NH_4^+ -Fluxdaten mit den Medianwerten der Korngrößen, die mit dem Programm Gradistat bestimmt wurden, kann keine eindeutige Abhängigkeit festgestellt werden (siehe Abbildung 4.7). Es scheint jedoch so, als würden die Messstationen, die eine NH_4^+ -Fluxintensität von $>400 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ aufweisen, eher in Bereichen mit einer mittleren Korngröße von $<200 \mu\text{m}$ liegen. Bei dieser Aussage ist jedoch zu beachten, dass auch die meisten Fluxintensitäten von $<400 \mu\text{mol}$ in diesem Bereich auftreten. Dies liegt vermutlich daran, dass im Untersuchungsgebiet die Verteilung des Medians nicht homogen, sondern die mittlere Korngröße von $<200 \mu\text{m}$ klar dominant ist (siehe Abschnitt 3.7). Somit verwundert es nicht, dass die meisten Fluxwerte in diesem Bereich gemessen worden sind. In Folge dessen kann gemäß der für diese Arbeit erhobenen Daten ein Zusammenhang zwischen der NH_4^+ -Fluxintensität und der Korngröße nicht festgestellt werden. Für diese Untersuchung wären ein kleinmaschigeres Probenetz und eine höher auflösende Korngrößenuntersuchung von Vorteil. Um die Untersuchung des Fluxverhaltens im Bezug auf die Korngröße, bzw. im Bezug auf den Sandgehalt zu forcieren, soll in Abschnitt 4.6 auf die Ratenberechnung der Nährstofffluxintensität im Bezug auf den Sandgehalt des Sediments eingegangen werden.

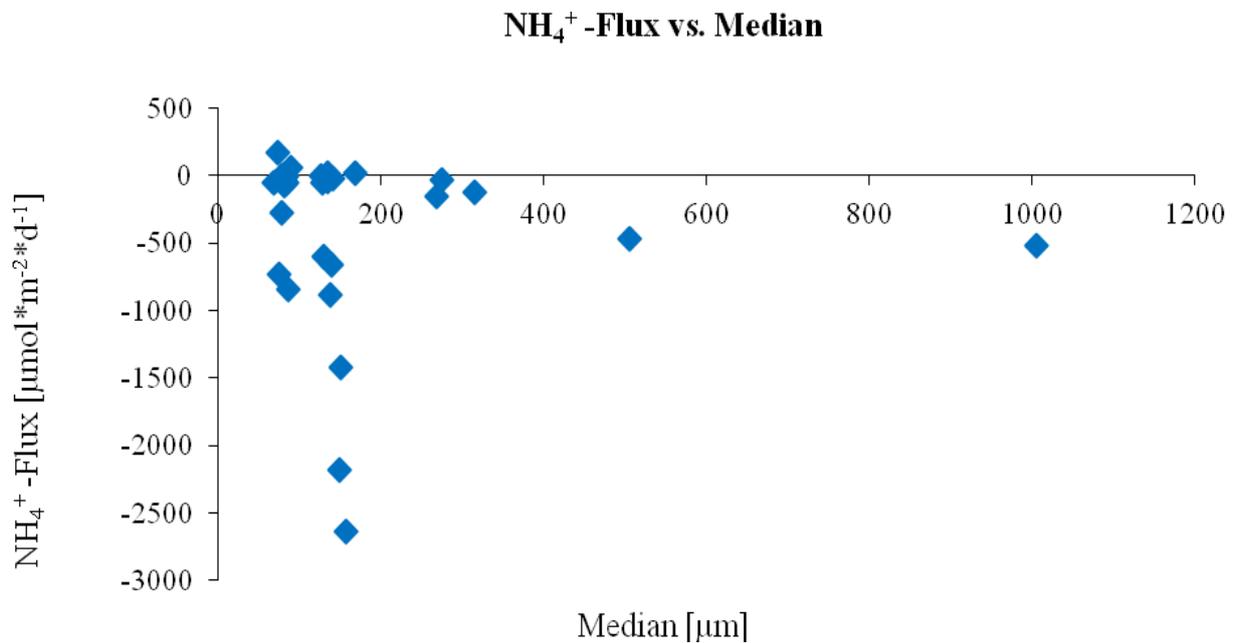


Abbildung 4.7: Der NH₄⁺-Flux aufgetragen gegen die mittlere Korngröße (Median). Auffällig ist, dass die mittlere Korngröße <200 µm im Untersuchungsgebiet am häufigsten auftritt.

4.5 PO₄³⁻-Flux

4.5.1 PO₄³⁻-Flux als Funktion der Bodenwassersauerstoffkonzentration

Phosphor ist ein wichtiger wachstumslimitierender Nährstoff und kommt in Meerwasser fast ausschließlich in der gelösten Form PO₄³⁻ (Ortho-Phosphat) vor (Goldhammer et al. 2011). Phosphat kann anders als Stickstoff nicht aus der Atmosphäre fixiert werden. Die Mengen im Ozean sind daher endlich (Schulz & Zabel 2006). Der größte Eintrag von P in organischer oder anorganischer Form in die Ozeane erfolgt über den Zufluss aus Flüssen (Benitez-Nelson 2000). Durch die Sedimentation von diesem phosphorreichen organischen Material und phosphathaltigen Mineralen am Meeresboden sind marine Sedimente die größte Senke und gleichzeitig das größte Depot für Phosphor auf der Erde (Froelich et al. 1982; Goldhammer et al. 2011). Auf Grund des erhöhten terrestrischen Eintrags und des nährstoffreichen Auftriebswassers entlang der Schelfauftriebsgebiete sowie der daraus folgenden erhöhten Primärproduktionsrate sind 99 % des partikulären und 25 % des gelösten P in Schelfgebieten existent (Paytan & McLaughlin 2007).

Da in dieser Arbeit die Freisetzung und Akkumulation von Phosphat durch das Sediment untersucht werden soll, wird im Folgenden auf die Mechanismen, die die Fixierung bzw. Freisetzung von PO₄³⁻ im Sediment steuern, eingegangen. Die Freisetzung von Phosphat aus dem Sediment kann durch verschiedene Prozesse erfolgen: Die größte Phosphatquelle stellt die Remineralisierung von organischem Material dar (Bernier 1990). Hierbei ist zu beachten, dass nicht nur die Remineralisierungsrate, sondern auch der Gehalt an P in der Biomasse für die Menge an freigesetztem PO₄³⁻ verantwortlich ist (Schulz & Schulz 2005).

Eine weitere Quelle für PO_4^{3-} ist die Aktivität von Polyphosphat akkumulierenden Bakterien (Schulz & Schulz 2005). Diese nutzen unter anoxischen Bedingungen den im Hydroxy-Apatit¹⁴ gebundenen Polyphosphat zur Energiegewinnung, um Polyhydroxyalkanoate (PHA) aufnehmen zu können, bei diesem Vorgang wird PO_4^{3-} freigesetzt. Unter oxischen Bedingungen oxidieren diese Schwefelbakterien (z.B. *Thiomargarita Namibiensis*) das PHA, um selbst Polyphosphat aufbauen zu können (Schulz & Zabel 2006). So stellen diese Bakterien unter anoxischen Bedingungen eine Quelle für Phosphat dar, unter oxischen Bedingungen jedoch eine Senke. Es wurde ebenfalls postuliert, dass der Wechsel zwischen oxischen und anoxischen Bedingungen (wie im Fall des Benguela-Auftriebsgebiets) optimale Lebensbedingungen für die Schwefelbakterie *Thiomargarita namibiensis* bietet (Schulz & Schulz 2005).

Die Eisenreduzierung stellt unter anoxischen Bedingungen eine weitere PO_4^{3-} -Quelle dar. Anorganisches Phosphat ist oft in Eisenhydroxyden gebunden. Werden diese unter anoxischen Bedingungen reduziert, wird das gebundene Phosphat in Form von PO_4^{3-} freigesetzt (Paytan & McLaughlin 2007). Wenn das Gebiet wieder mit mehr Sauerstoff versorgt wird, kann Phosphat dem System durch die erneute Bildung von Eisenhydroxyden wieder entzogen werden.

Schaut man sich die zuvor genannten Mechanismen zur Freisetzung bzw. Fixierung von Phosphat an, so wird deutlich, dass die Sauerstoffkonzentration des umgebenden Wassers eine entscheidende Rolle für das Flussverhalten spielt. So wird unter anoxischen Bedingungen PO_4^{3-} durch die biologische Produktivität sowie die Reduzierung von Eisenhydroxyd freigesetzt und unter sauerstoffreichen Bedingungen wieder fixiert. Eine Arbeit von Emeis et al. (2000) bestätigt diese Theorie der Sauerstoffsteuerung. In dieser wurde für die Ostsee ein erhöhter Phosphat-Flux aus dem Sediment in die Wassersäule während anoxischer Events festgestellt, der bei erneutem Sauerstoffeintrag in das untersuchte Gebiet wieder verebbte. Wie in Abschnitt 4.2 beschrieben, kommen im oberen Schelfbereich des Benguela-Auftriebsgebiets ebenfalls Sauerstoffminimumzonen vor. Daher liegt die Vermutung nahe, dass sich auch hier der Phosphatfluss aus dem Sediment in die Wassersäule mit dem Sauerstoffgehalt in Verbindung bringen lässt. Vergleicht man diese Annahmen mit den 2011 gemessenen PO_4^{3-} -Fluxraten und den Sauerstoffwerten des Schelfbodens, so wird deutlich, dass dieser Zusammenhang auch im Untersuchungsgebiet nachgewiesen werden kann. Die erhöhten PO_4^{3-} -Fluxwerte treten immer in den Gebieten mit einem Sauerstoffgehalt von $<86 \mu\text{mol/l}$ auf (siehe Abbildung 4.8).

¹⁴ Hydroxy-Apatit: $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$

PO₄³⁻-Flux vs. Sauerstoff

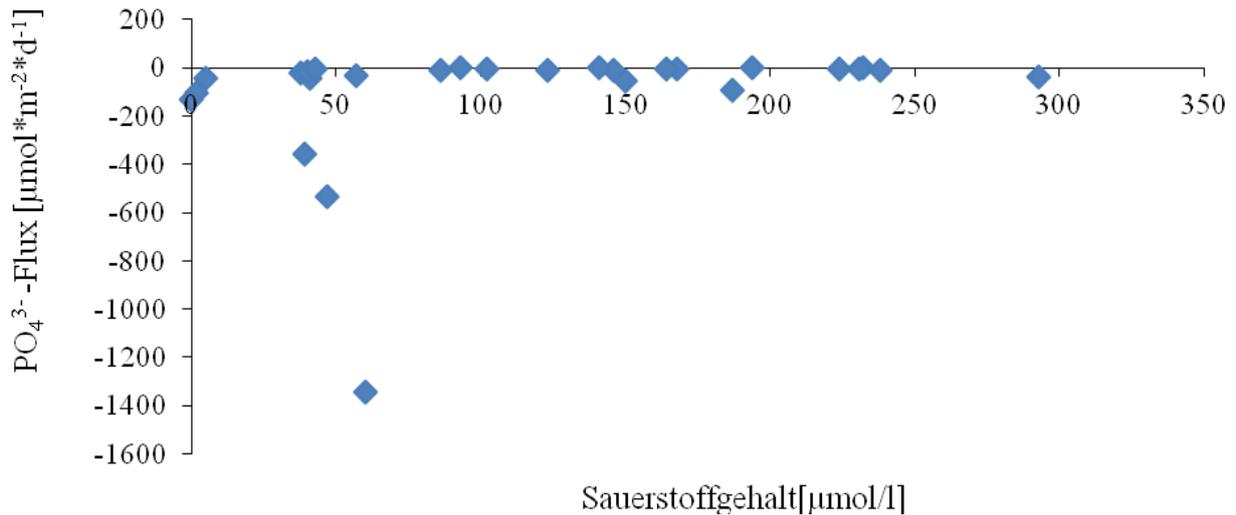


Abbildung 4.8: Der PO₄³⁻-Flux in Abhängigkeit von der Sauerstoffsättigung des Überstandswassers.

Betrachtet man die Abhängigkeit zwischen Sauerstoffminimumzone und Phosphat-Flux genauer, so fällt auch bei dieser Abhängigkeit auf, dass sie wie schon zuvor bei der Freisetzung von Ammonium nichts über die Quantität der Freisetzung aussagt. Wie in Abbildung 4.8 zu sehen ist, gibt es einen tendenziellen Anstieg der negativen Fluxintensität ab einem Sauerstoffgehalt von unter 89 µmol/l. Jedoch kommen ebenfalls niedrige negative Fluxwerte in diesen Sauerstoffminimumzonen vor. Demnach ist die Sauerstoffversorgung des Schelfboden ein wichtiger Parameter in der Steuerung des PO₄³⁻-Flux, jedoch müssen noch andere Parameter gefunden werden, um die Freisetzung von Phosphat in die Wassersäule vollständig zu erklären. Positiver Flux aus der Wassersäule in das Sediment findet anders als bei der Aufnahme von NH₄⁺ nur in sauerstoffreichen Gebieten statt. Allerdings stehen nur für zwei der drei positiven Flüsse auch die dazugehörigen Sauerstoffdaten zur Verfügung. Anhand von nur zwei Messpunkten kann in diesem Fall keine Aussage dazu gemacht werden, in wie weit der positive Flux von dem umgebenden Sauerstoff beeinflusst wird.

4.5.2 PO_4^{3-} -Flux als Funktion der C_{org} -Verteilung im Sediment

Nach der Theorie von Redfield et al. (1963) wird unter anoxischen Bedingungen das abgelagerte organische Material im gleichen Verhältnis von C:N:P (ca. 106:16:1) wieder abgebaut und in die Wassersäule entlassen. Nach dieser Theorie müssten Gebiete mit einem hohen Gehalt an C_{org} im Sediment gleichzeitig einen erhöhten Gehalt an Phosphat anzeigen. Da laut Schulz und Schulz (2005) nicht nur die Remineralisierungsrate sondern ebenfalls der Gehalt an P in der Biomasse ausschlaggebend für die Fluxintensität ist, soll in diesem Abschnitt der Gehalt an C_{org} im Sediment mit der Fluxintensität in Verbindung gebracht werden. Betrachtet man hierfür die Werte, die für diese Arbeit ausgewertet wurden, so ergibt sich folgendes Bild:

Wie schon bei der Untersuchung des NH_4^+ -Fluxverhaltens lässt sich eine Abhängigkeit zwischen C_{org} -Gehalt und Phosphat-Flux nicht erkennen. Erhöhte PO_4^{3-} -Fluxwerte kommen unabhängig von den C_{org} -Gehalten des Sediments vor (siehe Abbildung 4.9).

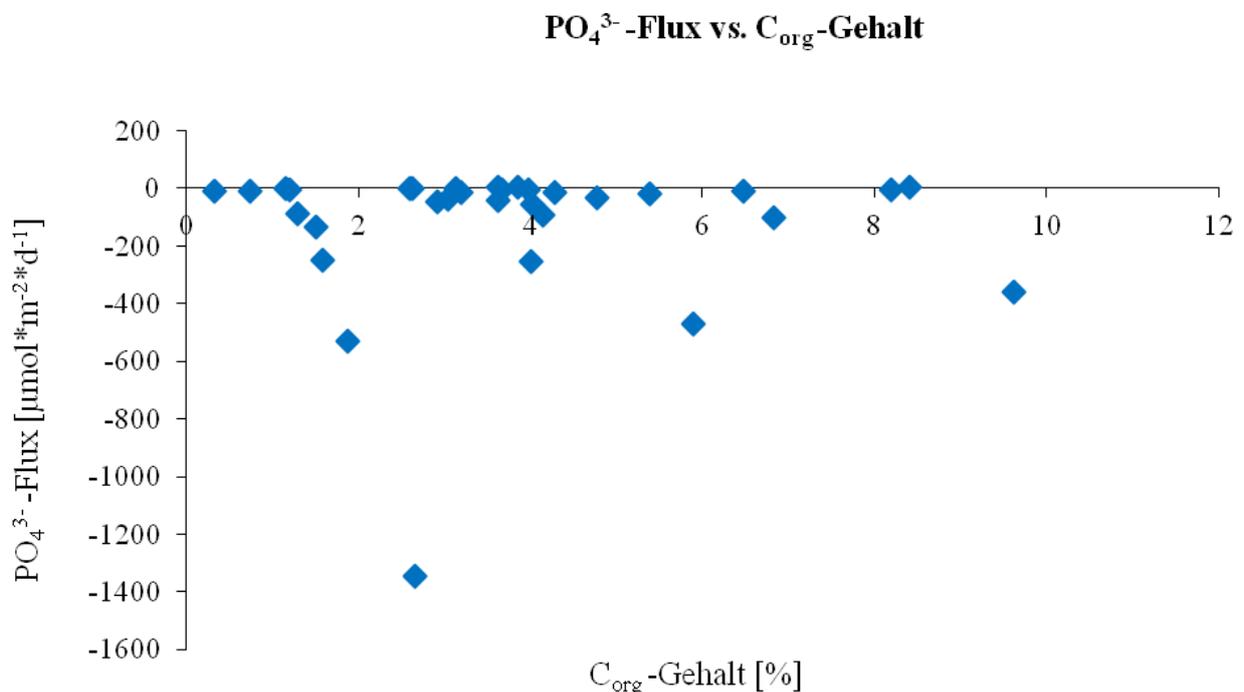


Abbildung 4.9: Die PO_4^{3-} -Fluxintensität aufgetragen gegen den C_{org} -Gehalt des Sediments.

Betrachtet man den Sachverhalt hingegen mit den in Abschnitt 4.2.1. gewonnenen Erkenntnissen, dass es keinen Zusammenhang zwischen C_{org} -Verteilung und Sauerstoffarmut gibt, und die Freisetzung von PO_4^{3-} aus dem Sediment in die Wassersäule vom umgebenden Sauerstoffgehalt abhängt, klingt diese Aussage plausibel. Es soll jedoch darauf aufmerksam gemacht werden, dass der Fluss von PO_4^{3-} aus dem Sediment in die Wassersäule von mehreren Mechanismen gesteuert werden kann. So können für die erhöhte Flux-Intensität ebenfalls die Polyphosphat Reduzierung zu PHA durch Schwefelbakterien sowie die Entlassung aus Eisenhydroxyden verantwortlich sein (Schulz & Schulz 2005; Schulz & Zabel 2006). Ebenfalls kann die Lösung von Hydroxy-Apatit einen großen Einfluss auf die PO_4^{3-} -Gehalte

des Porenwassers haben (Baturin & Dubinchuk 2003). Für die vorliegende Arbeit wurde das Sediment jedoch weder auf Eisenhydroxyde noch auf das Vorkommen von Apatit untersucht. Deswegen wird auf diese Zusammenhänge nur hingewiesen und nicht näher darauf eingegangen. Der Parameter der zu der Freisetzung von PO_4^{3-} führt ist aller Wahrscheinlichkeit nach die Sauerstoffsättigung des umgebenden Wassers (Bailey 1991). Wie bei dem zuvor diskutierten NH_4^+ -Flux scheint der Anteil an organischem Material im Sediment keinen mit den für diese Arbeit erhobenen Daten nachweisbaren Einfluss auf die Flux-Intensität zu haben. Um für die Berechnung der Abhängigkeit zwischen PO_4^{3-} Flux und dem C_{org} -Gehalt, die C_{org} -Daten aus mehreren Forschungsfahrten (Birch 1975; Rogers 1977; Bremner 1981; Inthorn et al. 2006; Emeis 2001) auszuwerten, wird in Abschnitt 4.6 auf die Ratenberechnung des PO_4^{3-} -Flux unter der Berücksichtigung des C_{org} -Gehalts detailliert eingegangen.

4.5.3 PO_4^{3-} -Flux als Funktion der Korngröße

Ein weiterer für die Fluxintensität und -quantität relevanter Parameter könnte die Korngröße bzw. der Median der Korngröße des untersuchten Sediments sein. Dieser wird aus diesem Grund in diesem Abschnitt untersucht.

Wie in Kapitel 2.1 beschrieben, wird bei der Berechnung des diffusiven Flusses zwischen Sediment und Wassersäule auch die Porosität des Sediments berücksichtigt. Um diese Größe beim Fluxverhalten sowie bei der Fluxintensität genauer zu betrachten, wurden die Fluxraten mit der vorgefundenen Korngröße verglichen. Wie in Abbildung 4.10 gezeigt wird, lässt sich auch bei diesen beiden Parametern nicht von einer Abhängigkeit sprechen.

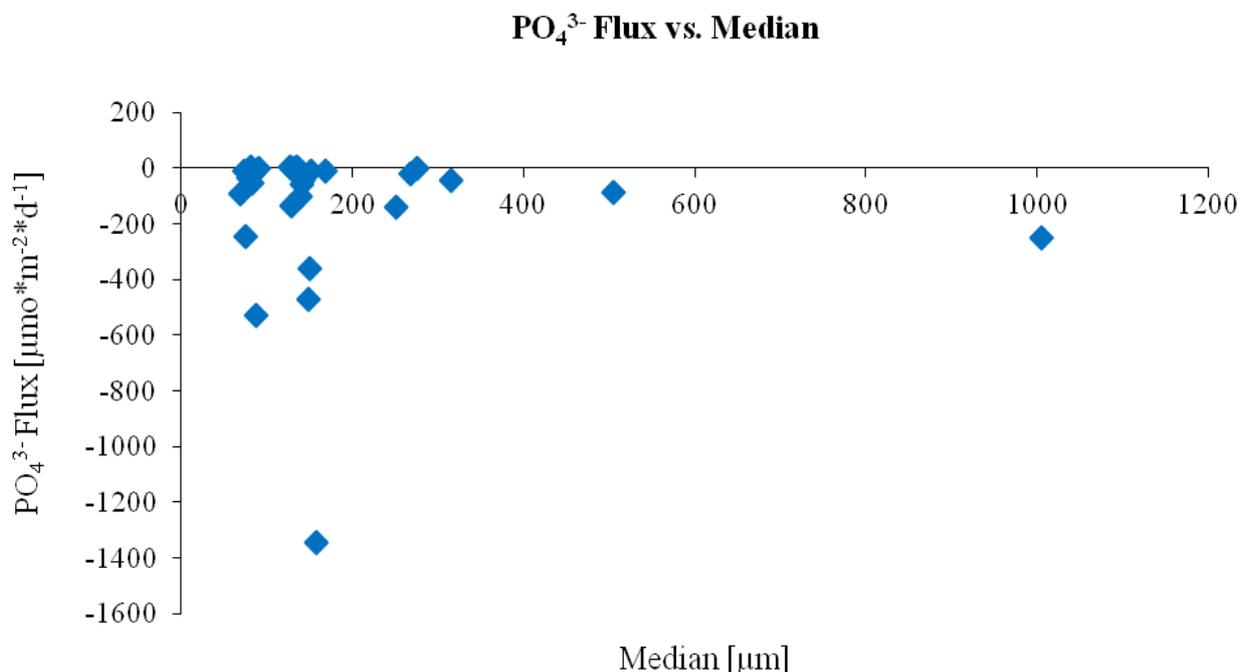


Abbildung 4.10: Die Korngröße bzw. der mittleren Korngröße (Median) aufgetragen gegen die PO_4^{3-} -Fluxintensität.

So kommen hohe und niedrige Fluxwerte vor allem im Bereich der mittleren Korngröße bis ca. 200 µm vor. Dies ist jedoch vermutlich dem Umstand geschuldet, dass im gesamten Untersuchungsgebiet die mittlere Korngröße <200 µm am häufigsten vorkommt (siehe Abbildung 3.6). Somit kann eine Abhängigkeit des PO₄³⁻-Fluxverhaltens von der Korngröße für die vorliegende Arbeit nicht nachgewiesen werden. Wie schon zuvor erwähnt ist der für diese Arbeit gewählte Untersuchungsaufbau für eine derartige Untersuchung nicht optimal. Um eine genauere Aussage treffen zu können, müsste ein engmaschigeres Probennetz im Bereich der <200 µm Korngröße gelegt werden. Um die Abhängigkeit der PO₄³⁻-Fluxintensität jedoch noch einmal unter dem Aspekt des Sandgehalts des Sediments zu betrachten, wird in Abschnitt 4.6 auf die Ratenberechnung des Nährstoffflusses unter Berücksichtigung des spezifischen Sandgehalts eingegangen.

4.6 Ratenabschätzung von NH₄⁺- und PO₄³⁻Flux anhand des Sandgehalts

Wie schon in den Abschnitten 4.4.3 und 4.5.3 erwähnt, soll in diesem Kapitel das spezifische Fluxverhalten der Nährstoffe PO₄³⁻ und NH₄⁺ aus dem Sediment in die Wassersäule unter der Berücksichtigung unterschiedlicher Sandgehalte behandelt werden. Um diese Untersuchung zu beginnen wurde zunächst die Sedimentkarte der Geological Survey Windhoek, Namibia (1986) mit Hilfe des Programms ArgGIS georeferenziert. Die Karte zeigt die Ergebnisse der Kartierung des Sandgehalts (Anteil der Korngrößen 2 mm - 63 µm in Gewichtsprozent) vor der Namibischen und Südafrikanischen Küste. Durchgeführt wurde diese Kartierung von der Geological Survey South Africa im Jahre 1986. Der kartierte Sandanteil wurde in 5 Kategorien aufgeteilt, so wird unterschieden zwischen 0 % - 9,9 %, 10 % - 24,9 %, 25 % - 49,9 %, 50 % - 74,9 % sowie 75 % - 100 % Sandgehalt (siehe Abbildung 4.11). Durch das Einfügen der beprobten Stationen konnte anhand der oben erwähnten Karte der Sandgehalt der jeweiligen Stationen bestimmt werden und somit das Fluxverhalten der Nährstoffe bei definierten Sandgehalten im Sediment (siehe Tabelle 4.2) ermittelt werden.

Tabelle 4.2: Die Fläche [m²] der unterschiedlichen Sandgehalte vor der Namibischen Küste. Aus dieser Fläche und den spezifischen Fluxwerten wurde der Flux von NH₄⁺ und PO₄³⁻ für die unterschiedlichen Sandgehalt ermittelt.

Sand [%]	Sand Area [m ²]	Ø Sandgehalt Flux PO ₄ ³⁻ [mol*d ⁻¹]	Ø Sandgehalt Flux NH ₄ ⁺ [mol*d ⁻¹]	STAW Sandgehalt Flux PO ₄ ³⁻ [mol*d ⁻¹]	STAW Sandgehalt Flux NH ₄ ⁺ [mol*d ⁻¹]	Ø Flux N / P [mol*d ⁻¹]
0-9,9	64300					
10-24,9	358300	-12159	-28442	15029	47871	2
25-49,9	427900	-39124	-144780	76561	308418	4
50-74,9	457600	-14504	-52516	12569	113953	4
75-100	624600	-157835	-449847	232568	538450	3

Um das spezifische Fluxverhalten unter der Berücksichtigung des Sandgehalts zu berechnen, wurde der zuvor ermittelte Flux von NH₄⁺ und PO₄³⁻ [µmol*m⁻²*a⁻¹] mit den dazugehörigen Flächen mal genommen. Somit ergibt sich für die jeweiligen Sandgehalte ein spezifischer Fluxwert von µmol*d⁻¹. Aus den so ermittelten Daten wurde anschließend der

durchschnittliche Fluxwert der einzelnen Sandgehalte (\bar{x}) sowie die Standardabweichung (STAW) des Flux bestimmt (siehe Tabelle 4.2). Betrachtet man die so gewonnenen Ergebnisse, ergibt sich folgendes Bild:

Für einen Sandgehalt von $<10\%$ kann keine Aussage getroffen werden, da sich in diesem spezifischen Sandgehalt keine Probenpunkte befinden (siehe Abbildung 4.11). Für die vier übrigen Kategorien wurde festgestellt, dass der Flux von PO_4^{3-} und NH_4^+ aus dem Sediment in die Wassersäule am höchsten ist, wenn der Sandgehalt bei $>75\%$ liegt. So wurde bei einem Sandgehalt von $>75\%$ ein NH_4^+ -Flux von $-449847 \mu\text{mol}\cdot\text{a}^{-1}$ gemessen und eine PO_4^{3-} -Flux von $-157835 \mu\text{mol}\cdot\text{a}^{-1}$. Der geringste Flux der beiden Nährstoffe wurde bei einem Sandgehalt von $10\% - 24,9\%$ gemessen. Auch bei den übrigen Sandgehalten, verhält sich die Fluxintensität aus dem Sediment in die Wassersäule bei beiden Nährstoffen ähnlich. So wurde die zweithöchste Intensität bei einem Sandgehalt von $25\% - 49,9\%$ gemessen, die zweitniedrigste bei einem Sandanteil von $50\% - 75\%$. Aufgrund dieser Ergebnisse wird deutlich, dass die Fluxintensität nicht systematisch zunimmt, je höher der Sandgehalt des Sediments wird. So kommt zwar der höchste und der niedrigste Wert bei den höchsten, bzw. niedrigsten Sandgehalten vor, jedoch sind die beiden mittleren Werte in ihrer Reihenfolge vertauscht (siehe Tabelle 4.2).

Wie in Abbildung 4.11 zu sehen ist, kommen Sandgehalte von $>75\%$ vor allem dicht an der Küste vor, was vermutlich mit den erhöhten Strömungsenergien in diesem Bereich zu erklären ist (Inthorn et al. 2006). Dicht an der Küste wurden ebenfalls geringe Sauerstoffwerte gemessen (siehe Abschnitt 3.4), daher kann dieser Zusammenhang zwischen einem Sandgehalt von $>75\%$ und den erhöhten Fluxwerten der Nährstoffe NH_4^+ und PO_4^{3-} auch eine Begleiterscheinung der Abhängigkeit zwischen Sauerstoffgehalt und der Nährstofffluxintensität sein. Ebenfalls zu beachten ist bei dieser Berechnung der spezifischen Fluxraten, dass es bei allen berechneten Raten zu einer erheblichen Standardabweichung kommt. Die einzelnen Sandgehalte weisen keinen annähernd identischen Nährstoffflux aus dem Sediment in die Wassersäule auf, sondern die Fluxintensitäten innerhalb der einzelnen Sandgehalte schwanken stark. Diese Beobachtung stützt die schon in den Abschnitten zuvor aufgestellte Theorie, dass nicht ein einzelner Parameter für die NH_4^+ - und PO_4^{3-} -Fluxintensität verantwortlich ist, sondern dass die Fluxintensität von einem Zusammenspiel unterschiedlicher Parameter abhängt. Aufgrund dieser großen Variabilität des Nährstoffflux innerhalb der einzelnen Sandgehalte, ist es auch schwierig die vorliegenden Daten als eine Vorlage zur Ratenabschätzung zu betrachten. Um eine solche Abschätzung aufzustellen müssten die anderen Randbedingungen, die zu einer Fluxveränderung führen bekannt sein.

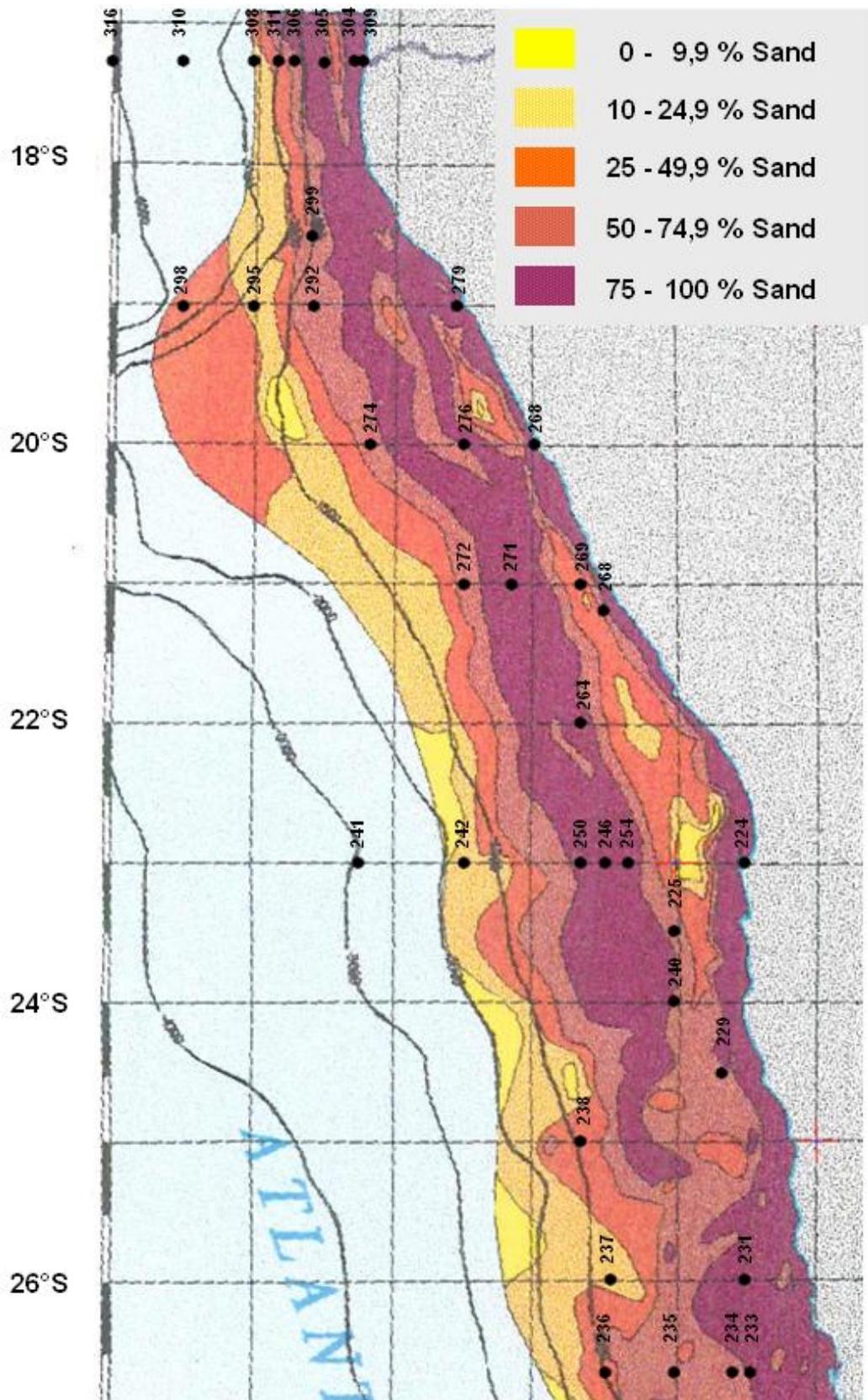


Abbildung 4.11: Die Sandverteilung vor der Küste Namibias. Die Sandgehalte wurden in die Kategorien 0 % - 9,9 %, 10 % - 24,9 %, 25 % - 49,9 %, 50 % - 74,9 % und 75 % - 100 % aufgeteilt. Zusätzlich wurden die Probenstationen der Nährstoffluxmessung in die Karte eingetragen. Abbildung verändert nach Geological Survey Windhoek, Namibia (1986).

Da in Abschnitt 4.4.1 und 4.5.1 eine Abhängigkeit zwischen Sauerstoffgehalt und der Fluxintensität aus dem Sediment in die Wassersäule festgestellt worden ist, soll im folgenden die Stoffflussrate von NH_4^+ und PO_4^{3-} aus dem Sediment unter der Berücksichtigung des Sandgehalts des Sediments sowie der Sauerstoffsättigung des Bodenwassers betrachtet werden. Hierzu wurden zu der spezifischen Ratenberechnung der Stoffflussintensitäten nur die Daten berücksichtigt, die nach der Definition von Bailey (1991) in einem sauerstoffarmen bis anoxischen Bereich vorkommen.

Schaut man sich die so gefilterten Daten an, wird deutlich, dass die für diese Arbeit erhobenen Daten nicht ausreichen, um eine Ratenabschätzung für alle spezifischen Sandgehalte aufzustellen. Wie Tabelle 4.6.2 zeigt, kann in den sauerstoffuntersättigten Gebieten nur eine Ratenabschätzung für die Sandgehalte von 50 % - 74,9 % sowie >75 % aufgestellt werden. Wie bei der Berechnung zuvor kommt man zu dem Ergebnis, dass die Fluxintensität der Nährstoffe NH_4^+ und PO_4^{3-} bei einem Sandgehalt von >75 % am höchsten ist. Mit einem durchschnittlichen PO_4^{3-} -Flux von $-269528 \mu\text{mol}\cdot\text{a}^{-1}$ und einem durchschnittlichen NH_4^+ -Flux von $-536586 \mu\text{mol}\cdot\text{a}^{-1}$ liegt dieser deutlich über den Fluxwerten bei einem Sandgehalt von 50-75 %. Doch auch bei dieser Herangehensweise ist die Variabilität innerhalb der einzelnen Sandgehaltsklasse erheblich (siehe STAW in Tabelle 4.3) und eine Ratenabschätzung anhand des Sandgehalts des Sediments nicht empfehlenswert. Bei dieser Berechnung ist zu beachten, dass keine Informationen darüber vorliegen, mit welchen Methoden das Sediment beprobt wurde und welche Analysemethoden von der Geological Survey Windhoek, Namibia (1986) angewandt wurden.

Tabelle 4.3: Die durchschnittlichen (\emptyset) Fluxintensitäten und die Standardabweichungen (STAW) der Nährstoffe PO_4^{3-} und NH_4^+ bei sauerstoffarmem Bodenwasser.

Sand [%]	Sandgehalt Area [m ²]	\emptyset Sandgehalt Flux PO_4^{3-} [mol*d ⁻¹]	\emptyset Sandgehalt Flux NH_4^+ [mol*d ⁻¹]	STAW Sandgehalt Flux PO_4^{3-} [mol*d ⁻¹]	STAW Sandgehalt Flux NH_4^+ [mol*d ⁻¹]	\emptyset Flux N / P
50-74,9	457600	-9456	-12480	7826	9089	1
75-100	624600	-269528	-536586	341231	585511	2

4.6.1 Ratenabschätzung von NH_4^+ - und PO_4^{3-} -Flux anhand des C_{org} -Gehalts

Wie in den Kapiteln zuvor angekündigt, soll an dieser Stelle das spezifische Fluxverhalten von unterschiedlichen C_{org} -Gehalten im Sediment behandelt werden. Um diese Untersuchung zu beginnen, wurden zunächst mit dem Programm ODV die C_{org} -Daten aus mehreren Sedimentuntersuchungen im Untersuchungsgebiet (u.a. Birch 1975; Rogers 1977; Bremner 1981; Emeis 2001; Inthorn et al. 2006) ausgewertet und graphisch dargestellt (siehe Abbildung 4.12). Für diese Darstellung stehen insgesamt 2624 Probenpunkte zu Verfügung, daher ist diese Karte genauer und aussagekräftiger als die Karte der Probenauswertung von 2011 (siehe Abbildung 3.5).

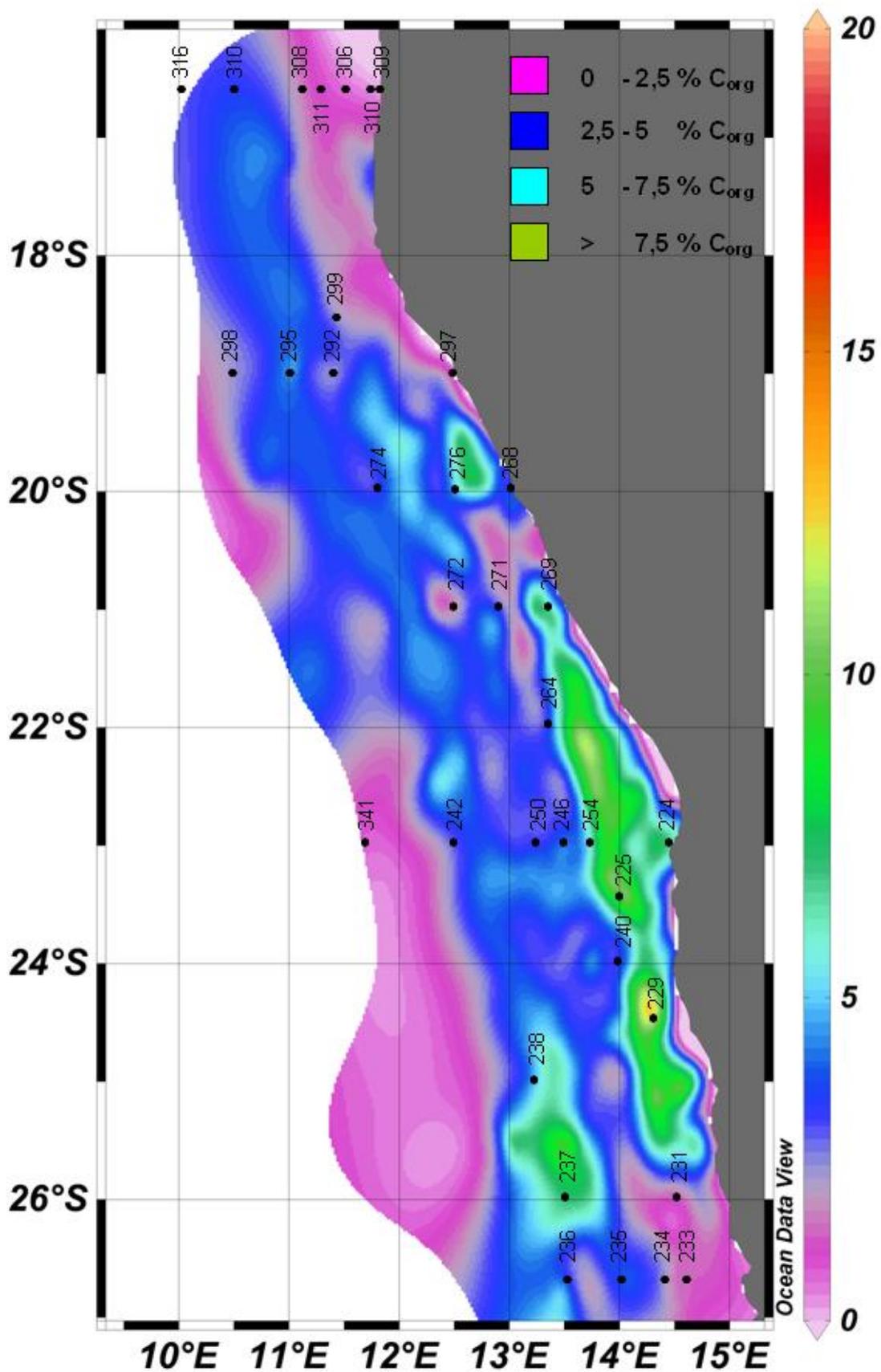


Abbildung 4.12: Die mit ODV erstellte C_{org} -Verteilungskarte wurde mit dem Programm ArgGis georeferenziert und die Stationen der Probennahme eingefügt. Durch die Georeferenzierung konnte die Fläche der einzelnen C_{org} -Gehalte errechnet werden.

Die beiden Mudbelts entlang des oberen Schelfs, sowie das Depocenter entlang des unteren Schelfs (siehe Abbildung 3.5) lassen sich auch auf der neu erstellten Karte wiederfinden. Diese so entstandene C_{org} -Verteilungskarte wurde anschließend mit dem Programm ArcGis georeferenziert und die einzelnen Flächen der C_{org} -Verteilung ausgerechnet (siehe Abbildung 4.12). Der kartierte C_{org} -Gehalt der Sedimente wurde in 4 Kategorien aufgeteilt, 0 % - 2,5 %, 2,5 % - 5 %, 5 % - 7,5 % und >7,5 %. Um die Untersuchung abzuschließen, wurden die jeweilige Fläche der unterschiedlichen C_{org} -Gehalte ermittelt. Es ergibt sich für den C_{org} -Gehalt von 0 % - 2,5 % eine Fläche von 2084 km², für den C_{org} -Gehalt von 2,5 % - 5 % eine Fläche von 1380 km², für den C_{org} -Gehalt von 5 % - 7,5 % eine Fläche von 170 km² und für einen C_{org} -Gehalt von >7,5 % eine Fläche von 266 km². Durch das Einfügen der 2011 beprobten Stationen in die mit ArcGis georeferenzierte Karte konnte der C_{org} -Gehalt der jeweiligen Stationen bestimmt werden und somit das Fluxverhalten des spezifischen C_{org} -Gehalts im Sediment (siehe Tabelle 4.4).

Tabelle 4.4: Die Fläche [m²] der einzelnen C_{org} -Gehalte vor der Namibischen Küste. Aus dieser Fläche und den spezifischen Fluxwerten wurde der Flux von NH_4^+ und PO_4^{3-} für die unterschiedlichen Feinkornanteile ermittelt.

C_{org} [%]	C_{org} Gehalt Area [m ²]	$\bar{\emptyset}$ C_{org} Gehalt Flux PO_4^{3-} [mol*d ⁻¹]	$\bar{\emptyset}$ C_{org} Gehalt Flux NH_4^+ [mol*d ⁻¹]	STAW C_{org} Gehalt Flux PO_4^{3-} [mol*d ⁻¹]	STAW C_{org} Gehalt Flux NH_4^+ [mol*d ⁻¹]	$\bar{\emptyset}$ Flux N / P
0-2,5	2084100	-204519	-451149	358348	730371	2,21
2,5-5	1380400	-240215	-168054	541937	1306629	0,70
5-7,5	170900	-2828	2161	4110	35123	-0,76
>7,5	266600	-3129	-168054	36410	134035	53,69

Um die Rate des spezifischen Flux zu berechnen wurde der zuvor ermittelte Flux von NH_4^+ und PO_4^{3-} [$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$] mit der dazugehörige Fläche multipliziert. Daraus ergibt sich für die jeweiligen C_{org} -Anteile ein spezifischer Fluxwert von $\mu\text{mol}\cdot\text{d}^{-1}$ (siehe Tabelle 4.4). Betrachtet man die so gewonnenen Ergebnisse, ergibt sich folgendes Bild:

Bei einem C_{org} -Gehalt von 0 % - 2,5 % ist der NH_4^+ -Flux mit $-451149 \mu\text{mol}\cdot\text{a}^{-1}$ am intensivsten. Dahingegen ist bei einem C_{org} -Gehalt von 5 % - 7,5 % ein positiver Flux von $2161 \mu\text{mol}\cdot\text{a}^{-1}$ gemessen worden. Bei der Berechnung dieser Rate ist auch die erhebliche Varianz innerhalb der einzelnen C_{org} -Klassen zu beachten. Die Standardabweichung der durchschnittlichen Raten ist wie in Tabelle 4.4 zu sehen sehr hoch. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Bereiche, bei denen ein ähnlicher C_{org} -Gehalt in dem obersten cm des Sediments kartiert wurde, keine Ähnlichkeiten in der Ammonium- und Phosphatfluxintensität aufweisen.

Die Auswertung dieser Daten sagt nicht aus, dass ein hoher C_{org} -Gehalt mit einer erhöhten NH_4^+ -Fluxrate einhergeht, und ein niedriger C_{org} -Gehalt nicht mit einer niedrigen NH_4^+ -Fluxrate zusammenzuhängen scheint. Daher kann in dieser Arbeit kein Zusammenhang zwischen C_{org} -Gehalt und NH_4^+ -Fluxintensität nachgewiesen werden, wie er zuvor von Bailey

(1991) und van der Plas (2007) postuliert wurde. Die Fluxwerte von PO_4^{3-} sind bei einem C_{org} -Gehalt von 2,5 % - 5 % am intensivsten, und bei einem C_{org} -Gehalt von 5 % - 7,5 % am geringsten. Auch bei der Auswertung des Phosphatflux kann keine Steuerung durch den C_{org} -Gehalt verzeichnet werden. Nach der aktuellen Datenlage kann ein Zusammenhang zwischen dem C_{org} -Gehalt und der Fluxrate von NH_4^+ und PO_4^{3-} im Untersuchungsgebiet nicht bestätigt werden. Da die Daten nicht miteinander in Abhängigkeit zu stehen scheinen, ist es auch nicht möglich eine Ratenabschätzung anhand dieser Daten durchzuführen. Hierbei ist zu beachten, dass zuvor schon diskutiert worden ist, warum es in den 2011 untersuchten Daten vermutlich keinen Zusammenhang zwischen dem C_{org} -Gehalt und dem Nährstoffflux von PO_4^{3-} und NH_4^+ gibt. Eine Ratenabschätzung wäre nach dieser Datengrundlage nur möglich, wenn der C_{org} -Gehalt direkt an den Gehalt von Sauerstoff in dem umgebenden Wasser gekoppelt wäre. Um dieser Theorie nachzugehen, wurde im Folgenden auf die Ratenberechnung der Nährstoffflüsse anhand des C_{org} -Gehalts unter der Berücksichtigung des Sauerstoffgehalts eingegangen. Um den Sauerstoffgehalt des Bodenwassers in der Berechnung zu berücksichtigen, wurden nur die Daten herangezogen, die an Stationen geborgen wurden, an denen das Bodenwasser nach Bailey (1991) als sauerstoffarm bis anoxisch definiert wurde. Wie Tabelle 4.5 zeigt, können mit den für diese Arbeit erhobenen Daten nur die Raten der C_{org} -Gehalte zwischen 0 % - 7,5 % berechnet werden. Für die NH_4^+ -Stoffflüsse wurden aufgrund der wenigen Daten die Raten für den C_{org} -Gehalt von 0 % - 5 % berechnet.

Tabelle 4.5: Die durchschnittlichen Ratenberechnungen der Nährstoffflüsse von PO_4^{3-} und NH_4^+ unter der Berücksichtigung der C_{org} -Gehalte. Für die Berechnung wurden nur Daten verwendet, die im sauerstoffarmen bis anoxischen Bereich geborgen wurden.

C_{org} [%]	C_{org} Gehalt [m ²]	Ø C_{org} Gehalt Flux PO_4^{3-} [mol*d ⁻¹]	Ø C_{org} Gehalt Flux NH_4^+ [mol*d ⁻¹]	STAW C_{org} Gehalt Flux PO_4^{3-} [mol*d ⁻¹]	STAW C_{org} Gehalt Flux NH_4^+ [mol*d ⁻¹]	Ø Flux N / P
0-2,5	2084100	-264190	-531045	424356	769271	2
2,5-5	1380400	-675704	-1256926	1025644	1676619	2
5-7,5	170900	-4495		4110		

Bei einem C_{org} -Gehalt von 2,5 % - 5 % ist sowohl der PO_4^{3-} -Flux wie auch der NH_4^+ -Flux am intensivsten. Der Wert für den PO_4^{3-} -Flux liegt bei $-675704 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, der Wert des NH_4^+ -Flux liegt bei $-1256926 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$. Der niedrigste Wert des PO_4^{3-} -Flux wurde bei einem C_{org} -Gehalt von 5 % - 7,5 % ermittelt. Wie bereits bei der Ratenberechnung ohne Berücksichtigung des Sauerstoffgehalts ist auch bei dieser Berechnung die Varianz innerhalb der C_{org} -Klassen erheblich und eine allgemeine Ratenabschätzung daher nicht empfehlenswert. Diese Untersuchung macht erneut deutlich, dass es neben dem Sauerstoffgehalt noch weitere Parameter geben muss, die die Stoffflussintensität der Nährstoffe NH_4^+ und PO_4^{3-} steuern.

4.7 Freisetzung von NH_4^+ und PO_4^{3-} als Erklärung für verändertes Redfield-Verhältnis

In einer unveröffentlichten Arbeit von Nagel (2011) wird beschrieben, dass das auftreibende Wasser grundsätzlich ein N:P-Verhältnis von 16:1 aufweist (Redfield-Verhältnis C:N:P 106:16:1). Sobald es den Meeresboden passiert und die Meeresoberfläche erreicht hat (Nagel 2011), kann ein viel geringeres N:P-Verhältnis von ca. 8:1 festgestellt werden. Um diese Werte mit den 2011 genommenen Werten des auftreibenden Wassers abzugleichen, wurde untersucht, wie sich das N:P-Verhältnis entlang der Transekte 17,25°S, 19°S und 23°S darstellt.

Entlang des 19°S und 23°S hat das auftreibende Wasser (zwischen 500 m und 200 m Wassertiefe) ein N:P-Verhältnis von ca. 12:1. Sobald dieses jedoch über den Schelf an die Meeresoberfläche getrieben ist, weist es ein Verhältnis von ca. 7:1 auf (siehe Abschnitt 3.8). Für den Transekt entlang 17,25°S trifft diese Aussage nicht zu: Hier stellt sich das N:P-Verhältnis des küstennahen Wassers höher dar als das tieferer Wasserschichten (siehe Abschnitt 3.8). Der Grund hierfür könnte sein, dass an diesem Punkt der Kunene River in den Atlantik mündet und das Oberflächenwasser mit Nährstoffen versorgt.

Für das gesamte Untersuchungsgebiet lassen sich allerdings nur selten N:P-Verhältnisse von 16:1 (Redfield Verhältnis) feststellen, die durchschnittlichen Werte schwanken zwischen 12:1 und 6:1 (siehe Tabelle 3.2). Auf diese deutliche Abweichung von den Redfield-Verhältnissen weisen mit Blick auf das Benguela-Gebiet auch Kuypers et al. (2005) hin. Die von den Autoren vorgebrachte Erklärung dieses Phänomens ist ein N-Verlust durch die Anammox-Reaktion, die durch die Denitrifikation von NO_3^+ zu NO_2^- in sauerstoffarmem Wasser begünstigt wird (Kuypers et al. 2005). Wie im Abschnitt 4.3 beschrieben, lassen sich die Gebiete mit der höchsten Ammonifikation in sauerstoffarmen Bereichen lokalisieren.

4.7.1 Freisetzung von NH_4^+ als Erklärung für verändertes Redfield-Verhältnis

Um eine mögliche Interaktion zwischen der Freisetzung von NH_4^+ aus dem Sediment und der Wassersäule zu identifizieren, wurde die Wassersäule ebenfalls auf NH_4^+ untersucht. Die Werte für NH_4^+ liegen im gesamten Bereich der Wassersäule zwischen 0,27 $\mu\text{mol/l}$ und 3 $\mu\text{mol/l}$ (siehe Tabelle 3.2). Die NH_4^+ -Fluxwerte schwanken im Untersuchungsgebiet zwischen -2636 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ und 170 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ (siehe Tabelle 3.1b). Da der Wert für den NH_4^+ Flux in $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ angegeben wird und daher keine Aussage über die Konzentration im Überstandswasser liefert, wurden für diesen Vergleich die NH_4^+ Werte des Überstandswassers herangezogen. Diese werden ebenfalls in der Konzentration $\mu\text{mol/l}$ angegeben. Die Werte des Überstandswassers korrelieren größtenteils mit den NH_4^+ -Fluxwerten. So kommen hohe Konzentrationen des Überstandswasser vornehmlich an den Stationen vor, die auch einen erhöhten Flux aus dem Sediment in die Wassersäule aufweisen (siehe Tabelle 3.1b).

Betrachtet man den NH_4^+ -Wert des Überstandswassers und den NH_4^+ -Wert der tiefsten Messstation der Wassersäule (i.d.R. 8 m über dem Meeresboden), wird deutlich, dass das Ammonium in der Wassersäule nicht stabil ist (siehe Abbildung 4.13). So unterscheiden sich die Werte die in im Überstandswasser gemessen wurden hinsichtlich ihrer Konzentration deutlich von der in der Wassersäule (Wert im Überstandswasser ist ca. 10 mal höher als der in der Wassersäule) Es ist davon auszugehen, dass das Ammonium entweder durch die Nitrifikation oder durch die Anammoxreaktion der Wassersäule entzogen wird. Wie in Abschnitt 4.4 beschrieben, ist vor allem der Sauerstoffgehalt für den Flux aus dem Sediment in die Wassersäule verantwortlich. Dazu kommt, dass das NH_4^+ unter sauerstoffarmen Bedingungen nicht stabil ist, sondern von denitrifizierenden Bakterien abgebaut wird (van der Plas et al. 2007). Zu bestätigen scheint diese Theorie, dass der totale Stickstoffgehalt im Untersuchungsgebiet mit abnehmendem Sauerstoffgehalt ansteigt. Ein solcher Anstieg ist entweder mit einem erhöhten Flux von Ammonium, Nitrat oder Nitrit aus dem Sediment oder durch anthropogene bzw. terrestrische Einträge zu erklären. Da im Untersuchungsgebiet eine Intensivierung des NH_4^+ -Flux mit abnehmendem Sauerstoffgehalt gemessen wurde und gleichzeitig eine Anstieg im NO_3^- -Gehalt, liegt die Vermutung nahe, dass die N_{total} -Zunahme zum Teil mit der Sediment-Wasser-Interaktion und der Entlassung von NH_4^+ zu erklären ist. So könnte eine Erklärung für den NO_3^- -Anstieg die Entlassung von NH_4^+ aus dem Sediment sein, welches unmittelbar zu NO_3^- nitrifiziert wird.

NH_4^+ Wassersäule vs. NH_4^+ Überstandswasser

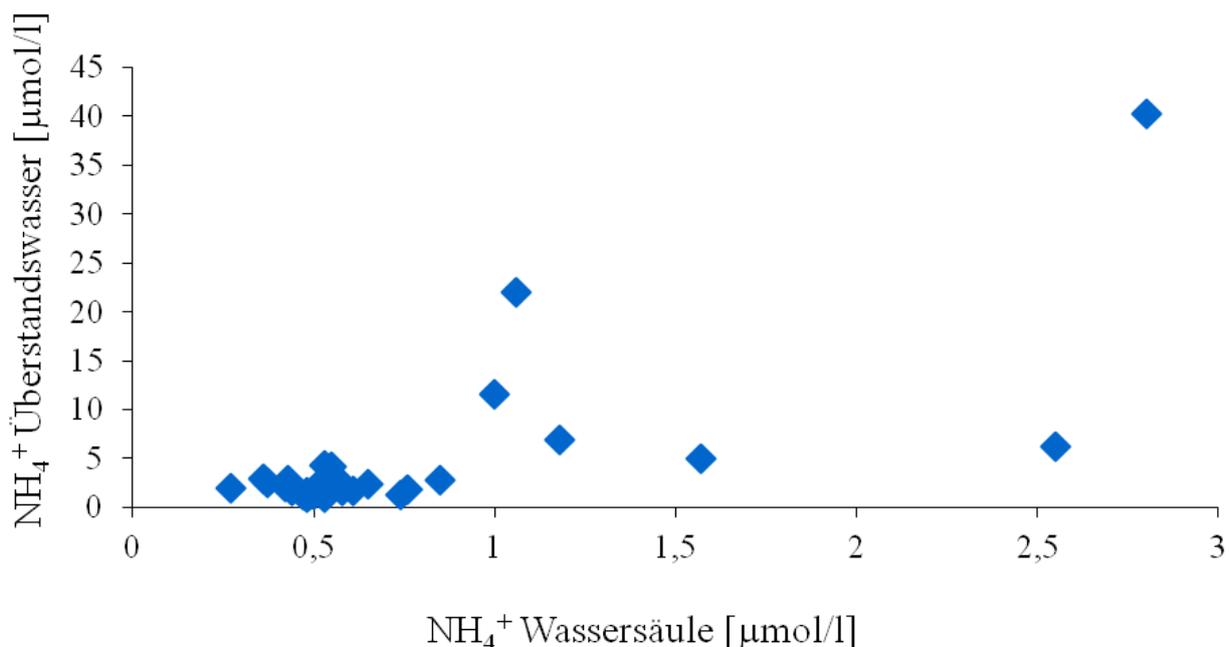


Abbildung 4.13: Verhältnis zwischen dem Gehalt an NH_4^+ [$\mu\text{mol/l}$] in der Wassersäule (WS) an der tiefsten Messstation und in dem Überstandswasser (ÜSW). Hierbei zeigt sich, dass sich, dass die Konzentration des Überstandswassers durch die Denitrifikation im Sediment höher ist als die übliche Konzentration in der Wassersäule.

Das veränderte Redfield-Verhältnis ist mit dieser Feststellung jedoch nicht geklärt. Um dieses zu erklären, muss es einen signifikanten Eintrag von PO_4^{3-} aus dem Sediment oder terrestrische bzw. anthropogene Einträge in die Wassersäule geben, oder einen massiven Verlust von Nitrat (durch Denitrifizierung). Zur Überprüfung dieser Aussage, wird im folgenden Kapitel (4.7.2) die PO_4^{3-} -Interaktion zwischen Sediment und Wassersäule diskutiert. Des Weiteren wurden für die vorliegende Arbeit nur die Fluxwerte aus dem Sediment in die Wassersäule von Ammonium betrachtet. Um ein Gesamtbild des austretenden Stickstoffs zu bekommen, müssten ebenfalls die Fluxwerte von Nitrit und Nitrat berücksichtigt werden. Die Stoffflüsse des gesamten Stickstoffes im Benguela-Auftriebsgebiet (Nitrat, Nitrit, Ammonium) werden in der Arbeit von Neumann (2012 unveröffentlicht) behandelt.

4.7.2 Freisetzung von PO_4^{3-} als Erklärung für verändertes Redfield-Verhältnis

Wie bereits in Abschnitt 4.7.1 angekündigt, soll an dieser Stelle der Einfluss des PO_4^{3-} -Flux aus dem Sediment in die Wassersäule mit den von Nagel (2011) gemessenen N:P-Anomalien im Untersuchungsgebiet in Verbindung gebracht werden. Im Abschnitt 4.7.1 wurde festgestellt, dass es in sauerstoffarmem Wasser zu einem tendenziellen Anstieg des N_{Total} -Gehalts kommt. Dieser Anstieg erklärt nicht die veränderten Redfield-Verhältnisse, da es dafür entweder eine signifikante Senke für N_{Total} (welche in dieser Arbeit für NH_4^+ nicht nachgewiesen und für NO_x nicht untersucht wurde) oder eine im Verhältnis (16:1) größere Quelle für P_{Total} geben muss. Um diesen Sachverhalt zu klären, wurden die gemessenen PO_4^{3-} -Werte der Wassersäule zunächst mit dem Sauerstoffgehalt der Wassersäule verglichen. Wie in Abbildung 4.14 zu erkennen, korrespondiert eine Abnahme des Sauerstoffgehalts mit einem Anstieg des PO_4^{3-} -Gehalts. Die beiden Parameter stehen in einem umgekehrt proportionalen Verhältnis zueinander. Dieser Anstieg wird durch die in Abschnitt 4.5.1 getroffenen Aussagen über die PO_4^{3-} -Freisetzung unter sauerstoffarmen Bedingungen erklärt. Gemäß dieser Feststellung nehmen mit Sauerstoffarmut sowohl der Gehalt an N_{Total} als auch der Gehalt an P_{Total} mit abnehmender Meerestiefe zu.

Bringt man den PO_4^{3-} -Flux mit den PO_4^{3-} -Gehalten der Wassersäule in Verbindung, indem man den PO_4^{3-} Gehalt des Überstandswassers der Sedimentkerne sowie den PO_4^{3-} Gehalt der untersten Messstation (ca. 8 m über Grund) der Wassersäule miteinander vergleicht, fällt auf, dass der Gehalt von PO_4^{3-} in der Wassersäule durchschnittlich geringer ist als der PO_4^{3-} -Gehalt des Überstandswassers. Dieser Vergleich bietet sich an, da hohe PO_4^{3-} -Werte im Überstandswasser mit den erhöhten PO_4^{3-} -Fluxwerten übereinstimmen (siehe Tabelle 3.1a, 3.1b, 3.2). Es fällt auf, dass das austretende Phosphat in der Wassersäule weitestgehend stabil ist. So unterscheiden sich die beiden Konzentrationen im Vergleich zu den Konzentrationsunterschieden von NH_4^+ nur minimal (siehe Abbildung 4.15).

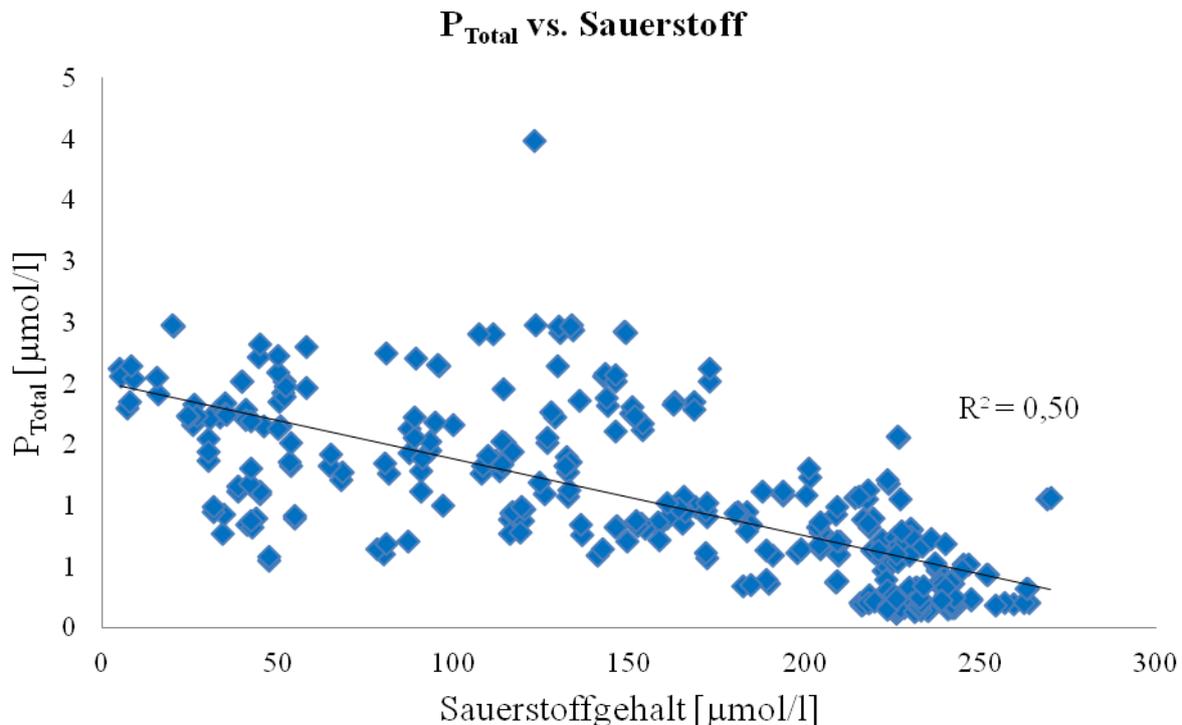


Abbildung 4.14: Bei sinkendem Sauerstoffgehalt steigen die PO_4^{3-} -Gehalte in der Wassersäule an.

Diese Beobachtung ist damit zu erklären, dass Phosphat unter sauerstoffarmen Bedingungen nicht gezehrt wird (van der Plas et al. 2006) und daher in der Wassersäule erhalten bleibt. Vergleicht man nun die Nährstoffkonzentrationen von NH_4^+ und PO_4^{3-} wird klar, dass es sich bei den Konzentrationsunterschieden bei dem Ammonium nicht um einen Verdünnungseffekt handeln kann. Da sich ansonsten auch die Konzentration des PO_4^{3-} im gleichen Maße ändern müsste.

Da eine Beeinflussung der Wassersäule durch den PO_4^{3-} -Flux aus dem Sediment in die Wassersäule festgestellt werden konnte, kann mit denen für diese Arbeit erhobenen Daten das veränderte Redfield-Verhältnis, das von Nagel (2011 unveröffentlicht) und Kuypers et al. (2005) beschrieben wurde, zum Teil erklärt werden. Nach der jetzigen Datenlage kann man annehmen, dass das austretende, bzw. aus dem Sediment entlassene PO_4^{3-} zur Veränderung des N:P-Verhältnisses beiträgt, da es im Gegensatz zu dem Ammonium in der Wassersäule stabil bleibt. Das austretende Ammonium wird wie in Abschnitt 4.7.1 beschrieben, nitrifiziert, und daher verschiebt sich das Verhältnis hin zum Phosphat.

PO₄³⁻-Wassersäule vs. PO₄³⁻-Überstandswasser

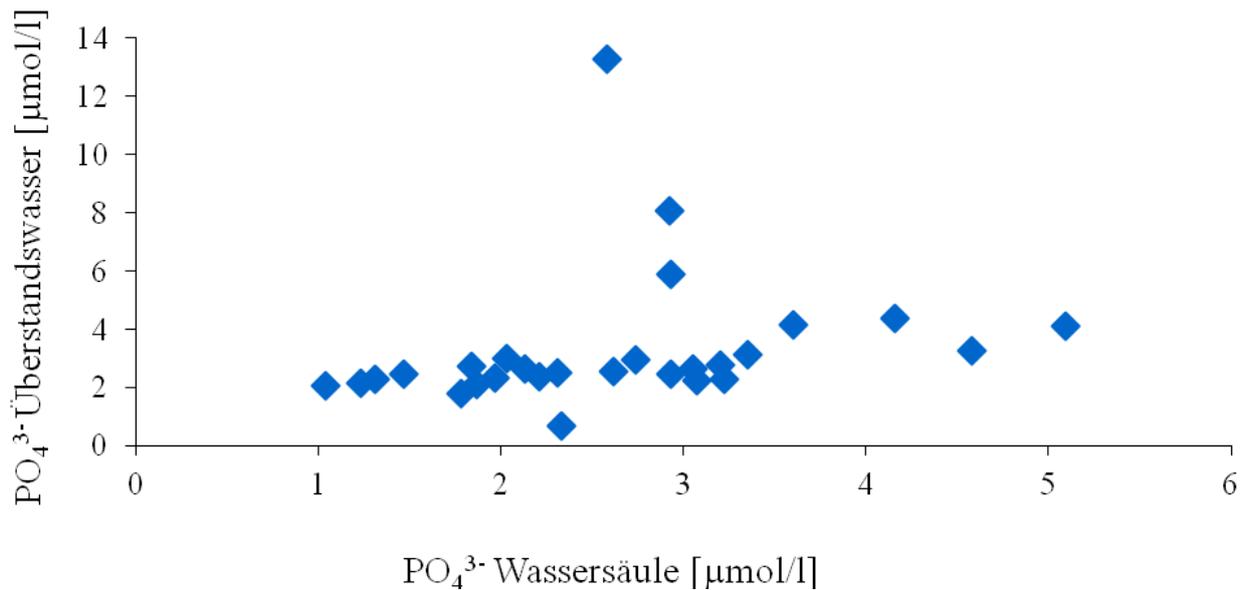


Abbildung 4.15: Der PO₄³⁻-Gehalt der Wassersäule (WS) (tiefste Messstation) wurde aufgetragen gegen die Konzentration des Überstandswasser (ÜSW).

4.8 Fazit und Ausblick

In dem untersuchten Gebiet kommt es mit wenigen Ausnahmen zu einer Abgabe der Nährstoffe NH₄⁺ und PO₄³⁻ aus dem Sediment an die Wassersäule. Die Vergleiche der Stoffflussintensität der Nährstoffe NH₄⁺ und PO₄³⁻ mit den unterschiedlichen Randbedingungen haben gezeigt, dass die Abgabe der Nährstoffe NH₄⁺ und PO₄³⁻ aus dem Sediment in die Wassersäule neben dem Sauerstoffgehalt noch von anderen Parametern gesteuert werden muss. In dieser Arbeit wurde nur der Sauerstoffgehalt als eine solche Beeinflussungsgröße gemessen und untersucht (siehe Abschnitt 4.4.1, 4.5.1). Eine Ratenabschätzung anhand der Randparameter Sandgehalt und C_{org}-Gehalt des Sediments scheint aufgrund der mangelnden nachweisbaren Beeinflussung der Fluxintensität der Nährstoffe nicht möglich. Um eine genauere Aussage über die Steuerung des Nährstoffflusses zwischen Sediment und Wassersäule treffen zu können, wäre es wichtig, die Messdaten von längerfristigen Untersuchungen heranzuziehen. So unterliegt das Benguela-Auftriebsgebiet saisonalen Schwankungen, diese Schwankungen sind für die Strömungsenergie, für die Sauerstoffversorgung des Meeresbodens und die Verteilung der Wassermassen verantwortlich (Shannon & Nelson 1996). Um also eine bessere Aussage über das Stoffflussverhalten machen zu können, müssten die Fluxintensität der Nährstoffe Ammonium und Phosphat unter Berücksichtigung der Randbedingungen wie Sauerstoffgehalt, Korngrößenverteilung und C_{org}-Verteilung über einen längeren Zeitraum erfolgen. Ebenfalls wäre es sinnvoll ein engmaschigeres Probenetz zu legen, damit auch Schwankungen unter vermeintlich ähnlichen Randbedingungen besser untersucht und nachvollzogen werden können. Auch eine großflächigere und genauere Sedimentuntersuchung wäre von Vorteil. Da gerade in Küstennähe die Strömungsenergie zunimmt und somit dort eine Umlagerung der Sedimente

stattfindet, wäre es interessant zu untersuchen, wie die Verteilung des organischen Materials und der Korngröße in tieferen Sedimentschichten aussieht. Um eine bessere Aussage zu der Beeinflussung der Phosphatfreisetzung treffen zu können, wäre es ebenfalls hilfreich, das Sediment auf das Vorkommen von Hydroxy-Apatit und Eisenhydroxyden zu untersuchen. Um eine genauere Aussage über die Beeinflussung der Sediment-Wassersäulen-Interaktion im Bezug auf das Redfield-Verhältnis treffen zu können, wären die Untersuchung des gesamten Stickstoffflusses aus dem Sediment in die Wassersäule (NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+) empfehlenswert.

5. Zusammenfassung

Während der Monate Februar und März 2011 wurden das Sediment, das Porenwasser und Überstandswasser sowie die Wassersäule auf ihre Nährstoffkonzentration, Sauerstoffgehalt, Gehalt an organischem Kohlenstoff und Sedimenteigenschaften untersucht. Im Mittel findet man eine Zunahme der Konzentration der Nährstoffe Ammonium und Phosphat im Überstandswasser in Richtung Küste. Die Untersuchung des Flux dieser beiden Nährstoffe ergibt zwei Hauptergebnisse. Zum einen ist der Fluss fast ausnahmslos vom Sediment in die Wassersäule. Zum anderen erkennt man ein ausgeprägtes Maximum bei der Position $22^\circ\text{S}/13,5^\circ\text{E}$. Entlang des $17,25^\circ\text{S}$ Transekts kommt es zu Abweichungen von diesem Trend, die der Einmündung des Kunene Rivers zugeschrieben werden. Der Sauerstoffgehalt am Übergang zwischen Sediment und Wassersäule nimmt in Richtung Küste kontinuierlich ab und es befinden sich entlang der untersuchten Küstenlinie ausgeprägte Sauerstoffminimumzonen oberhalb einer Wassertiefe von 500 m. Die Messung der C_{org} -Gehalte des Sediments ergibt deutliche Maxima auf dem Schelf vor der Küste, wie sie zuvor von Inthorn et al. (2006) und Kaiser (2011) als Mudbelt und Depocenter beschrieben wurden. Der Vergleich von Sauerstoffgehalt des umgebenden Wassers und C_{org} -Gehalt des Sediments ergab keine signifikante Relation. Die Aussage von Bailey (1991) konnte damit nicht bestätigt werden. Der Sachverhalt stützt eher die Vermutung von van der Plas et al. (2007), wonach der C_{org} -Gehalt ein langzeitliches Mittel darstellt, während der Sauerstoffgehalt eine Momentaufnahme aus dem Zusammenspiel der beteiligten Wassermassen, der Primärproduktion, der Durchmischung der Wassersäule sowie dem Abbau von organisch reichem Material darstellt. Zwischen der mittleren Korngröße des Sediments und der Stoffflussintensität der zuvor erwähnten Nährstoffe konnte ebenfalls keine eindeutige Korrelation festgestellt werden. Der Vergleich von Nährstoffflux und Sauerstoffgehalt erlaubt die Aussage, dass es unterhalb eines Sauerstoffgehaltes von etwa $86 \mu\text{mol/l}$, also im sauerstoffarmen bis anoxischen Bereich, zu einem tendenziellen Anstieg der NH_4^+ - und PO_4^{3-} -Fluxintensitäten kommt. Oberhalb dieses Wertes kann keine Korrelation gefunden werden, was nahe legt, dass es zusätzliche Parameter geben muss, die den Nährstofffluss zwischen Sediment und Wassersäule steuern.

Der Versuch einer Ratenabschätzung des Nährstoffflusses anhand der Randparameter C_{org} -Gehalt und Sandgehalt des Sediments anhand der 2011 für diese Arbeit genommen Proben führte leider nicht zum Erfolg. Eine erfolgreiche Ratenabschätzung des Stoffflusses der Nährstoffe Ammonium und Phosphat zwischen Sediment und Wassersäule wird vermutlich

erst dann möglich sein, wenn die Randbedingungen und Mechanismen, die zu einer Freisetzung bzw. Aufnahme der Nährstoffe führen, vollständig bekannt sind.

Die gemessenen Redfield-Verhältnisse schwankten im Mittel von 1:12 im Tiefenwasser bis 1:6 über dem Schelf. Eine ähnliche Abweichung vom erwarteten Redfield-Verhältnis von 1:16 wurde bereits von Kuypers et al. (2005) und Nagel (2011) diskutiert. Mögliche Ursachen liegen in einer Denitrifizierung oder in zusätzlicher Phosphatfreisetzung. Um hier zu einer eindeutigeren Aussage zu kommen, wäre es nötig, die ebenfalls beteiligten Stoffe wie Nitrat und Nitrit in die Messung mit einzubeziehen, und damit die Stoffkreisläufe eindeutiger zu verstehen. In wie weit die Sediment-Wassersäulen-Interaktion und die damit verbundene Nährstofffreisetzung einen Einfluss auf den Nährstoffkreislauf im Benguela-Auftriebsgebiet hat, konnte nur im Ansatz geklärt werden. Die aus dem Sediment freigesetzten Nährstoffe lassen sich in der Wassersäule nachweisen, diese werden allerdings nicht in dem üblichen Redfield-Verhältnis von 16:1 entlassen, sondern im Mittel im Verhältnis von 3:1. Vermutlich tragen diese freigesetzten Nährstoffe zu dem im Benguela-Gebiet bekannten abweichenden Redfield-Verhältnisse bei, wie groß diese Beeinflussung ist, kann mit dieser Arbeit nicht beantwortet werden.

6. Literatur

- Bailey, G.W. (1991): Modern and ancient continental shelf anoxia. Geological Society Special Publication, 58: 171-183.
- Baturin, G. N., Dubinchuk, V. G. (2003): The composition of phosphatized bones in recent sediments. Lithology and Mineral Resources 38: 313-323.
- Benitez- Nelson, C. R. (2000): The biogeochemical cycling of phosphorus in marine systems. Earth Science Review, 51: 109- 135.
- Berg, P., Risgaard- Petersen, N., Rysgaard, S. (1998): Interpretation of measured concentrations profiles in sediment pore water. Limnology and Oceanography, 43: 1500-1510.
- Berner, R. A. (1990) Diagenesis of phosphorus in sediments from non- upwelling areas. Phosphate Deposits of the World. In: Neogene to Modern phosphorites, 3. Volume. Cambridge University Press. 480pp.
- Birch, G.F. (1975): Sediments on the continental margin off the west coast of South Africa. Marine Geology, 23: 305-337.
- Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage (2005): Hrsg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten der Bundesrepublik Deutschland. 438pp.
- Bremner, J. M. (1981): Shelf morphology and surficial sediment off Central and Northern South West Africa (Namibia), Geo-Marine Letters, 1: 91-96.
- Chapman, P., Shannon, L. (1987): Seasonality in the oxygen minimum layers at the extremities of the Benguela system. South African Journal of Marine Science, 5: 11- 34.
- Demaison, G. J., Moore, G. T. (1980): Anoxic environments and oil source bed genesis. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 64: 1179-1209.
- Deuser, W. G. (1975): Reducing Environments. Chemical Oceanography, 3: 1-37.
- Deutsch, C., Sarmiento, J. L., Sigman, D. M., Gruber, N., Dunne, J. P. (2007): Spatial coupling of nitrogen inputs and losses in the ocean. Nature, 445: 163- 167.
- Duncombe Rae, C., M. (2004): A demonstration of the hydrographic partition of the Benguela upwelling ecosystem at 26°40'S. African Journal of Marine Science, 5.1: 34pp.
- Emeis, K.-C. (2001): Cruise Report of expedition METEOR 48-2, Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde. 6pp.
- Emeis, K.-C., Struck, U., Leipe, T., Ferdelman, T. G. (2009): Variability in upwelling intensity and nutrient regime in the coastal upwelling system offshore Namibia: Results from sediment archives. International Journal of Earth Science, 98: 309-326.

- Enneking, C., Hensen, C., Hinrichs, S., Niewöhner, C., Siemer, S., Steinmetz, E. (1996): Pore water chemistry. Report and preliminary results of Meteor cruise M34/2. Berichte, Fachbereich Geowissenschaften, Universität Bremen, 78: 87-102
- Fennel, W. (1999): Theory of the Benguela upwelling system. *Journal of Physical Oceanography*, 29: 177- 190.
- Fischer, J., Boercharadt, D. (2001): Einsatz von Optoden zur kontinuierlichen Sauerstoffmessung im hyporheischen Interstitial. Jahrestag der deutschen Gesellschaft für Limnologie (Magdeburg). Eigenverlag der DGL, Tutzing 316-320.
- Froelich, P. N., Bender, M. L., Luedtke, N. A., Heath, G. R., DeVries, T. (1982): The marine Phosphorus cycle. *American Journal of Science*, 282: 474-511.
- Goldhammer, T., Brunner, B., Bernasconi, S. M., Ferdelman, T. G., Zabel, M. (2011): Phosphate oxygen isotopes: Insights into sedimentary phosphorus cycling from the Benguela upwelling system. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 75: 3741-3756.
- Grasshoff, K., Kremling, K., Ehrhardt, M. (1999): Methods of seawater analysis. In: 2nd Edition, Wiley- VCH, Weinheim, NY. 632pp.
- Hensen, C., Zabel, M., Schulz, H. D. (2000): A comparison of benthic nutrient fluxes from deep- sea sediments off Namibia and Argentina. *Deep-Sea Research, II*: 2029-2050.
- 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. *Geology*, 34: 205-208.
- Jahnke, R. A., Heggie, D., Emerson, S., Grundmanis, V. (1982): Pore waters of the central Pacific Ocean: Nutrient results. *Earth and Planetary Letters*, 61: 233- 256.
- Kaiser, C. (2011): Verteilung von Kohlenstoff und Stickstoff im Oberflächensediment im Benguela-Auftriebsgebiet vor Namibia. Universität Hamburg. 36pp.
- Klimant, I., Meyer, V., Kühl, M. (1995): Fiber-optic oxygen microsensors, a new tool in aquatic biologie. *Limnologie and Oceanography*, 40: 1159- 1165.
- Küster- Heins, K., Steinmetz, E., De Lange, G. J., Zabel, M. (2010): Phosphorus cycling in marine sediments from the continental margin off Namibia. *Marine Geology*, 274: 95-106
- Kuypers, M. M. M., Lavik, G., Woebke, D., Schmid, M., Fuchs, B. M., Amann, R., Jorgensen, B. B., Jetten, M. S. M. (2005): Massive Nitrogen loss from the Benguela upwelling system through anaerobic ammonium oxidation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102: 6478- 6483.
- Mohrholz, V., Prandke, H., Lass, H. U. (2008): Estimation of TKE dissipation rates in dense bottom plumes using a Pulse Coherent Acoustic Doppler Profiler (PC-ADP) Structure function approach. *Journal of Marine Systems*, 70: 217-239.

- Mohrholz, V., Schmidt, M., Lutjeharms, J. R. E. (2001): The hydrography and dynamics of the Angola-Benguela frontal zone and environment in April 1999. *South African Journal of Marine Science*, 97: 199- 208.
- Mollenhauer, G., Inthorn, M., Vogt, T., Zabel, M., Sinninghe Dausré, J., Eglinton, T. (2007): Aging of marine organic matter during cross shelf lateral transport in the Benguela upwelling system revealed by compound- specific radiocarbon dating. *Journal of Geochemistry, Geophysics and Geosystems*, 8: no 9.
- Nagel, B. (2011 unveröffentlicht): Nitrogen cycling on the Namibian shelf from an isotopic perspective.
- Neumann, A. (2011 unveröffentlicht): Nitrogen consumption in marine sediments: applications of membrane inlet mass spectrometry.
- O'Toole, M. (1980): Seasonal distribution of temperature and salinity in the surface waters off South West Africa 1972- 1974. Sea Fisheries Institute of South Africa, Cape Town. 25pp.
- Paytan, A., McLaughlin, K. (2007): The oceanic phosphorus cycle. *Chemical Review*, 107: 563-576.
- Reuter, S. (2003): $^{231}\text{Pa}/^{230}\text{Th}$ - Verhältnisse im Auftriebsgebiet vor Südwest- Afrika – ein Tracer für Paläoproduktivität und Ozeanzirkulation. Universität Heidelberg 111pp.
- Rogers, J. (1977): Sedimentation on the continental margin off the Orange River and the Namib Desert. University of Cape Town. 162pp.
- Schulz, H. D., Zabel, M. (2006): *Marine Geochemistry*, 2nd edition, Springer Verlag Berlin-Heidelberg. 574pp.
- Schulz, H. N., Schulz, H. D. (2005): Large sulfur bacteria and the formation of phosphorite. *Science*, 307: 416- 418.
- Seeberg- Elverfeldt, J., Schlüter, M., Feseker, T., Kölling, M. (2005): Rhizon sampling of porewater near the sediment water interface of aquatic systems. *Limnology and Oceanography Methods*, 3: 361- 371.
- Shannon, L. V., Nelson, G. (1996): The Benguela: Large scale features and processes in system variability. In: Wefer, G., Berger, W. ,H., Siedler, G., Webb, D., J, *The south Atlantic: Present and past circulation*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, S.163- 210.
- Shillington, F., A. (1998): The Benguela upwelling system off southwestern Africa. *The Sea*, 11: 583- 604.
- Shillington, F. A., Reason, C. J. C., Duncombe Rae, C. M., Florenchie, P., Penven, P. (2006): Large scale physical variability off the Benguela current large marine ecosystem (BCLME). *Large Marine Ecosystems*, 14: 48- 68.
- Talley, L. D. (1996): Antarctic Intermediate Water in the south Atlantic. In: Wefer, G., Berger, W. H., Siedler, G., Webb, D. J., *The south Atlantic: Present and past circulation*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 219- 238.

van der Plas, A. K., Monteiro, P. M. S., 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: 37-47.

Wetzel, P., Winguth, A., Maier-Reimer, E. (2005): Sea-to-air CO₂ flux from 1948 to 2003: A model study. *Global Biogeochemical Cycles*, 19: 1-10.

Online verfügbare Quellen

Short Cruise Report Maria S. Merian 17/3, Projekt Genus, Verfasser: Niko Lahajnar, Institut für Biogeochemie und Meereschemie Hamburg.

http://genus.zmaw.de/fileadmin/user_upload/genus/template/MSM_17-3_SCR.pdf

Anhang

Tabelle 3.1a: Die Tabelle zeigt die Konzentrationen der Nährstoffe Ammonium und Phosphat innerhalb des Porenwassers sowie im Überstandswasser der Sedimentkerne. Die mit - gekennzeichneten Tiefenangaben beschreiben die Konzentration im Überstandswasser.

Station	Latitude	Longitude	Wassertiefe [m]	Tiefe [m]	Phosphat [$\mu\text{mol/l}$]	Ammonium [$\mu\text{mol/l}$]
225	-23,50	14	165	-1	4,36	5,05
225	-23,50	14	165	1	11,26	63,76
225	-23,50	14	165	2	21,62	105,66
225	-23,50	14	165	3	42,36	180,77
225	-23,50	14	165	4	44,06	214,78
225	-23,50	14	165	5	60,69	234,76
225	-23,50	14	165	6	68,07	288,25
225	-23,50	14	165	7	89,32	340,28
225	-23,50	14	165	8	80,36	356,42
225	-23,50	14	165	9	39,82	261,44
225	-23,50	14	165	10	82,04	378,11
225	-23,50	14	165	11	68,56	371,74
225	-23,50	14	165	12	57,85	371,93
225	-23,50	14	165	13	44,70	359,96
229	-24,52	14,336	120	-1	13,30	21,99
229	-24,52	14,336	120	1	54,64	94,21
229	-24,52	14,336	120	2	301,55	266,97
229	-24,52	14,336	120	3	396,48	554,57
229	-24,52	14,336	120	4	401,60	680,56
229	-24,52	14,336	120	5	278,94	855,16
229	-24,52	14,336	120	6	232,68	946,40
229	-24,52	14,336	120	7	226,63	952,08
229	-24,52	14,336	120	8	221,75	960,65
229	-24,52	14,336	120	9	206,88	975,00
229	-24,52	14,336	120	10	193,61	978,60
229	-24,52	14,336	120	11	162,17	975,33
229	-24,52	14,336	120	12	143,61	978,55
231	-26,00	14,5	190	-1	4,11	2,88
231	-26,00	14,5	190	1	49,25	52,50
231	-26,00	14,5	190	2	91,80	118,98
231	-26,00	14,5	190	3	84,08	141,51
231	-26,00	14,5	190	4	78,76	145,47
231	-26,00	14,5	190	5	66,60	138,67
231	-26,00	14,5	190	6	56,95	131,74
231	-26,00	14,5	190	7	46,93	119,96
231	-26,00	14,5	190	8	36,25	121,41

Station	Latitude	Longitude	Wasser- tiefe [m]	Tiefe [m]	Phosphat [μmol/l]	Ammonium [μmol/l]
231	-26,00	14,5	190	9	33,97	86,29
231	-26,00	14,5	190	10	22,34	72,27
233	-26,67	14,533	180	-1	5,69	5,57
233	-26,67	14,533	180	1	51,33	56,24
233	-26,67	14,533	180	2	73,32	93,22
233	-26,67	14,533	180	3	59,64	85,44
233	-26,67	14,533	180	4	27,84	86,08
233	-26,67	14,533	180	5	12,81	25,38
233	-26,67	14,533	180	6	53,26	86,05
233	-26,67	14,533	180	7	76,26	104,25
233	-26,67	14,533	180	8	102,00	191,34
233	-26,67	14,533	180	9	109,01	195,47
233	-26,67	14,533	180	10	97,34	181,91
233	-26,67	14,533	180	11	68,64	144,71
233	-26,67	14,533	180	12	49,95	124,62
234	-26,67	14,417	325	-1	2,626	1,066
234	-26,67	14,417	325	1	5,869	2,212
234	-26,67	14,417	325	2	13,976	8,161
234	-26,67	14,417	325	3	19,611	13,628
234	-26,67	14,417	325	4	26,487	26,454
234	-26,67	14,417	325	5	25,832	35,575
234	-26,67	14,417	325	6	20,531	43,737
234	-26,67	14,417	325	7	18,236	44,085
234	-26,67	14,417	325	8	14,777	50,371
234	-26,67	14,417	325	9	13,251	52,106
234	-26,67	14,417	325	10	11,471	51,286
234	-26,67	14,417	325	11	11,259	57,977
234	-26,67	14,417	325	12	10,351	59,206
235	-26,67	14	417	-1	2,35	2,00
235	-26,67	14	417	1	22,66	5,43
235	-26,67	14	417	2	43,49	18,59
235	-26,67	14	417	3	34,19	22,71
235	-26,67	14	417	4	24,88	22,12
235	-26,67	14	417	5	15,69	23,11
235	-26,67	14	417	6	11,60	24,48
235	-26,67	14	417	7	10,22	30,27
235	-26,67	14	417	8	8,91	22,67
235	-26,67	14	417	9	9,55	30,77
235	-26,67	14	417	10	9,15	39,82
235	-26,67	14	417	11	7,65	40,43
235	-26,67	14	417	12	8,85	44,42
235	-26,67	14	417	13	13,98	36,75
236	-26,67	13,5	1100	-1	2,94	1,28

Station	Latitude	Longitude	Wasser- tiefe [m]	Tiefe [m]	Phosphat [μmol/l]	Ammonium [μmol/l]
236	-26,67	13,5	1100	1	2,51	2,41
236	-26,67	13,5	1100	2	4,98	3,73
236	-26,67	13,5	1100	3	24,64	10,66
236	-26,67	13,5	1100	4	29,19	15,11
236	-26,67	13,5	1100	5	27,18	22,71
236	-26,67	13,5	1100	6	20,75	26,90
236	-26,67	13,5	1100	7	17,41	29,70
236	-26,67	13,5	1100	8	17,19	34,89
236	-26,67	13,5	1100	9	19,21	37,36
236	-26,67	13,5	1100	10	16,60	41,11
236	-26,67	13,5	1100	11	15,57	43,54
237	-26,00	13,55	750	-1	2,66	1,57
237	-26,00	13,55	750	1	9,91	4,15
237	-26,00	13,55	750	2	40,09	14,76
237	-26,00	13,55	750	3	37,88	22,65
237	-26,00	13,55	750	4	27,31	25,94
237	-26,00	13,55	750	5	17,46	24,64
237	-26,00	13,55	750	6	11,02	28,08
237	-26,00	13,55	750	7	11,59	29,23
237	-26,00	13,55	750	8	11,02	30,96
237	-26,00	13,55	750	9	8,01	30,34
237	-26,00	13,55	750	10	10,20	32,44
237	-26,00	13,55	750	11	9,50	33,69
237	-26,00	13,55	750	12	8,61	35,11
238	-25,00	13,336	1080	-1	2,53	4,13
238	-25,00	13,336	1080	1	5,41	3,55
238	-25,00	13,336	1080	2	20,37	14,41
238	-25,00	13,336	1080	3	29,84	22,35
238	-25,00	13,336	1080	4	28,42	33,26
238	-25,00	13,336	1080	5	22,92	40,17
238	-25,00	13,336	1080	6	15,46	46,32
238	-25,00	13,336	1080	7	9,91	46,68
238	-25,00	13,336	1080	8	8,56	44,73
238	-25,00	13,336	1080	9	8,30	47,03
238	-25,00	13,336	1080	10	8,01	46,28
238	-25,00	13,336	1080	11	7,35	43,59
238	-25,00	13,336	1080	12	6,99	43,39
240	-24,00	14	735	-1	2,48	1,24
240	-24,00	14	735	1	17,15	6,69
240	-24,00	14	735	2	50,85	18,56
240	-24,00	14	735	3	66,27	32,11
240	-24,00	14	735	4	68,88	41,88
240	-24,00	14	735	5	54,71	53,03

Station	Latitude	Longitude	Wasser- tiefe [m]	Tiefe [m]	Phosphat [μmol/l]	Ammonium [μmol/l]
240	-24,00	14	735	6	44,17	55,57
240	-24,00	14	735	7	37,54	65,08
240	-24,00	14	735	8	30,61	67,63
240	-24,00	14	735	9	28,24	70,17
240	-24,00	14	735	10	23,94	72,29
240	-24,00	14	735	11	22,57	74,81
240	-24,00	14	735	12	22,43	78,15
241	-23,00	11,75	2970	-1	2,07	2,18
241	-23,00	11,75	2970	1	2,60	6,26
241	-23,00	11,75	2970	2	2,59	8,77
241	-23,00	11,75	2970	3	2,52	5,70
241	-23,00	11,75	2970	4	2,23	3,29
241	-23,00	11,75	2970	5	4,90	4,72
241	-23,00	11,75	2970	6	6,95	5,87
241	-23,00	11,75	2970	7	9,25	7,61
241	-23,00	11,75	2970	8	11,30	9,11
241	-23,00	11,75	2970	9	8,43	7,01
241	-23,00	11,75	2970	10	9,39	10,28
241	-23,00	11,75	2970	11	9,66	9,86
241	-23,00	11,75	2970	12	11,19	15,09
242	-23,00	12,5	1640	-1	2,10	1,01
242	-23,00	12,5	1640	1	2,60	5,34
242	-23,00	12,5	1640	2	4,36	5,07
242	-23,00	12,5	1640	3	9,09	10,46
242	-23,00	12,5	1640	4	9,07	14,93
242	-23,00	12,5	1640	5	8,63	18,34
242	-23,00	12,5	1640	6	8,15	24,34
242	-23,00	12,5	1640	7	7,79	25,03
242	-23,00	12,5	1640	8	8,04	24,89
242	-23,00	12,5	1640	9	8,17	25,90
242	-23,00	12,5	1640	10	8,19	26,40
242	-23,00	12,5	1640	11	7,67	26,14
242	-23,00	12,5	1640	12	7,82	28,56
242	-23,00	12,5	1640	13	7,50	30,03
243	-23,00	12,8	905	-1	2,63	1,07
243	-23,00	12,8	905	1	5,87	2,21
243	-23,00	12,8	905	2	13,98	8,16
243	-23,00	12,8	905	3	19,61	13,63
243	-23,00	12,8	905	4	26,49	26,45
243	-23,00	12,8	905	5	25,83	35,58
243	-23,00	12,8	905	6	20,53	43,74
243	-23,00	12,8	905	7	18,24	44,09
243	-23,00	12,8	905	8	14,78	50,37

Station	Latitude	Longitude	Wasser- tiefe [m]	Tiefe [m]	Phosphat [μmol/l]	Ammonium [μmol/l]
243	-23,00	12,8	905	9	13,25	52,11
243	-23,00	12,8	905	10	11,47	51,29
243	-23,00	12,8	905	11	11,26	57,98
243	-23,00	12,8	905	12	10,35	59,21
243	-23,00	12,8	905	-1	24,91	383,58
243	-23,00	12,8	905	1	56,90	819,25
243	-23,00	12,8	905	2	53,13	821,56
243	-23,00	12,8	905	3	47,23	744,29
243	-23,00	12,8	905	4	50,68	765,06
243	-23,00	12,8	905	5	66,35	700,58
243	-23,00	12,8	905	6	103,80	711,89
243	-23,00	12,8	905	7	146,67	875,96
243	-23,00	12,8	905	8	135,20	979,20
246	-23,00	13,5	410	-1	2,37	1,77
246	-23,00	13,5	410	1	3,86	5,70
246	-23,00	13,5	410	2	20,31	9,42
246	-23,00	13,5	410	3	29,39	10,82
246	-23,00	13,5	410	4	30,29	16,07
246	-23,00	13,5	410	5	20,95	25,67
246	-23,00	13,5	410	6	18,08	28,76
246	-23,00	13,5	410	7	12,57	29,17
246	-23,00	13,5	410	8	11,90	29,71
246	-23,00	13,5	410	9	11,05	30,53
246	-23,00	13,5	410	10	8,81	27,31
246	-23,00	13,5	410	11	7,26	23,66
246	-23,00	13,5	410	12	6,88	21,90
250	-23,00	13,33	350	-1	2,30	1,64
250	-23,00	13,33	350	1	4,09	1,96
250	-23,00	13,33	350	2	50,48	13,34
250	-23,00	13,33	350	3	58,34	24,62
250	-23,00	13,33	350	4	51,14	29,97
250	-23,00	13,33	350	5	43,71	33,18
250	-23,00	13,33	350	6	53,48	35,01
250	-23,00	13,33	350	7	53,07	43,01
250	-23,00	13,33	350	8	48,27	42,07
250	-23,00	13,33	350	9	41,60	44,33
250	-23,00	13,33	350	10	41,65	42,81
250	-23,00	13,33	350	11	29,15	49,17
250	-23,00	13,33	350	12	27,45	4,80
254	-23,00	13,667	155	-1	2,73	2,59
254	-23,00	13,667	155	1	9,04	8,95
254	-23,00	13,667	155	2	8,49	8,53
254	-23,00	13,667	155	3	8,12	9,34

Station	Latitude	Longitude	Wasser- tiefe [m]	Tiefe [m]	Phosphat [μmol/l]	Ammonium [μmol/l]
254	-23,00	13,667	155	4	8,35	9,58
254	-23,00	13,667	155	5	8,47	10,24
254	-23,00	13,667	155	6	8,80	14,32
254	-23,00	13,667	155	7	9,24	13,37
254	-23,00	13,667	155	8	9,53	16,42
254	-23,00	13,667	155	9	8,99	14,69
254	-23,00	13,667	155	10	9,50	17,86
264	-22,00	13,33	66	-1	18,91	18,70
264	-22,00	13,33	66	1	130,47	538,61
264	-22,00	13,33	66	2	54,69	265,20
264	-22,00	13,33	66	3	242,13	961,50
264	-22,00	13,33	66	4	307,16	1012,65
264	-22,00	13,33	66	5	231,62	1021,12
264	-22,00	13,33	66	6	279,53	1001,14
264	-22,00	13,33	66	7	211,49	989,96
264	-22,00	13,33	66	8	177,21	1010,31
268	-21,19	13,488	23	-1	4,17	6,28
268	-21,19	13,488	23	1	8,98	16,68
268	-21,19	13,488	23	2	15,31	64,05
268	-21,19	13,488	23	3	15,34	60,04
268	-21,19	13,488	23	4	15,52	62,10
268	-21,19	13,488	23	5	13,57	50,90
268	-21,19	13,488	23	6	13,10	51,56
268	-21,19	13,488	23	7	12,96	50,20
268	-21,19	13,488	23	8	12,73	49,14
268	-21,19	13,488	23	9	11,29	46,64
268	-21,19	13,488	23	10	12,00	44,00
268	-21,19	13,488	23	11	13,36	50,37
269	-21,00	13,33	98	-1	8,07	40,21
269	-21,00	13,33	98	1	57,37	147,86
269	-21,00	13,33	98	2	57,56	210,12
269	-21,00	13,33	98	3	68,05	285,66
269	-21,00	13,33	98	4	82,85	475,76
269	-21,00	13,33	98	5	84,85	562,28
269	-21,00	13,33	98	6	88,59	581,68
269	-21,00	13,33	98	7	89,68	644,61
269	-21,00	13,33	98	8	89,68	821,87
269	-21,00	13,33	98	9	91,76	837,27
269	-21,00	13,33	98	10	93,60	879,11
269	-21,00	13,33	98	11	102,62	931,76
269	-21,00	13,33	98	12	96,86	932,36
269	-21,00	13,33	98	13	99,81	935,76
269	-21,00	13,33	98	14	112,28	946,84

Station	Latitude	Longitude	Wasser- tiefe [m]	Tiefe [m]	Phosphat [μmol/l]	Ammonium [μmol/l]
269	-21,00	13,33	98	15	119,83	957,44
269	-21,00	13,33	98	16	119,63	979,61
269	-21,00	13,33	98	17	120,05	984,71
269	-21,00	13,33	98	18	118,74	987,88
269	-21,00	13,33	98	19	119,51	965,22
269	-21,00	13,33	98	20	118,30	956,51
269	-21,00	13,33	98	21	114,14	971,81
269	-21,00	13,33	98	22	114,69	1080,36
269	-21,00	13,33	98	23	111,70	1072,70
269	-21,00	13,33	98	24	109,80	1080,13
271	-21,00	12,834	296	-1	2,27	1,83
271	-21,00	12,834	296	1	1,77	2,12
271	-21,00	12,834	296	2	1,88	2,42
271	-21,00	12,834	296	3	2,06	3,58
271	-21,00	12,834	296	4	2,55	4,05
271	-21,00	12,834	296	5	3,28	4,49
271	-21,00	12,834	296	6	3,76	5,11
271	-21,00	12,834	296	7	4,25	5,60
271	-21,00	12,834	296	8	4,43	6,60
271	-21,00	12,834	296	9	4,51	7,33
271	-21,00	12,834	296	10	4,82	8,67
272	-21,00	12,5	425	-1	2,46	1,75
272	-21,00	12,5	425	1	17,31	4,77
272	-21,00	12,5	425	2	35,21	11,02
272	-21,00	12,5	425	3	34,62	15,10
272	-21,00	12,5	425	4	42,98	20,74
272	-21,00	12,5	425	5	20,74	18,97
272	-21,00	12,5	425	6	20,69	25,53
272	-21,00	12,5	425	7	14,32	24,84
272	-21,00	12,5	425	8	11,82	26,67
272	-21,00	12,5	425	9	9,31	24,97
272	-21,00	12,5	425	10	9,25	23,24
274	-20,00	11,834	408	-1	2,98	2,24
274	-20,00	11,834	408	1	13,31	6,11
274	-20,00	11,834	408	2	26,80	9,94
274	-20,00	11,834	408	3	32,00	14,05
274	-20,00	11,834	408	4	23,73	15,13
274	-20,00	11,834	408	5	19,79	15,60
274	-20,00	11,834	408	6	15,58	15,10
274	-20,00	11,834	408	7	14,14	12,84
274	-20,00	11,834	408	8	10,51	9,95
274	-20,00	11,834	408	9	9,70	10,86
274	-20,00	11,834	408	10	9,32	9,82

Station	Latitude	Longitude	Wasser- tiefe [m]	Tiefe [m]	Phosphat [μmol/l]	Ammonium [μmol/l]
276	-20,00	12,5	153	-1	3,15	4,34
276	-20,00	12,5	153	1	19,34	78,23
276	-20,00	12,5	153	2	29,34	145,89
276	-20,00	12,5	153	3	57,62	258,18
276	-20,00	12,5	153	4	72,96	341,71
276	-20,00	12,5	153	5	79,33	388,00
276	-20,00	12,5	153	6	84,60	424,10
276	-20,00	12,5	153	7	88,75	450,48
276	-20,00	12,5	153	8	91,67	473,64
276	-20,00	12,5	153	9	91,71	473,94
276	-20,00	12,5	153	10	94,22	484,49
276	-20,00	12,5	153	11	93,10	482,09
276	-20,00	12,5	153	12	93,01	476,55
278	-20,00	13	30	-1	3,28	6,85
278	-20,00	13	30	1	6,74	24,93
278	-20,00	13	30	2	11,08	62,32
278	-20,00	13	30	3	14,11	76,64
278	-20,00	13	30	4	14,42	77,65
278	-20,00	13	30	5	12,70	68,11
278	-20,00	13	30	6	14,94	82,68
278	-20,00	13	30	7	13,56	73,73
279	-19,00	12,451	35	-1	5,91	11,54
279	-19,00	12,451	35	1	46,76	50,03
279	-19,00	12,451	35	2	44,28	68,21
279	-19,00	12,451	35	3	40,52	81,60
279	-19,00	12,451	35	4	37,34	78,25
279	-19,00	12,451	35	5	34,36	76,87
279	-19,00	12,451	35	6	36,07	86,37
279	-19,00	12,451	35	7	41,28	89,62
279	-19,00	12,451	35	8	23,98	80,67
279	-19,00	12,451	35	9	22,42	72,28
279	-19,00	12,451	35	10	17,04	49,94
279	-19,00	12,451	35	11	18,69	45,11
279	-19,00	12,451	35	12	12,65	33,10
292	-19,00	11,433	416	-1	2,56	1,33
292	-19,00	11,433	416	1	13,16	4,64
292	-19,00	11,433	416	2	21,67	9,60
292	-19,00	11,433	416	3	23,46	14,07
292	-19,00	11,433	416	4	17,14	14,82
292	-19,00	11,433	416	5	11,28	13,96
292	-19,00	11,433	416	6	10,50	11,79
292	-19,00	11,433	416	7	7,66	9,78
292	-19,00	11,433	416	8	4,89	8,26

Station	Latitude	Longitude	Wasser- tiefe [m]	Tiefe [m]	Phosphat [μmol/l]	Ammonium [μmol/l]
292	-19,00	11,433	416	9	5,86	7,57
295	-19,00	11	1290	-1	2,23	1,36
295	-19,00	11	1290	1	25,77	22,09
295	-19,00	11	1290	2	10,91	8,18
295	-19,00	11	1290	3	34,16	39,65
295	-19,00	11	1290	4	33,66	49,68
295	-19,00	11	1290	5	24,69	55,42
295	-19,00	11	1290	6	17,51	58,51
295	-19,00	11	1290	7	12,29	59,25
295	-19,00	11	1290	8	9,35	60,55
295	-19,00	11	1290	9	7,72	59,01
298	-19,00	10,5	2063	-1	1,79	2,81
298	-19,00	10,5	2063	1	2,04	5,65
298	-19,00	10,5	2063	2	4,99	4,48
298	-19,00	10,5	2063	3	14,36	8,99
298	-19,00	10,5	2063	4	17,28	15,63
298	-19,00	10,5	2063	5	16,11	21,62
298	-19,00	10,5	2063	6	14,63	26,53
298	-19,00	10,5	2063	7	13,91	31,30
298	-19,00	10,5	2063	8	13,50	36,96
298	-19,00	10,5	2063	9	12,24	42,08
299	-18,50	11,417	436	-1	2,69	3,06
299	-18,50	11,417	436	1	9,41	4,97
299	-18,50	11,417	436	2	18,11	8,13
299	-18,50	11,417	436	3	14,62	8,63
299	-18,50	11,417	436	4	8,44	7,90
299	-18,50	11,417	436	5	6,76	6,55
299	-18,50	11,417	436	6	3,42	4,18
299	-18,50	11,417	436	7	4,58	3,39
299	-18,50	11,417	436	8	5,21	3,09
299	-18,50	11,417	436	9	4,90	2,78
304	-17,25	11,717	35	-1	0,70	2,77
304	-17,25	11,717	35	1	36,97	40,15
304	-17,25	11,717	35	2	34,14	45,68
304	-17,25	11,717	35	3	52,04	94,66
304	-17,25	11,717	35	4	44,66	103,87
304	-17,25	11,717	35	5	34,86	107,44
304	-17,25	11,717	35	6	29,55	108,89
304	-17,25	11,717	35	7	23,32	104,35
304	-17,25	11,717	35	8	20,70	94,05
304	-17,25	11,717	35	9	19,08	86,62
304	-17,25	11,717	35	10	17,82	77,60
305	-17,26	11,511	142	-1	2,16	3,11

Station	Latitude	Longitude	Wasser- tiefe [m]	Tiefe [m]	Phosphat [μmol/l]	Ammonium [μmol/l]
305	-17,26	11,511	142	1	84,80	63,71
305	-17,26	11,511	142	2	68,05	109,16
305	-17,26	11,511	142	3	46,88	110,67
305	-17,26	11,511	142	4	40,59	112,40
305	-17,26	11,511	142	5	33,87	113,39
305	-17,26	11,511	142	6	29,20	112,27
305	-17,26	11,511	142	7	25,11	102,08
305	-17,26	11,511	142	8	24,93	100,77
305	-17,26	11,511	142	9	23,12	89,76
306	-17,25	11,292	500	-1	2,78	2,38
306	-17,25	11,292	500	1	6,35	6,69
306	-17,25	11,292	500	2	5,23	4,89
306	-17,25	11,292	500	3	9,17	8,45
306	-17,25	11,292	500	4	12,28	12,66
306	-17,25	11,292	500	5	11,86	14,34
306	-17,25	11,292	500	6	8,95	13,69
306	-17,25	11,292	500	7	7,25	13,11
306	-17,25	11,292	500	8	4,71	11,98
306	-17,25	11,292	500	9	3,60	9,07
306	-17,25	11,292	500	10	3,59	7,12
308	-17,25	11	2103	-1	1,93	2,00
308	-17,25	11	2103	1	10,77	19,34
308	-17,25	11	2103	2	18,06	35,26
308	-17,25	11	2103	3	17,63	38,87
308	-17,25	11	2103	4	17,65	42,90
308	-17,25	11	2103	5	16,97	46,11
308	-17,25	11	2103	6	17,02	53,94
308	-17,25	11	2103	7	17,70	53,59
308	-17,25	11	2103	8	17,47	59,38
308	-17,25	11	2103	9	16,49	58,96
309	-17,25	11,783	2939	-1	1,81	1,31
309	-17,25	11,783	2939	1	8,26	17,37
309	-17,25	11,783	2939	2	20,42	25,05
309	-17,25	11,783	2939	3	25,32	19,07
309	-17,25	11,783	2939	4	30,51	23,49
309	-17,25	11,783	2939	5	28,52	23,40
309	-17,25	11,783	2939	6	25,54	23,09
309	-17,25	11,783	2939	7	21,55	23,04
309	-17,25	11,783	2939	8	16,88	21,49
309	-17,25	11,783	2939	9	13,84	21,23
310	-17,25	10,5	3247	-1	12,24	42,08
310	-17,25	10,5	3247	1	1,75	3,52
310	-17,25	10,5	3247	2	3,66	7,85

Station	Latitude	Longitude	Wasser- tiefe [m]	Tiefe [m]	Phosphat [μmol/l]	Ammonium [μmol/l]
310	-17,25	10,5	3247	3	12,30	17,40
310	-17,25	10,5	3247	4	16,51	10,82
310	-17,25	10,5	3247	5	20,96	17,02
310	-17,25	10,5	3247	6	21,80	25,12
310	-17,25	10,5	3247	7	18,32	28,84
310	-17,25	10,5	3247	8	17,49	33,25
310	-17,25	10,5	3247	9	15,91	33,87
310	-17,25	10,5	3247	10	13,93	37,72
311	-17,25	11,183	922	-1	2,64	1,70
311	-17,25	11,183	922	1	3,17	1,54
311	-17,25	11,183	922	2	3,37	2,00
311	-17,25	11,183	922	3	4,79	5,02
311	-17,25	11,183	922	4	5,98	8,64
311	-17,25	11,183	922	5	9,39	13,75
316	-17,25	10	3921	-1	1,83	2,11
316	-17,25	10	3921	1	5,21	9,68
316	-17,25	10	3921	2	5,42	7,10
316	-17,25	10	3921	3	6,75	5,88
316	-17,25	10	3921	4	9,74	9,50
316	-17,25	10	3921	5	10,86	13,60
316	-17,25	10	3921	6	11,63	16,25
316	-17,25	10	3921	7	10,65	20,66
316	-17,25	10	3921	8	9,04	23,52

Tabelle 3.1b: Die Tabelle zeigt die Fluxwerte der Nährstoffe Ammonium und Phosphat an den einzelnen Stationen. Des Weiteren sind die die Porosität, der Sauerstoffgehalt und die mittlere Korngröße (Median) angegeben.

Station	Latitude	Longitude	Wassertiefe [m]	Phosphat-Flux [$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$]	Ammonium-Flux [$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$]	Porosität [Φ]	Sauerstoff [$\mu\text{mol/l}$]	C _{org} [%]	Median Korngröße [μm]
224	-23,00	14,5	135	-141,52		0,94			250,2
225	-23,50	14	165	-58,19	-657,24	0,80			140,5
226	-23,51	13,508	228			0,91		10,55	156,7
228	-24,35	14,009	212			0,98			168,1
229	-24,52	14,336	120	-86,83	-469,24			1,29	505,1
230	-25,00	14	180			0,73			
231	-26,00	14,5	190	-134,01	-596,25		0,00	1,516	129,3
232	-26,67	15,517	39			0,98			
233	-26,67	14,533	180	-253,58	-518,05	0,80		4,00	1005,5
234	-26,67	14,417	325	-16,69	0,90	0,89			77,95
235	-26,67	14	417	-53,52		0,88	150,00	4,02	82,49
236	-26,67	13,5	1100	-4,96	-12,70	0,95	168,00	8,19	83,20
237	-26,00	13,55	750	-11,12	23,72	0,93	146,00	6,47	168,2
238	-25,00	13,336	1080	-3,81	56,13	0,89	164,00	3,68	89,73
239	-24,50	13,7	356						
240	-24,00	14	735	-9,77	-56,51	0,86	123,00	0,75	82,07
241	-23,00	11,75	2970	-1,92	-47,67	0,89	224,00	2,62	128,6
242	-23,00	12,5	1640	2,84	-19,47	0,89	194,00	3,85	80,57
243	-23,00	12,8	905			0,97	134,00	10,55	84,21
246	-23,00	13,5	410	-1,51	-17,70	0,80	93,00	2,60	132,0
250	-23,00	13,33	350	-1,95	-39,08	0,81	102,00	3,13	135,5
254	-23,00	13,667	155	-43,31	-119,84	0,78	5,00	3,62	315,4

Station	Latitude	Longitude	Wassertiefe [m]	Phosphat-Flux [$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$]	Ammonium-Flux [$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$]	Porosität [Φ]	Sauerstoff [$\mu\text{mol/l}$]	C _{org} [%]	Median Korngröße [μm]
264	-22,00	13,33	66	-472,18	-2185,06	0,94		5,89	148,9
266	-22,78	13,489	250			0,83			146,4
267	-22,17	13,188	205			0,83			154,6
268	-21,19	13,488	23	-9,30	170,81	0,49	86,00	0,32	73,92
269	-21,00	13,33	98	-359,77	-1418,69	0,95	39,00	9,63	150,4
270	-21,00	13,168	125			0,87			144,6
271	-21,00	12,834	296	3,30	1,72	0,87		8,41	127,2
272	-21,00	12,5	425	-32,13	-47,00	0,87	57,00	4,77	81,66
274	-20,00	11,834	408	-19,74	-47,72	0,86	38,00	5,38	84,46
275	-20,00	12,167	275			0,91			143,6
276	-20,00	12,5	153	-102,64	-886,46	0,94	2,00	6,82	138,6
277	-20,00	12,5	99			0,97			166,3
278	-20,00	13	30		-71,96	0,84	1,00	3,57	81,76
279	-19,00	12,451	35	-247,97	-729,91	0,76		1,59	74,70
292	-19,00	11,433	416	-44,33	-20,57	0,81	41,00	2,92	141,9
295	-19,00	11	1290	-92,28	-46,76	0,91	187,00	4,15	69,40
298	-19,00	10,5	2063	2,81	21,85	0,90	232,00	3,62	134,1
299	-18,50	11,417	436	-14,67	-1,43	0,82	40,00	3,19	84,28
300	-18,00	11,5	237			0,66			162,4
304	-17,25	11,717	35	-1346,11	-2636,06	0,87	60,00	2,66	157,5
305	-17,26	11,511	142	-531,53	-843,96	0,77	47,00	1,88	86,74
306	-17,25	11,292	500	-3,91	-19,64	0,66	43,00	1,20	81,86
307	-17,25	11,183	915			0,90			
308	-17,25	11	2103	-35,20	-275,01		293,00	3,05	78,12
309	-17,25	11,783	2939	-12,06		0,95	238,00	4,29	151,3
310	-17,25	10,5	3247	-3,79	-30,54	0,94	231,00	3,97	274,9
311	-17,25	11,183	922	-0,63	7,06	0,74	141,00	1,16	81,11
316	-17,25	10	3921	-18,85	-157,16	0,94			268,4

Tabelle 3.2: In der Tabelle sind die Ergebnisse der Wassersäulenuntersuchung aufgetragen. Die Werte für die Nährstoffkonzentration der Nährstoffe Ammonium und Phosphat wurden mit Hilfe eines Rosettenwasserschöpfers genommen und im Nachhinein im Labor analysiert. Die Sauerstoff- und Temperaturwerte wurden direkt in der Wassersäule mithilfe einer CTD Messsonde genommen.

Station	Longitude	Latitude	Wassertiefe [m]	Tiefe [m]	Temperatur [°C]	Salinität [µmol/l]	O ₂ [µmol/l]	Phosphat [µmol/l]	Ammonium [µmol/l]	N _{Total} [µmol/l]	N:P Verhältnis
222	14,05	-23	134	0	21,77	35,18		0,12	0,72	0,99	8,32
222	14,05	-23	134	0	21,76	35,18		0,12	0,53	0,80	6,60
222	14,05	-23	134	10	20,70	35,14		0,31	0,44	1,03	3,34
222	14,05	-23	134	10	20,30	35,16		0,31	0,40	1,00	3,26
222	14,05	-23	134	20	16,52	35,15		0,66	0,60	8,95	13,51
222	14,05	-23	134	20	16,51	35,15		0,70	0,63	9,29	13,29
222	14,05	-23	134	30	15,65	35,15		1,11	1,31	14,76	13,29
222	14,05	-23	134	30	15,62	35,15		1,16	1,26	15,05	13,03
222	14,05	-23	134	50	14,45	35,26		1,27	1,52	19,76	15,62
222	14,05	-23	134	50	14,45	35,26		1,33	1,02	19,46	14,59
222	14,05	-23	134	75	14,45	35,27		1,26	0,32	22,67	17,96
222	14,05	-23	134	75	13,74	35,29		1,40	0,34	23,73	16,98
222	14,05	-23	134	100	13,73	35,29		1,95	0,28	29,76	15,26
222	14,05	-23	134	100	13,17	35,26		2,05	0,31	30,50	14,91
222	14,05	-23	134	126	13,17	35,26		2,16	0,97	23,87	11,06
222	14,05	-23	134	126	13,05	35,26		2,25	1,00	24,32	10,80
225	14	-23,5	165	0	13,05	35,26		0,25	0,40	1,94	7,81
225	14	-23,5	165	0				0,27	0,38	1,55	5,76
225	14	-23,5	165	10				0,69	1,31	7,96	11,49
225	14	-23,5	165	10				0,75	1,35	8,31	11,01
225	14	-23,5	165	20				1,06	1,05	13,98	13,18
225	14	-23,5	165	20				1,12	1,04	14,37	12,84

Station	Longitude	Latitude	Wassertiefe [m]	Tiefe [m]	Temperatur [°C]	Salinität [μmol/l]	O ₂ [μmol/l]	Phosphat [μmol/l]	Ammonium [μmol/l]	N _{Total} [μmol/l]	N:P Verhältnis
225	14	-23,5	165	30				1,52	0,76	19,23	12,68
225	14	-23,5	165	50				1,36	0,55	19,52	14,31
225	14	-23,5	165	50				1,44	0,53	20,08	13,90
225	14	-23,5	165	75				1,49	0,31	23,41	15,73
225	14	-23,5	165	75				1,52	0,33	23,72	15,64
225	14	-23,5	165	100				1,49	0,29	24,14	16,20
225	14	-23,5	165	100				1,53	0,35	24,63	16,07
225	14	-23,5	165	160				2,76	1,06	22,68	8,22
225	14	-23,5	165	160				2,79	1,02	22,71	8,14
229	14,34	-24,51	120	0				0,37	0,61	2,45	6,61
229	14,34	-24,51	120	0				0,42	0,47	2,56	6,08
229	14,34	-24,51	120	10				0,67	0,35	7,35	11,03
229	14,34	-24,51	120	10				0,70	0,40	7,77	11,14
229	14,34	-24,51	120	50				1,46	0,26	18,81	12,92
229	14,34	-24,51	120	50				1,62	0,28	21,03	12,96
229	14,34	-24,51	120	112				1,68	0,72	19,81	11,77
229	14,34	-24,51	120	112				1,79	0,70	21,05	11,78
230	14	-25	180	0				0,78	0,30	4,90	6,30
230	14	-25	180	0				0,78	0,30	4,79	6,14
230	14	-25	180	10				0,62	0,29	4,58	7,42
230	14	-25	180	10				0,64	0,28	4,71	7,35
230	14	-25	180	50				1,29	0,29	19,18	14,90
230	14	-25	180	50				1,31	0,26	19,60	14,96
230	14	-25	180	170				2,52	0,29	24,57	9,73
230	14	-25	180	170				2,59	0,26	24,97	9,65
231	14,5	-26	190	0				0,74	0,26	5,25	7,06
231	14,5	-26	190	0				0,77	0,32	5,22	6,78
231	14,5	-26	190	10				0,78	0,32	4,91	6,29
231	14,5	-26	190	10				0,81	0,34	5,08	6,27

Station	Longitude	Latitude	Wassertiefe [m]	Tiefe [m]	Temperatur [°C]	Salinität [µmol/l]	O ₂ [µmol/l]	Phosphat [µmol/l]	Ammonium [µmol/l]	N _{Total} [µmol/l]	N:P Verhältnis
231	14,5	-26	190	180				3,36	0,23	23,11	6,87
231	14,5	-26	190	180				3,46	0,26	23,91	6,90
232	15,06	-26,667	200	0	13,62	35,14		2,74	0,73	12,43	4,53
232	15,06	-26,667	200	0	13,57	35,13		2,85	0,58	12,55	4,41
232	15,06	-26,667	200	10	12,73	35,15		2,05	0,54	10,06	4,92
232	15,06	-26,667	200	10	12,73	35,15		2,44	0,68	10,83	4,43
232	15,06	-26,667	200	20	12,50	35,15		2,05	0,25	7,82	3,83
232	15,06	-26,667	200	20	12,49	35,15		2,18	0,24	8,19	3,75
232	15,06	-26,667	200	30	12,48	35,15		2,24	0,37	7,74	3,46
232	15,06	-26,667	200	30	12,48	35,15		2,29	0,27	7,79	3,40
232	15,06	-26,667	200	35	12,47	35,15		1,96	0,20	6,43	3,28
232	15,06	-26,667	200	35	12,47	35,15		2,06	0,45	7,15	3,47
235	14	-26,67	417	0	17,41	35,10	251,95	0,43	0,60	3,75	8,78
235	14	-26,67	417	0	17,44	35,10	251,89	0,43	0,61	3,81	8,83
235	14	-26,67	417	10	16,28	35,09	245,03	0,51	0,73	4,90	9,54
235	14	-26,67	417	10	16,27	35,09	246,73	0,51	0,73	4,92	9,58
235	14	-26,67	417	20	15,10	35,10	230,43	0,80	1,04	8,47	10,58
235	14	-26,67	417	20	15,05	35,10	230,25	0,81	1,06	8,57	10,61
235	14	-26,67	417	30	14,42	35,15	219,42	0,89	0,86	10,37	11,61
235	14	-26,67	417	30	14,32	35,14	216,63	0,88	0,79	10,31	11,69
235	14	-26,67	417	50	13,41	35,10	193,82	1,08	0,42	14,04	12,99
235	14	-26,67	417	50	13,35	35,10	193,75	1,11	0,37	14,41	12,95
235	14	-26,67	417	75	12,75	35,07	172,16	0,90	0,36	11,78	13,07
235	14	-26,67	417	75	12,68	35,07	168,72	0,99	0,18	12,83	12,94
235	14	-26,67	417	100	12,36	35,06	183,47	0,94	0,32	12,89	13,68
235	14	-26,67	417	100	12,32	35,06	187,89	1,11	0,46	14,41	13,01
235	14	-26,67	417	410	7,02	34,55	132,32	1,27	0,18	20,10	15,84
235	14	-26,67	417	410	7,03	34,55	131,99	1,39	0,18	22,08	15,84
236	14,76	-26,67	1100	0				0,26	0,47	1,24	4,83

Station	Longitude	Latitude	Wassertiefe [m]	Tiefe [m]	Temperatur [°C]	Salinität [µmol/l]	O ₂ [µmol/l]	Phosphat [µmol/l]	Ammonium [µmol/l]	N _{Total} [µmol/l]	N:P Verhältnis
236	14,76	-26,67	1100	0				0,30	0,58	1,19	3,94
236	14,76	-26,67	1100	10	19,79	35,22	228,79	0,28	0,47	0,98	3,44
236	14,76	-26,67	1100	10	19,81	35,22	229,19	0,29	0,58	1,23	4,20
236	14,76	-26,67	1100	20	19,59	35,21	229,68	0,23	0,53	1,24	5,46
236	14,76	-26,67	1100	20	19,58	35,21	230,34	0,24	0,57	1,31	5,44
236	14,76	-26,67	1100	30	19,41	35,21	231,79	0,33	0,55	1,59	4,83
236	14,76	-26,67	1100	30	19,40	35,21	231,72	0,33	0,56	1,60	4,87
236	14,76	-26,67	1100	50	15,84	35,23	237,73	0,47	0,46	5,04	10,64
236	14,76	-26,67	1100	50	15,69	35,24	237,95	0,47	0,39	4,96	10,63
236	14,76	-26,67	1100	75	14,50	35,33	219,79	0,61	0,28	7,44	12,25
236	14,76	-26,67	1100	75	14,38	35,31	219,13	0,63	0,39	7,68	12,23
236	14,76	-26,67	1100	100	13,72	35,21	218,39	0,82	0,34	11,44	14,00
236	14,76	-26,67	1100	100	13,68	35,20	218,07	0,85	0,44	11,85	13,87
236	14,76	-26,67	1100	500	6,92	34,56	126,58	1,51	0,48	24,97	16,58
236	14,76	-26,67	1100	500	6,92	34,56	126,80	1,56	0,40	26,17	16,82
236	14,76	-26,67	1100	800	4,35	34,46	150,44	1,75	0,52	27,86	15,91
236	14,76	-26,67	1100	800	4,35	34,46	151,03	1,81	0,39	28,86	15,96
236	14,76	-26,67	1100	1060	3,60	34,52	168,47	1,85	0,56	27,30	14,76
236	14,76	-26,67	1100	1060	3,60	34,52	168,33	1,78	0,36	27,50	15,45
237	13,55	-26	750	0				0,26	0,29	1,42	5,53
237	13,55	-26	750	0				0,32	0,48	1,53	4,77
237	13,55	-26	750	30				0,42	0,99	2,64	6,32
237	13,55	-26	750	30				0,45	1,01	2,76	6,19
237	13,55	-26	750	735				1,39	0,33	22,13	15,97
237	13,55	-26	750	735				1,48	0,30	23,88	16,14
238	13,33	-25	1080	0				0,65	0,59	3,77	5,84
238	13,33	-25	1080	0				0,64	0,50	3,73	5,79
238	13,33	-25	1080	25				0,88	0,93	7,98	9,06
238	13,33	-25	1080	25				0,90	0,97	8,18	9,09

Station	Longitude	Latitude	Wassertiefe [m]	Tiefe [m]	Temperatur [°C]	Salinität [μmol/l]	O ₂ [μmol/l]	Phosphat [μmol/l]	Ammonium [μmol/l]	N _{Total} [μmol/l]	N:P Verhältnis
238	13,33	-25	1080	1072				1,51	0,35	24,48	16,21
238	13,33	-25	1080	1072				1,60	0,40	25,82	16,10
240	13,11	-24	735	0				0,36	0,45	2,15	5,99
240	13,11	-24	735	0				0,36	0,55	2,22	6,14
240	13,11	-24	735	45				0,92	0,37	10,89	11,83
240	13,11	-24	735	45				0,92	0,38	11,03	11,94
240	13,11	-24	735	733				0,95	0,31	24,73	25,92
240	13,11	-24	735	733				1,03	0,39	28,09	27,26
241	11,75	-23	2970	0	21,94	35,61	216,18	0,18	0,28	0,50	2,71
241	11,75	-23	2970	0	21,94	35,62	215,96	0,20	0,28	0,65	3,23
241	11,75	-23	2970	10	21,94	35,61	216,37	0,19	0,28	0,30	1,58
241	11,75	-23	2970	10	21,92	35,61	218,43	0,20	0,24	0,24	1,19
241	11,75	-23	2970	20	21,80	35,61	218,19	0,26	0,40	0,41	1,57
241	11,75	-23	2970	20	21,80	35,61	218,16	0,21	0,26	0,26	1,25
241	11,75	-23	2970	50	17,80	35,37	259,52	0,19	0,23	0,23	1,17
241	11,75	-23	2970	50	17,67	35,39	256,90	0,20	0,24	0,24	1,21
241	11,75	-23	2970	65	16,01	35,44	240,78	0,15	0,22	0,22	1,52
241	11,75	-23	2970	65	16,03	35,44	242,51	0,16	0,24	0,24	1,55
241	11,75	-23	2970	75	15,63	35,45	230,22	0,30	0,34	2,98	9,89
241	11,75	-23	2970	75	15,61	35,45	229,87	0,32	0,40	3,16	9,80
241	11,75	-23	2970	100	14,46	35,30	189,72	0,36	0,23	5,57	15,33
241	11,75	-23	2970	100	14,41	35,30	188,92	0,38	0,24	5,91	15,39
241	11,75	-23	2970	500	6,29	34,48	162,88	1,84	0,36	28,84	15,66
241	11,75	-23	2970	500	6,27	34,48	162,66	1,83	0,26	28,78	15,74
241	11,75	-23	2970	800	4,39	34,48	145,97	1,61	0,30	27,31	17,01
241	11,75	-23	2970	800	4,38	34,48	143,93	1,81	0,27	30,03	16,56
241	11,75	-23	2970	1000	3,75	34,54	164,74	0,94	0,27	25,44	26,96
241	11,75	-23	2970	1000	3,75	34,54	164,90	0,99	0,27	26,94	27,25
241	11,75	-23	2970	2000	3,15	34,90	217,76	1,05	0,25	18,27	17,40

Station	Longitude	Latitude	Wassertiefe [m]	Tiefe [m]	Temperatur [°C]	Salinität [μmol/l]	O ₂ [μmol/l]	Phosphat [μmol/l]	Ammonium [μmol/l]	N _{Total} [μmol/l]	N:P Verhältnis
241	11,75	-23	2970	2000	3,15	34,90	218,15	1,12	0,24	19,26	17,14
241	11,75	-23	2970	3012	2,52	34,89	221,89	0,69	0,28	18,22	26,52
241	11,75	-23	2970	3012	2,52	34,89	222,07	0,71	0,27	18,96	26,56
242	12,5	-23	1640	0	21,07	35,29	226,03	0,12	0,31	0,40	3,42
242	12,5	-23	1640	0	21,07	35,29	225,94	0,12	0,35	0,35	3,04
242	12,5	-23	1640	45	16,62	35,43	263,77	0,20	0,41	0,41	2,05
242	12,5	-23	1640	45	16,43	35,43	262,38	0,20	0,35	0,35	1,76
242	12,5	-23	1640	800	4,40	34,48	142,94	2,05	0,45	32,86	16,01
242	12,5	-23	1640	800	4,40	34,48	143,18	2,08	0,50	33,00	15,85
242	12,5	-23	1640	1683	3,47	34,88	201,43	1,22	0,31	19,28	15,76
242	12,5	-23	1640	1683	3,47	34,88	201,15	1,30	0,35	20,15	15,51
243	12,8	-23	905	0	20,36	35,23	247,38	0,23	0,25	0,25	1,12
243	12,8	-23	905	0	20,36	35,24	247,17	0,23	0,25	0,25	1,07
243	12,8	-23	905	28	18,32	35,33	263,62	0,32	0,28	0,75	2,37
243	12,8	-23	905	28	18,17	35,33	263,19	0,32	0,30	0,77	2,42
243	12,8	-23	905	500	6,55	34,57	87,44	1,43	0,47	24,32	17,01
243	12,8	-23	905	500	6,55	34,56	87,31	1,62	0,36	28,35	17,46
243	12,8	-23	905	902	4,32	34,48	145,92	2,01	0,35	31,27	15,55
243	12,8	-23	905	902	4,32	34,48	145,91	2,07	0,36	32,19	15,56
246	13,05	-23	410	0	20,23	35,21	238,08	0,36	0,33	1,83	5,07
246	13,05	-23	410	0	20,24	35,21	237,72	0,36	0,31	1,82	5,03
246	13,05	-23	410	40	17,18	35,29	214,36	1,06	0,34	13,21	12,46
246	13,05	-23	410	40	16,72	35,31	200,30	1,09	0,52	13,58	12,51
246	13,05	-23	410	402	7,96	34,66	93,14	1,45	0,40	24,99	17,29
246	13,05	-23	410	402	7,93	34,66	93,09	1,52	0,36	25,64	16,88
250	13,33	-23	350	0	19,71	35,19	241,97	0,23	0,27	1,54	6,69
250	13,33	-23	350	0	19,71	35,19	241,94	0,23	0,24	1,36	5,79
250	13,33	-23	350	10	19,71	35,19	242,19	0,36	0,32	1,62	4,55
250	13,33	-23	350	10	19,71	35,19	241,57	0,37	0,37	1,68	4,54

Station	Longitude	Latitude	Wassertiefe [m]	Tiefe [m]	Temperatur [°C]	Salinität [μmol/l]	O ₂ [μmol/l]	Phosphat [μmol/l]	Ammonium [μmol/l]	N _{Total} [μmol/l]	N:P Verhältnis
250	13,33	-23	350	20	18,66	35,25	237,16	0,52	0,40	4,13	7,97
250	13,33	-23	350	20	18,37	35,26	237,19	0,53	0,41	4,20	7,92
250	13,33	-23	350	30	17,23	35,30	232,28	0,67	0,74	6,62	9,86
250	13,33	-23	350	30	17,01	35,31	233,21	0,66	0,48	6,36	9,58
250	13,33	-23	350	50	15,81	35,38	190,84	0,59	0,27	10,58	18,01
250	13,33	-23	350	50	15,73	35,38	188,86	0,63	0,31	11,21	17,80
250	13,33	-23	350	75	15,05	35,36	171,89	0,95	0,29	13,60	14,29
250	13,33	-23	350	75	15,03	35,36	171,99	1,02	0,32	14,08	13,83
250	13,33	-23	350	250	11,15	35,03	47,54	0,55	0,28	8,47	15,41
250	13,33	-23	350	250	11,15	35,03	47,47	0,58	0,25	8,65	14,94
250	13,33	-23	350	347	8,83	34,74	95,91	2,15	0,29	30,91	14,41
250	13,33	-23	350	347	8,83	34,74	95,62	2,15	0,31	31,10	14,44
254	13,67	-23	155	0	20,15	35,22	240,14	0,26	0,40	0,80	3,06
254	13,67	-23	155	10	20,16	35,22	241,98	0,15	0,22	0,43	2,77
254	13,67	-23	155	10	20,16	35,22	242,02	0,17	0,37	0,61	3,50
254	13,67	-23	155	20	20,16	35,22	241,74	0,19	0,30	0,60	3,13
254	13,67	-23	155	20	20,15	35,22	242,42	0,24	0,57	0,99	4,12
254	13,67	-23	155	30	18,04	35,23	223,10	0,54	0,83	5,95	11,03
254	13,67	-23	155	30	17,88	35,23	222,14	0,56	0,71	6,01	10,76
254	13,67	-23	155	50	15,08	35,31	165,00	0,85	0,24	13,63	15,96
254	13,67	-23	155	50	14,99	35,31	160,78	0,89	0,43	14,25	16,00
254	13,67	-23	155	75	13,99	35,28	158,32	0,83	0,39	13,90	16,64
254	13,67	-23	155	75	13,99	35,28	158,17	0,86	0,26	14,08	16,39
254	13,67	-23	155	100	13,75	35,34	68,03	1,20	0,24	22,76	18,91
254	13,67	-23	155	100	13,74	35,34	68,19	1,27	0,27	23,52	18,50
266	13,4603	-22,702	250	0	20,62	35,23	238,34	0,37	0,54	2,36	6,35
266	13,4603	-22,702	250	0	20,63	35,23	238,79	0,34	0,47	1,70	4,98
266	13,4603	-22,702	250	10	20,60	35,23	238,91	0,35	0,66	2,24	6,49
266	13,4603	-22,702	250	10	20,62	35,23	239,86	0,33	0,46	2,01	6,15

Station	Longitude	Latitude	Wassertiefe [m]	Tiefe [m]	Temperatur [°C]	Salinität [μmol/l]	O ₂ [μmol/l]	Phosphat [μmol/l]	Ammonium [μmol/l]	N _{Total} [μmol/l]	N:P Verhältnis
266	13,4603	-22,702	250	20	18,54	35,24	225,18	0,62	0,81	6,50	10,43
266	13,4603	-22,702	250	20	18,22	35,24	220,85	0,63	0,97	6,74	10,65
266	13,4603	-22,702	250	30	16,94	35,25	204,62	0,77	0,97	10,09	13,05
266	13,4603	-22,702	250	30	16,76	35,25	204,28	0,77	0,96	10,09	13,03
266	13,4603	-22,702	250	50	15,30	35,32	180,82	0,94	0,46	13,76	14,61
266	13,4603	-22,702	250	50	15,14	35,33	180,18	0,94	0,47	13,80	14,70
266	13,4603	-22,702	250	100	13,55	35,31	39,56	2,01	0,51	30,74	15,28
266	13,4603	-22,702	250	100	13,54	35,31	39,58	2,02	0,51	30,92	15,33
266	13,4603	-22,702	250	240	11,90	35,13	20,18	2,47	0,56	28,52	11,56
266	13,4603	-22,702	250	240	11,89	35,13	19,96	2,47	0,65	28,61	11,57
266	13,4603	-22,702	250	75				1,07	1,07	13,68	12,80
266	13,4603	-22,702	250	75				1,19	0,95	14,18	11,92
267	13,18	22,208	205	200				0,91	0,40	17,05	18,80
267	13,18	22,208	205	200				0,92	0,45	17,36	18,82
268	13,49	-21,03	23	0	18,48	35,52	130,34	2,42	1,89	20,74	8,59
268	13,49	-21,03	23	0	18,55	35,52	133,91	2,43	1,85	20,81	8,56
268	13,49	-21,03	23	10	18,44	35,52	128,92	1,73	1,21	16,49	9,55
268	13,49	-21,03	23	10	18,34	35,53	127,57	1,77	1,23	16,85	9,54
268	13,49	-21,03	23	13	18,20	35,54	111,08	2,40	1,73	21,52	8,97
268	13,49	-21,03	23	13	18,12	35,55	107,11	2,41	1,64	21,56	8,96
269	13,33	-21	98	0	20,09	35,46	268,80	1,05	0,57	8,64	8,24
269	13,33	-21	98	0	20,07	35,46	270,04	1,06	0,58	8,52	8,07
269	13,33	-21	98	10	19,41	35,44	227,31	1,05	0,75	11,87	11,36
269	13,33	-21	98	10	19,28	35,43	215,59	1,07	0,74	12,06	11,29
269	13,33	-21	98	20	17,78	35,37	143,37	1,87	0,62	25,13	13,41
269	13,33	-21	98	20	17,55	35,37	135,73	1,86	0,66	25,09	13,51
269	13,33	-21	98	30	16,31	35,50	89,15	2,20	0,43	29,55	13,43
269	13,33	-21	98	30	16,30	35,51	80,75	2,25	0,48	30,07	13,38
269	13,33	-21	98	50	15,87	35,53	33,42	1,72	0,55	22,78	13,27

Station	Longitude	Latitude	Wassertiefe [m]	Tiefe [m]	Temperatur [°C]	Salinität [μmol/l]	O ₂ [μmol/l]	Phosphat [μmol/l]	Ammonium [μmol/l]	N _{Total} [μmol/l]	N:P Verhältnis
269	13,33	-21	98	50	15,86	35,53	33,00	1,78	0,57	23,60	13,24
269	13,33	-21	98	75	15,24	35,49	7,09	1,80	0,47	24,98	13,89
269	13,33	-21	98	75	15,22	35,49	7,61	1,84	0,48	25,65	13,91
269	13,33	-21	98	269				1,94	1,85	27,17	14,01
269	13,33	-21	98	269				1,96	1,89	27,45	14,00
271	12,83	-21	296	100	14,04	35,40	43,70	0,89	0,62	13,12	14,69
271	12,83	-21	296	100	13,98	35,39	41,01	0,84	0,29	12,65	15,03
272	12,5	-21	425	0	20,06	35,36	222,48	0,46	0,42	4,15	8,98
272	12,5	-21	425	0	20,11	35,37	223,48	0,50	0,43	4,48	9,00
272	12,5	-21	425	10	20,37	35,36	224,95	0,54	0,47	4,80	8,93
272	12,5	-21	425	10	20,44	35,35	226,34	0,54	0,46	4,81	8,94
272	12,5	-21	425	20	18,01	35,39	182,22	0,33	0,47	2,78	8,29
272	12,5	-21	425	20	17,84	35,40	184,54	0,35	0,44	2,79	8,05
272	12,5	-21	425	30	16,76	35,44	208,84	0,92	0,94	11,79	12,83
272	12,5	-21	425	30	16,75	35,44	209,07	0,99	0,90	12,59	12,75
272	12,5	-21	425	50	15,84	35,46	197,89	0,61	0,42	7,90	13,01
272	12,5	-21	425	50	15,83	35,46	199,01	0,64	0,41	8,31	12,94
272	12,5	-21	425	75	14,83	35,41	136,41	0,75	0,27	12,86	17,05
272	12,5	-21	425	75	14,81	35,40	136,27	0,84	0,28	14,08	16,69
272	12,5	-21	425	125	13,18	35,19	172,25	0,57	0,34	12,66	22,22
272	12,5	-21	425	125	13,18	35,18	171,65	0,61	0,37	13,12	21,38
272	12,5	-21	425	150	12,84	35,17	154,63	0,81	0,36	15,97	19,64
272	12,5	-21	425	150	12,84	35,17	153,31	0,86	0,44	16,65	19,47
272	12,5	-21	425	300	10,10	34,91	50,61	1,65	0,27	25,70	15,58
272	12,5	-21	425	300	10,06	34,91	50,20	1,84	0,32	28,22	15,32
272	12,5	-21	425	425	8,17	34,73	51,57	1,92	0,40	31,55	16,41
272	12,5	-21	425	425	8,16	34,72	51,96	2,02	0,44	32,82	16,26
273	12	20,5	410	403				1,35	0,34	23,87	17,66
273	12	20,5	410	403				1,54	0,41	27,08	17,58

Station	Longitude	Latitude	Wassertiefe [m]	Tiefe [m]	Temperatur [°C]	Salinität [μmol/l]	O ₂ [μmol/l]	Phosphat [μmol/l]	Ammonium [μmol/l]	N _{Total} [μmol/l]	N:P Verhältnis
274	11,83	-20	408	0				0,37	0,52	3,03	8,24
274	11,83	-20	408	0				0,38	0,52	2,93	7,74
274	11,83	-20	408	10				0,42	0,48	3,01	7,13
274	11,83	-20	408	10				0,43	0,52	3,09	7,16
274	11,83	-20	408	20				0,52	1,06	4,53	8,77
274	11,83	-20	408	20				0,54	1,01	4,59	8,53
274	11,83	-20	408	30				1,00	0,75	13,85	13,84
274	11,83	-20	408	30				1,05	0,75	14,34	13,65
274	11,83	-20	408	50				1,09	0,36	17,51	16,12
274	11,83	-20	408	50				1,16	0,41	18,68	16,16
274	11,83	-20	408	75				1,36	0,30	22,64	16,67
274	11,83	-20	408	75				1,48	0,32	24,23	16,36
274	11,83	-20	408	100				1,16	0,30	20,52	17,64
274	11,83	-20	408	100				1,27	0,32	22,28	17,52
274	11,83	-20	408	200				1,75	0,35	26,27	14,99
274	11,83	-20	408	200				1,82	0,34	27,03	14,89
274	11,83	-20	408	300				1,28	0,34	24,39	19,09
274	11,83	-20	408	300				1,50	0,33	27,27	18,17
275	12,167	-20	275	194				2,56	0,40	28,31	11,06
275	12,167	-20	275	149				2,57	0,40	28,60	11,14
276	12,5	-20	153	0				0,33	0,45	2,93	8,81
276	12,5	-20	153	0				0,34	0,37	2,27	6,69
276	12,5	-20	153	10				0,48	0,80	4,91	10,28
276	12,5	-20	153	10				0,51	0,40	4,66	9,17
276	12,5	-20	153	20				1,07	0,45	13,25	12,43
276	12,5	-20	153	20				1,07	0,40	13,36	12,51
276	12,5	-20	153	30				1,31	0,33	20,16	15,35
276	12,5	-20	153	30				1,39	0,36	21,07	15,15
276	12,5	-20	153	50				1,49	0,37	24,70	16,54

Station	Longitude	Latitude	Wassertiefe [m]	Tiefe [m]	Temperatur [°C]	Salinität [μmol/l]	O ₂ [μmol/l]	Phosphat [μmol/l]	Ammonium [μmol/l]	N _{Total} [μmol/l]	N:P Verhältnis
276	12,5	-20	153	50				1,62	0,40	25,70	15,84
276	12,5	-20	153	75				1,86	0,36	28,62	15,42
276	12,5	-20	153	75				1,94	0,38	29,10	14,97
276	12,5	-20	153	100				2,33	0,40	32,47	13,94
276	12,5	-20	153	100				2,35	0,43	32,60	13,88
276	12,5	-20	153	122				2,20	0,36	29,39	13,34
276	12,5	-20	153	122				2,30	0,36	29,55	12,83
278	13	-20	30	0				1,98	0,48	20,90	10,55
278	13	-20	30	0				2,10	0,44	21,30	10,14
278	13	-20	30	10				2,03	0,56	23,06	11,37
278	13	-20	30	10				2,14	0,67	23,75	11,10
278	13	-20	30	20				2,45	0,50	25,35	10,34
278	13	-20	30	20				2,61	0,48	26,09	9,99
278	13	-20	30	29				3,04	0,78	28,66	9,42
278	13	-20	30	29				3,07	0,79	28,87	9,41
279	12,45	-19	35	0	18,79	35,71	132,55	1,07	0,47	16,05	14,94
279	12,45	-19	35	0	18,80	35,71	132,72	1,12	0,44	16,56	14,78
279	12,45	-19	35	10	17,60	35,69	88,78	1,55	0,50	17,80	11,47
279	12,45	-19	35	10	17,30	35,69	88,78	1,72	0,49	19,64	11,42
279	12,45	-19	35	20	16,64	35,64	45,88	1,65	0,69	18,60	11,30
279	12,45	-19	35	20	16,54	35,63	26,15	1,83	0,69	20,49	11,21
279	12,45	-19	35	31	16,23	35,62	15,96	1,91	0,64	20,59	10,76
279	12,45	-19	35	31	16,23	35,61	15,58	2,04	0,72	21,97	10,77
282	12,25016	-18,999	113	0	19,78	35,69	235,89	0,72	0,42	7,23	9,98
282	12,25016	-18,999	113	0	19,67	35,69	225,75	0,73	0,44	7,52	10,27
282	12,25016	-18,999	113	10	19,35	35,67	203,81	0,82	0,43	7,86	9,63
282	12,25016	-18,999	113	10	19,22	35,67	204,24	0,86	0,38	8,11	9,47
282	12,25016	-18,999	113	20	17,90	35,63	152,38	0,83	0,34	13,20	15,82
282	12,25016	-18,999	113	20	17,75	35,64	151,99	0,87	0,34	13,70	15,72

Station	Longitude	Latitude	Wassertiefe [m]	Tiefe [m]	Temperatur [°C]	Salinität [μmol/l]	O ₂ [μmol/l]	Phosphat [μmol/l]	Ammonium [μmol/l]	N _{Total} [μmol/l]	N:P Verhältnis
282	12,25016	-18,999	113	30	17,52	35,63	146,53	0,83	0,47	11,79	14,21
282	12,25016	-18,999	113	30	17,33	35,62	146,00	0,82	0,24	12,42	15,11
282	12,25016	-18,999	113	50	17,05	35,68	112,93	1,28	0,36	18,54	14,53
282	12,25016	-18,999	113	50	17,03	35,68	111,97	1,37	0,34	19,48	14,23
282	12,25016	-18,999	113	75	16,23	35,64	64,74	1,32	0,30	19,54	14,77
282	12,25016	-18,999	113	75	16,18	35,64	64,90	1,42	0,42	20,21	14,25
282	12,25016	-18,999	113	105	14,72	35,49	4,95	2,11	0,95	22,54	10,66
282	12,25016	-18,999	113	105	14,73	35,49	5,13	2,06	0,74	22,95	11,16
285	12,0002	-19	211	0	21,02	35,72	226,89	0,67	0,66	7,65	11,39
285	12,0002	-19	211	0	21,05	35,71	228,55	0,70	0,58	7,77	11,08
285	12,0002	-19	211	10	20,92	35,72	229,79	0,59	0,44	7,23	12,36
285	12,0002	-19	211	10	20,75	35,72	226,05	0,60	0,45	7,32	12,19
285	12,0002	-19	211	20	19,56	35,72	184,69	0,84	0,75	7,99	9,56
285	12,0002	-19	211	20	19,51	35,72	183,49	0,79	0,50	7,53	9,53
285	12,0002	-19	211	30	17,91	35,71	126,00	1,09	0,38	18,20	16,71
285	12,0002	-19	211	30	17,85	35,71	124,56	1,19	0,38	18,99	15,95
285	12,0002	-19	211	50	17,00	35,68	99,83	1,65	0,46	24,77	14,98
285	12,0002	-19	211	50	16,97	35,67	94,65	1,68	0,42	24,99	14,87
285	12,0002	-19	211	75	16,20	35,64	53,67	1,32	0,38	23,32	17,69
285	12,0002	-19	211	75	16,21	35,64	53,27	1,35	0,39	23,50	17,36
285	12,0002	-19	211	100	15,37	35,57	34,09	1,77	0,38	26,96	15,23
285	12,0002	-19	211	100	15,34	35,56	34,92	1,83	0,37	27,36	14,92
285	12,0002	-19	211	125	14,50	35,46	30,05	1,54	0,35	25,84	16,73
285	12,0002	-19	211	125	14,48	35,46	30,54	1,71	0,33	26,77	15,69
285	12,0002	-19	211	150	14,04	35,41	25,94	1,66	0,29	27,19	16,40
285	12,0002	-19	211	150	14,02	35,40	26,82	1,73	0,28	27,64	15,96
285	12,0002	-19	211	200	12,66	35,23	8,78	2,03	0,32	27,49	13,53
285	12,0002	-19	211	200	12,64	35,23	8,00	2,14	0,38	28,34	13,22
292	11,43	-19	416	0	23,47	35,94	235,29	0,14	0,42	0,94	6,59

Station	Longitude	Latitude	Wassertiefe [m]	Tiefe [m]	Temperatur [°C]	Salinität [µmol/l]	O ₂ [µmol/l]	Phosphat [µmol/l]	Ammonium [µmol/l]	N _{Total} [µmol/l]	N:P Verhältnis
292	11,43	-19	416	0	23,47	35,94	234,77	0,14	0,39	0,41	2,90
292	11,43	-19	416	10	23,41	35,94	233,08	0,14	0,38	0,38	2,72
292	11,43	-19	416	10	23,44	35,93	231,71	0,14	0,37	0,37	2,76
292	11,43	-19	416	20	22,99	35,88	228,22	0,16	0,34	0,34	2,07
292	11,43	-19	416	20	22,77	35,87	225,07	0,17	0,35	0,35	2,03
292	11,43	-19	416	30	21,84	35,80	224,99	0,20	0,37	0,37	1,85
292	11,43	-19	416	30	21,26	35,79	219,96	0,21	0,45	0,48	2,26
292	11,43	-19	416	50	18,22	35,72	165,78	0,95	0,27	14,36	15,14
292	11,43	-19	416	50	18,20	35,72	165,56	1,08	0,29	15,42	14,33
292	11,43	-19	416	75	16,94	35,74	108,05	1,26	0,31	20,10	15,92
292	11,43	-19	416	75	16,88	35,74	108,35	1,32	0,42	20,72	15,67
292	11,43	-19	416	100	15,06	35,51	90,58	1,29	0,27	21,72	16,89
292	11,43	-19	416	100	15,06	35,51	91,17	1,38	0,32	22,44	16,21
292	11,43	-19	416	125	13,57	35,28	116,13	0,88	0,38	20,46	23,14
292	11,43	-19	416	125	13,56	35,27	116,24	0,93	0,43	21,06	22,57
292	11,43	-19	416	150	13,18	35,25	81,55	1,26	0,34	23,47	18,66
292	11,43	-19	416	150	13,19	35,25	80,30	1,34	0,34	24,20	18,00
292	11,43	-19	416	200	11,88	35,06	119,60	0,87	0,34	20,78	23,78
292	11,43	-19	416	200	11,89	35,06	116,64	0,94	0,33	21,72	23,01
292	11,43	-19	416	300	10,62	34,97	24,62	1,72	0,43	35,97	20,91
292	11,43	-19	416	300	10,61	34,97	24,27	1,73	0,39	35,97	20,78
292	11,43	-19	416	415	8,78	34,77	41,02	1,73	0,33	33,20	19,18
292	11,43	-19	416	415	8,81	34,77	40,75	1,79	0,28	33,32	18,63
295	11	-19	1290	0	23,68	35,95	230,23	0,17	0,40	0,36	2,11
295	11	-19	1290	0	23,66	35,95	230,63	0,17	0,42	0,38	2,20
295	11	-19	1290	10	23,65	35,95	231,62	0,14	0,40	0,35	2,48
295	11	-19	1290	10	23,65	35,95	230,28	0,21	0,60	0,62	3,01
295	11	-19	1290	20	23,65	35,95	231,07	0,15	0,38	0,33	2,26
295	11	-19	1290	20	23,65	35,95	230,84	0,15	0,37	0,37	2,49

Station	Longitude	Latitude	Wassertiefe [m]	Tiefe [m]	Temperatur [°C]	Salinität [µmol/l]	O ₂ [µmol/l]	Phosphat [µmol/l]	Ammonium [µmol/l]	N _{Total} [µmol/l]	N:P Verhältnis
295	11	-19	1290	30	22,10	35,82	230,23	0,74	2,11	10,31	13,88
295	11	-19	1290	30	20,10	35,74	227,47	0,79	1,77	9,84	12,45
295	11	-19	1290	50	17,09	35,69	163,90	0,98	0,80	12,94	13,20
295	11	-19	1290	50	17,07	35,68	160,80	1,02	0,41	13,22	12,92
295	11	-19	1290	75	16,04	35,62	114,55	1,51	0,29	21,59	14,26
295	11	-19	1290	75	16,03	35,62	113,76	1,52	0,29	21,99	14,48
295	11	-19	1290	100	14,93	35,47	113,71	1,33	0,34	21,45	16,08
295	11	-19	1290	100	14,93	35,47	113,99	1,95	0,74	22,62	11,58
295	11	-19	1290	500	7,26	34,64	58,12	1,96	0,24	35,87	18,26
295	11	-19	1290	500	7,25	34,64	58,03	2,30	0,27	38,47	16,76
295	11	-19	1290	800	4,72	34,48	129,46	2,14	2,62	37,01	17,33
295	11	-19	1290	800	4,72	34,48	129,82	2,46	0,76	36,37	14,76
295	11	-19	1290	1000	4,07	34,53	148,57	2,42	0,31	35,17	14,53
295	11	-19	1290	1000	4,07	34,53	148,88	2,41	0,29	35,15	14,57
295	11	-19	1290	1295	3,68	34,64	172,87	2,01	0,33	30,18	14,99
295	11	-19	1290	1295	3,68	34,64	172,94	2,12	0,32	30,80	14,53
298	10,5	-19	2063	0	23,81	35,84	226,23	0,12	0,27	1,17	9,76
298	10,5	-19	2063	0	23,81	35,84	226,42	0,12	0,33	0,38	3,12
298	10,5	-19	2063	10	23,81	35,83	227,04	0,15	0,34	0,38	2,63
298	10,5	-19	2063	10	23,81	35,84	226,39	0,15	0,28	0,25	1,68
298	10,5	-19	2063	20	23,81	35,84	227,06	0,16	0,28	0,27	1,71
298	10,5	-19	2063	20				0,17	0,36	0,33	2,00
298	10,5	-19	2063	30	22,26	35,82	238,95	0,23	0,39	0,75	3,33
298	10,5	-19	2063	30	21,81	35,81	254,46	0,18	0,31	0,32	1,75
298	10,5	-19	2063	50	18,55	35,68	209,46	0,67	0,98	7,98	11,89
298	10,5	-19	2063	50	18,40	35,67	208,62	0,64	0,20	7,66	12,03
298	10,5	-19	2063	75	17,31	35,69	204,54	0,64	0,27	9,20	14,47
298	10,5	-19	2063	75	17,18	35,66	203,96	0,67	0,27	9,55	14,25
298	10,5	-19	2063	100	15,81	35,54	133,40	1,36	0,67	20,91	15,42

Station	Longitude	Latitude	Wassertiefe [m]	Tiefe [m]	Temperatur [°C]	Salinität [μmol/l]	O ₂ [μmol/l]	Phosphat [μmol/l]	Ammonium [μmol/l]	N _{Total} [μmol/l]	N:P Verhältnis
298	10,5	-19	2063	100	15,76	35,53	131,91	1,32	0,27	21,32	16,19
298	10,5	-19	2063	500	7,47	34,66	51,65	1,89	0,45	33,39	17,67
298	10,5	-19	2063	500	7,45	34,65	52,09	1,97	0,27	34,80	17,62
298	10,5	-19	2063	800	4,68	34,47	133,48	2,47	0,33	36,99	14,96
298	10,5	-19	2063	800	4,67	34,47	133,42	2,47	0,30	37,04	14,99
298	10,5	-19	2063	1000	4,03	34,53	153,64	1,61	0,26	27,56	17,08
298	10,5	-19	2063	1000	4,02	34,53	153,80	1,67	0,26	28,14	16,83
298	10,5	-19	2063	2065	3,34	34,91	223,71	1,18	0,28	20,66	17,54
298	10,5	-19	2063	2065	3,34	34,91	223,32	1,21	0,30	20,92	17,32
300	11,5	-18	273	0				0,16	0,48	2,36	15,19
300	11,5	-18	273	0				0,16	0,48	2,44	15,21
300	11,5	-18	273	10				0,27	0,54	4,50	16,46
300	11,5	-18	273	10				0,28	0,57	4,72	16,88
300	11,5	-18	273	20				0,45	0,72	6,16	13,73
300	11,5	-18	273	20				0,48	0,73	6,49	13,48
300	11,5	-18	273	30				0,45	0,63	6,44	14,43
300	11,5	-18	273	30				0,48	0,63	6,73	13,90
300	11,5	-18	273	50				0,78	0,55	12,48	15,92
300	11,5	-18	273	50				0,86	0,60	13,43	15,68
300	11,5	-18	273	75				1,24	0,30	21,10	16,98
300	11,5	-18	273	75				1,31	0,33	22,07	16,80
300	11,5	-18	273	100				1,20	0,24	21,89	18,21
300	11,5	-18	273	100				1,31	0,27	23,19	17,71
300	11,5	-18	273	125				1,32	0,30	22,70	17,22
300	11,5	-18	273	125				1,48	0,59	23,80	16,13
300	11,5	-18	273	150				1,08	0,24	25,46	23,56
300	11,5	-18	273	150				1,09	0,26	25,88	23,65
300	11,5	-18	273	236				1,45	0,30	26,22	18,07
300	11,5	-18	273	236				1,47	0,25	26,54	18,04

Station	Longitude	Latitude	Wassertiefe [m]	Tiefe [m]	Temperatur [°C]	Salinität [μmol/l]	O ₂ [μmol/l]	Phosphat [μmol/l]	Ammonium [μmol/l]	N _{Total} [μmol/l]	N:P Verhältnis
304	11,72	-17,25	35	0	18,16	35,75	116,02	0,76	0,58	14,59	19,15
304	11,72	-17,25	35	0	18,18	35,75	118,82	0,78	0,53	15,13	19,51
304	11,72	-17,25	35	10	18,18	35,75	120,15	0,97	0,55	14,04	14,48
304	11,72	-17,25	35	10	18,16	35,75	119,34	0,99	0,48	14,29	14,47
304	11,72	-17,25	35	20	17,54	35,74	79,88	0,60	0,36	16,48	27,33
304	11,72	-17,25	35	20	17,52	35,74	78,08	0,64	0,38	17,20	27,00
304	11,72	-17,25	35	30	17,01	35,72	53,54	1,51	0,56	21,27	14,07
304	11,72	-17,25	35	30	17,00	35,72	49,85	1,63	0,59	22,32	13,69
305	11,51	-17,25	142	0	20,66	35,92	208,78	0,37	0,97	5,89	16,06
305	11,51	-17,25	142	0	20,66	35,92	209,22	0,38	0,96	5,41	14,32
305	11,51	-17,25	142	10	20,66	35,92	209,55	0,59	0,96	5,63	9,62
305	11,51	-17,25	142	10	20,66	35,92	209,60	0,60	1,10	5,81	9,75
305	11,51	-17,25	142	20	20,65	35,92	210,03	0,71	1,04	11,00	15,60
305	11,51	-17,25	142	20	20,64	35,92	209,35	0,71	1,10	11,12	15,74
305	11,51	-17,25	142	30	19,41	35,90	149,27	0,71	0,87	9,54	13,50
305	11,51	-17,25	142	30	19,43	35,90	158,67	0,72	0,84	9,65	13,44
305	11,51	-17,25	142	50	16,64	35,78	96,84	1,00	0,44	17,17	17,24
305	11,51	-17,25	142	50	16,57	35,77	90,72	1,11	0,56	18,48	16,65
305	11,51	-17,25	142	75	15,27	35,58	42,48	0,82	0,25	18,02	22,09
305	11,51	-17,25	142	75	15,27	35,57	42,30	0,87	0,42	19,74	22,66
305	11,51	-17,25	142	100	15,07	35,55	44,80	1,09	0,31	23,52	21,50
305	11,51	-17,25	142	100	15,02	35,54	44,88	1,11	0,28	24,03	21,61
305	11,51	-17,25	142	125	14,87	35,52	38,45	1,11	0,32	20,68	18,59
305	11,51	-17,25	142	125	14,87	35,52	38,61	1,16	0,30	21,34	18,43
305	11,51	-17,25	142	141	14,61	35,49	34,29	0,76	0,37	18,46	24,19
305	11,51	-17,25	142	141	14,63	35,49	34,59	0,92	0,38	22,10	23,91
306	11,29	-17,25	500	0	23,14	36,01	231,05	0,20	0,76	2,18	10,72
306	11,29	-17,25	500	0	23,14	36,01	231,18	0,13	0,51	1,13	8,80
306	11,29	-17,25	500	10	23,15	36,01	232,01	0,17	0,50	1,14	6,74

Station	Longitude	Latitude	Wassertiefe [m]	Tiefe [m]	Temperatur [°C]	Salinität [μmol/l]	O ₂ [μmol/l]	Phosphat [μmol/l]	Ammonium [μmol/l]	N _{Total} [μmol/l]	N:P Verhältnis
306	11,29	-17,25	500	10	23,15	36,01	232,77	0,17	0,46	1,10	6,40
306	11,29	-17,25	500	20	23,13	36,01	232,93	0,20	0,52	1,39	7,10
306	11,29	-17,25	500	20	23,13	36,01	232,61	0,25	0,81	1,79	7,29
306	11,29	-17,25	500	30	22,06	36,00	233,60	0,34	0,98	3,31	9,83
306	11,29	-17,25	500	30	21,68	35,97	223,03	0,39	0,96	3,47	8,81
306	11,29	-17,25	500	50	18,89	35,94	140,82	0,59	0,95	8,29	13,99
306	11,29	-17,25	500	50	18,91	35,94	142,37	0,64	0,95	8,93	13,94
306	11,29	-17,25	500	75	16,71	35,78	80,90	0,68	0,52	15,22	22,23
306	11,29	-17,25	500	75	16,58	35,76	86,98	0,71	0,55	15,96	22,51
306	11,29	-17,25	500	100	15,17	35,57	54,68	0,90	0,42	21,70	24,19
306	11,29	-17,25	500	100	15,17	35,57	54,85	0,91	0,42	22,33	24,49
306	11,29	-17,25	500	150	14,38	35,46	42,05	1,18	0,38	23,60	20,01
306	11,29	-17,25	500	150	14,41	35,47	42,34	1,30	0,38	24,88	19,16
306	11,29	-17,25	500	200	13,49	35,35	31,50	0,95	0,40	25,60	26,99
306	11,29	-17,25	500	200	13,48	35,35	31,49	0,99	0,42	26,44	26,80
306	11,29	-17,25	500	300	12,19	35,18	30,16	1,36	0,45	25,55	18,75
306	11,29	-17,25	500	300	12,18	35,17	30,01	1,44	0,45	26,54	18,40
306	11,29	-17,25	500	500	7,69	34,68	50,08	2,09	0,41	34,87	16,68
306	11,29	-17,25	500	500	7,69	34,68	50,04	2,23	0,47	36,80	16,53
308	11	-17,25	2143	0	23,97	36,02	223,66	0,30	1,08	2,02	6,68
308	11	-17,25	2143	0	23,97	36,02	223,75	0,18	0,44	0,73	3,98
308	11	-17,25	2143	10	23,97	36,02	223,36	0,14	0,43	0,67	4,63
308	11	-17,25	2143	10	23,89	36,02	223,63	0,15	0,46	0,69	4,63
308	11	-17,25	2143	20	23,08	36,02	225,42	0,27	0,59	1,37	5,12
308	11	-17,25	2143	20	22,97	36,02	225,89	0,24	0,44	1,19	5,03
308	11	-17,25	2143	30	21,71	35,86	244,72	0,48	0,89	3,74	7,86
308	11	-17,25	2143	30	21,60	35,89	240,00	0,69	1,54	4,59	6,70
308	11	-17,25	2143	50	18,46	35,85	116,78	1,44	0,45	18,71	13,01

Station	Longitude	Latitude	Wassertiefe [m]	Tiefe [m]	Temperatur [°C]	Salinität [μmol/l]	O ₂ [μmol/l]	Phosphat [μmol/l]	Ammonium [μmol/l]	N _{Total} [μmol/l]	N:P Verhältnis
308	11	-17,25	2143	75	16,24	35,67	40,76	1,70	0,52	23,65	13,89
308	11	-17,25	2143	75	16,22	35,67	42,27	1,69	0,49	23,84	14,10
308	11	-17,25	2143	100	15,61	35,61	34,94	1,75	0,46	24,81	14,18
308	11	-17,25	2143	100	15,58	35,60	35,18	1,75	0,46	24,87	14,24
308	11	-17,25	2143	500	7,57	34,67	44,38	2,22	0,31	34,86	15,73
308	11	-17,25	2143	500	7,56	34,67	44,82	2,32	0,32	35,15	15,15
308	11	-17,25	2143	800	4,82	34,48	123,11	3,98	0,40	33,46	8,41
308	11	-17,25	2143	800	4,82	34,48	123,26	2,47	0,35	33,32	13,49
308	11	-17,25	2143	1000	4,01	34,54	151,56	1,72	0,38	30,93	17,99
308	11	-17,25	2143	1000	4,01	34,54	151,75	1,73	0,36	30,90	17,86
308	11	-17,25	2143	2140	3,19	34,91	226,78	1,56	0,45	21,11	13,57
308	11	-17,25	2143	2140	3,19	34,91	226,53	1,57	0,43	20,83	13,28