

# **Partikelflussuntersuchungen am Kontinentalhang im Benguela-Auftriebsgebiet vor Namibia**

**Institut für Geologie  
Universität Hamburg**

**Bachelorarbeit von  
Maria-Elena Vorrath**

**Betreuer: Dr. Niko Lahajnar und Prof. Dr. Kay-Christian Emeis**

**Bearbeitungszeitraum: 21.05. bis 22.10.2014  
Eingereicht am 20.10.2014**

## **Zusammenfassung**

Im Rahmen des GENUS Projektes wurde die Rolle des namibischen Kontinentalhangs bezüglich vertikaler Stofftransporte und biologischer Pumpe am Rande des Benguela-Auftriebsgebietes anhand einer Partikelflussstudie untersucht. Proben eines Sinkstofffallensystems, das von Januar bis Dezember 2013 in 1518 m Tiefe auf 23° S verankert war, wurden biogeochemischen Analysen zu Hauptkomponenten und Aminosäuren unterzogen und unter Berücksichtigung von Satellitendaten ausgewertet.

Der Gesamtpartikelfluss von  $84,5 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$  ist innerhalb eines Jahres durch zwei Ereignisse, dem Küsten- und dem Ozeanauftrieb, bestimmt. Die Karbonat dominierte Partikelzusammensetzung ( $\text{CaCO}_3$ : 62%) wird nur während des Küstenauftriebs im Südfrühling von Silikatschalern signifikant angereichert (19%), organische Masse (10%) und lithogenes Material (9%) sind niedrig. Die Wirkung der biologischen Pumpe ist gering, trotz der hohen Exportrate von  $54,3 \text{ g C}_{\text{org}} \text{ m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$  gegenüber dem Schelf ( $44,8 \text{ g C}_{\text{org}} \text{ m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ), und ähnelt vergleichbaren Kontinentalhangregionen. Das Absinken der mäßig degradierten, hauptsächlich vertikal eingetragenen Sinkstoffe, wird durch starke Remineralisierung verzögert.

Trotz der Entfernung zur Küste und geringerer Akkumulations- und Gesamtflussraten gegenüber dem Schelf, leistet der Kontinentalhang unter Einfluss des Küstenauftriebs einen nicht unerheblichen Beitrag zum Stofffluss im Auftriebsgebiet.

## **Abstract**

As a part of the GENUS project, the effect of the Namibian continental slope on vertical particle flux and the biological pump is examined with a sediment trap study. Located at a latitude of 23° S in the Benguela Upwelling system samples were collected at a depth of 1518 m from January till December 2013 and analyzed on bulk components and amino acids according to satellite data.

The bimodal pattern of the total particle flux is found to be  $84,5 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ , evoked by coastal and oceanic upwelling and dominated by calcareous plankton ( $\text{CaCO}_3$ : 62%). The biogenic opal (19%) increases only during the coastal upwelling season, organic matter (10%) and lithogenic materials (9%) stay little throughout the year. Typical for the continental slope area the effect of the biological pump is low although the export rate of  $54,3 \text{ g C}_{\text{org}} \text{ m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$  is higher than on the shelf ( $44,8 \text{ g C}_{\text{org}} \text{ m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ). The main flux is found to be from vertical input and due to strong mineralization the sinking process of the moderate degraded particles is delayed.

Even if the continental slope is far off the coast it makes a considerable budget in the particle flux in this upwelling region though the accumulation and flux rates are smaller.

# Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	2
Abstract .....	3
Abkürzungen und Symbole .....	5
Abbildungsverzeichnis.....	6
1 Einleitung.....	8
1.1 Partikelfluss in der Wassersäule .....	8
1.2 Auftrieb.....	11
1.3 Die biologische Pumpe .....	12
1.4 Das Untersuchungsgebiet .....	13
1.5 Ziel der Arbeit .....	16
2 Methoden.....	17
2.1 Sinkstofffalle.....	18
2.2 Strömungs- und Temperaturmesser .....	20
2.3 Laboranalysen .....	20
3 Ergebnisse .....	24
3.1 Partikelfluss der Hauptkomponenten .....	24
3.2 Partikelfluss der Aminosäuren .....	27
3.3 Aminosäuren an benachbarten Standorten .....	30
3.4 Physikalische und biologische Rahmenbedingungen während des Untersuchungszeitraums .....	31
4 Diskussion.....	36
4.1 Partikelfluss und ozeanographische Parameter.....	36
4.2 Biogeochemische Zusammensetzung .....	38
4.3 Vertikaler und lateraler Partikelfluss .....	40
4.4 Regionaler Vergleich der Partikelflüsse .....	42
5 Zusammenfassung.....	48
6 Literatur.....	50
Verzeichnis der verwendeten Internetadressen.....	53
Anhang.....	54
Erklärung zur Selbstständigkeit.....	68

## Abkürzungen und Symbole

AA	Amino Acid	Aminosäure
AAIW	Antarctic Intermediate Water	Antarktisches Zwischenwasser
AS	Amino Sugar	Aminozucker
BBL	Benthic Boundary Layer	bodennahe Grenzschicht
BCC	Benguela Coastal Current	Benguela-Küstenströmung
BNL	Benthic Nepheloid Layer	bodennahe Nepheloid-Schicht
BOC	Benguela Oceanic Current	Benguela-Ozeanströmung
EBUE	Eastern Boundary Upwelling Ecosystem	Ökosystem im Auftriebsgebiet am östlichen Ozeanrand
ESACW	Eastern South Atlantic Central Water	Südostatlantisches Zentralwasser
INL	Intermediate Nepheloid Layer	intermediäre Nepheloid-Schicht
NADW	North Atlantic Deep Water	Nordatlantisches Tiefenwasser
OM	Organic Matter	Organische Masse
OMZ	Oxygen Minimum Zone	Sauerstoffminimumzone
POC	Particulate Organic Carbon	partikulärer, organischer Kohlenstoff
POM	Particulate Organic Matter	partikuläre, organische Masse
SACW	South Atlantic Central Water	Südatlantisches Zentralwasser

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Jährliche POC-Flussrate durch vertikalen und lateralen Eintrag .....	10
Abbildung 1-2: Darstellung der Ekman-Spirale .....	11
Abbildung 1-3: Schematische Darstellung des Küstenauftriebs .....	12
Abbildung 1-4: Schema der biologischen Pumpe.....	13
Abbildung 1-5: Topographische Übersichtskarte der Küste Namibias.....	14
Abbildung 1-6: Das Benguela Auftriebssystem .....	15
Abbildung 2-1: Position der Sinkstofffalle im Untersuchungsgebiet .....	17
Abbildung 2-2: Schematischer Aufbau der Sinkstofffallenverankerung West 01.....	18
Abbildung 2-3: Neigungswinkel des Strömungsmessers im Jahresverlauf. ....	20
Abbildung 3-1: Gesamtpartikelfluss im Untersuchungsgebiet .....	25
Abbildung 3-2: Einzelne Flussraten der vier Hauptkomponenten im Jahresverlauf .....	26
Abbildung 3-3: C/N, CaCO <sub>3</sub> /Opal und C <sub>org</sub> /C <sub>carb</sub> -Verhältnisse im direkten Vergleich.....	26
Abbildung 3-4: Partikelflussraten von Aminosäuren (AA) und –zuckern (AS) .....	27
Abbildung 3-5: Analysen der einzelnen Aminosäuren und –zucker .....	28
Abbildung 3-6: Vergleich der Konzentrationen von Aminosäuren und -zuckern mit dem Anteil des organischen Kohlenstoffs .....	29
Abbildung 3-7: Verhältnisse AA/AS und Gluam/Galam im Jahresverlauf.....	29
Abbildung 3-8: Reaktivitäts- und Degradationsindex im Jahresverlauf. ....	30
Abbildung 3-9: Stickplotdiagramm der Strömungsrichtung und –geschwindigkeiten .....	31
Abbildung 3-10: Temperaturverlauf an der Sinkstofffalle .....	31
Abbildung 3-11: Oberflächentemperatur und Windgeschwindigkeit .....	32
Abbildung 3-12: Stickplotdiagramm des Windes im Untersuchungsgebiet .....	32
Abbildung 3-13: Konzentrationen von POC und Chlorophyll- $\alpha$ .....	33
Abbildung 3-14: Kombination von Oberflächentemperatur, Windgeschwindigkeit und Primärproduktion im Untersuchungsgebiet.....	34
Abbildung 4-1: Vergleich von Gesamtpartikelfluss und Windgeschwindigkeit .....	37
Abbildung 4-2: Vergleich von Gesamtpartikelfluss und regionaler Primärproduktion .....	38
Abbildung 4-3: Schematisches Profil vom 23°-Transekt mit RI und DI .....	41
Abbildung 4-4: Übersichtskarte mit den Positionen der vier Sinkstofffallen NU 2, West #01, WR 2 und East #03.....	42
Abbildung 4-5: Tortendiagramm der prozentualen Zusammensetzung der Sinkstofffallenproben .....	44
Abbildung 4-6: Menge und saisonale Verteilung des Gesamtpartikelflusses der vier Sinkstofffallen im Benguela-Auftriebsgebiet.....	47

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 2-1: Übersicht der Cupintervalle der Sinkstofffalle WBST West #01 .....	19
Tabelle 2-2: Im Analyseverfahren gemessene Aminosäuren und –zucker .....	23
Tabelle 3-1: Übersicht des Partikelflusses und dessen Einzelbestandteile.....	24
Tabelle 3-2: RI und DI auf dem 23°-Transekt .....	30
Tabelle 3-3: Minima und Maxima der Chlorophyll- $\alpha$ - und POC-Konzentration .....	33
Tabelle 4-1: Angaben der vier Sinkstofffallen mit Koordinaten, Beprobungszeitraum, Intervallen, sowie Trichter- und Wassertiefe .....	43
Tabelle 4-2: Gesamtpartikelfluss und dessen Einzelkomponenten aller vier Sinkstofffallen .....	43
Tabelle 4-3: Berechnung der Primärproduktion und Exportrate aus dem Partikelfluss der vier Sinkstofffallen .....	45

# 1 Einleitung

Die Stoffflüsse der Geosphäre sind ein wichtiger Bestandteil des Erdsystems hinsichtlich Verteilung und Transport von chemischen Elementen. Neben physikalischen, chemischen und biologischen Prozessen beeinflusst auch der Mensch zunehmend Intensität und Art dieser Kreisläufe. Bei der Betrachtung des Ozeans spielen Ökosysteme, die in den östlichen Randgebieten auf Schelfen durch Auftrieb bedingt entstehen, eine wichtige Rolle. Der Austausch zwischen Atmosphäre, Hydrosphäre und Lithosphäre ist in den sogenannten *Eastern Boundary Upwelling Ecosystems* (EBUEs) besonders hoch. Trotz des geringen Anteils der Schelfe an der Meeresfläche (ca. 7%), entfallen darauf 14% der globalen Ozeanproduktion (mit einer Neuproduktion von etwa 80-90%), was auf ihre hohen biologischen Produktionsraten zurückzuführen ist (Chen et al. 2003).

Bedingt durch ausreichend Licht und eine hohe Nährstoffdichte bietet die Primärproduktion die Nahrungsgrundlage für Fischbestände, welche als sozioökonomischer Motor die Regionen beleben. Ebenfalls findet durch Fotosynthese und Respiration ein kontinuierlicher Austausch von Kohlenstoffdioxid statt, dabei in die Tiefsee absinkende organische Masse trägt erheblich zur Kohlenstoffsequestrierung bei (Wefer und Fischer 1991).

Diese Arbeit widmet sich der Untersuchung der Stoffflüsse am Rande des Benguela-Auftriebsgebietes mittels einer Sinkstofffalle. Das vor Namibia liegende Gebiet zählt zu den vier produktivsten Regionen im Meer, dessen Nährstoffe über Tiefenwasser durch Auftrieb an die Westküste des Kontinents gelangen.

Diese Arbeit ist eingebunden in das internationale Forschungsprojekt GENUS (*Geochemistry and Ecology of the Namibian Upwelling System*) mit dem Ziel, das Zusammenwirken von biogeochemischen Zyklen und die Zusammensetzung des Ökosystems im Hinblick auf den Klimawandel im namibischen Auftriebsgebiet zu erforschen. Beobachtungen zum starken Wandel der Fischressourcen und der intensive Eingriff des Menschen in die Region machen es notwendig die Mechanismen von Auftriebsgebieten besser zu verstehen (GENUS Homepage).

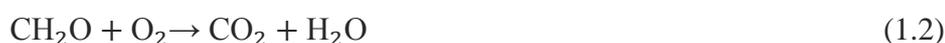
## 1.1 Partikelfluss in der Wassersäule

Der vertikale Partikelfluss beschreibt die Transportrate von organischen und anorganischen Partikeln in der Wassersäule von der Meeresoberfläche bis zum Meeresboden und verbindet daher die Atmosphäre über die Hydrosphäre mit der Lithosphäre. Er ist ein wesentlicher Bestandteil des globalen Stofftransportes und als Teil des Kohlenstoffkreislaufes für den Klimawandel von großer Bedeutung.

In der photischen Zone kommt es in Abhängigkeit der benötigten Nährstoffe zur Bildung und zum Abbau von organischer Masse (OM). Der Verbrauch von Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ) geschieht über die Bildung von Biomasse ( $\text{CH}_2\text{O}$ ) mittels Fotosynthese:



Durch mikrobielle Aktivität wird die organische Substanz unter Verbrauch von Sauerstoff wieder zu  $\text{CO}_2$  und Wasser umgewandelt. Dies nennt sich Respiration:



Über die Atmosphäre und Flüsse können abseits der marinen Produktion ebenfalls organische und anorganische, terrigene Anteile eingetragen werden.

Die Bestandteile des Partikelflusses werden u.a. als *Marine Snow* bezeichnet (Alldredge und Silver 1988). Diese Aggregate aus organischem Detritus, Mikroorganismen und lithogenen Komponenten dienen durch ihr Absinken als Transportmittel. Die partikuläre, organische Masse (POM) enthält partikulären, organischen Kohlenstoff (POC) und besitzt annähernd dieselbe Dichte wie Wasser und kann daher von alleine nicht absinken. Zeitgleich werden die Partikel zersetzt. (Alldredge und Silver 1988, Honjo et al. 2008).

Das Absinken des POC als *Marine Snow* wird durch drei Prozesse gesteuert:

1. Der gravitative POC-Transport erfolgt durch biogene oder lithogene, teilweise amorphe Aggregate, die als Ballast dienen. Während Kotpillen und größere Foraminiferen durch ihre hohe Dichte hohe Absinkraten besitzen (zwischen 30 m und 1.000 m pro Tag) (Degens und Ittekkot 1984) können leichte Bestandteile wie Ton, Silt, Coccolithophoriden oder Diatomeen nur absinken, indem sie an den Aggregaten anheften.
2. Es erfolgt ein POC-Transport über aktive Schwimmer, hauptsächlich von Zooplankton, welches gleichzeitig auch Konsument und Produzent sein kann.
3. Der terminale Gravitationstransport von POC findet an der Grenze von mesopelagischer zu bathypelagischer Zone und darunter statt. Hier endet der Einfluss des Zooplanktons (Honjo et al. 2008).

Unterhalb der Wellenbasis kommt es durch Strömungen, Scherkräfte am Meeresboden, Schelfkanten (und andere Unebenheiten) oder durch Tideneinflüsse zu Verwirbelungen, verstärkter Suspension und Resuspension am Meeresboden. Die dadurch entstehende seitliche Verfrachtung der Partikel ist beim Partikelfluss als lateraler Versatz zu berücksichtigen. Dies hat ebenfalls Auswirkungen auf die räumliche Verteilung und die Verweildauer im Ozean (Monteiro et al. 2005).

Resuspension durch Scherkräfte und das Aufsteigen von Gasblasen (als Folge der mikrobiellen Degradation) verursacht Partikelwolken als eine bodennahe Nepheloid-Schicht (*BNL, bottom nepheloid layer*) (Monteiro et al. 2005). Darüber findet der laterale Langstreckentransport vom Schelf, über den Kontinentalhang bis hin zur Tiefsee statt (Inthorn, Mohrholz und Zabel 2006). Intermediäre Nepheloid-Schichten (*INL, intermediate nepheloid layer*) verlaufen entlang den Grenzen der Meeresströmungen (Inthorn, Mohrholz und Zabel 2006) und übersteigen die Menge des vertikalen Transportes. Ansammlung von POC am Schelfhang wird weniger durch Hypoxie in Sauerstoffzonen (*OMZ, oxygen minimum zone*) und marine Produktion hervorgerufen, als durch Sedimentation von lateralem Eintrag (Inthorn et al. 2006).

Der vertikale Partikelfluss kann nicht bodennah, sondern über die gesamte Wassersäule durch lateralen Eintrag beeinflusst werden. Veranschaulicht wird dies anhand der POC-Flüsse am atlantischen Kontinentalhang von Antia, Bodungen und Peinert (1999) (Abbildung 1-1). Mit zunehmender Tiefe und Entfernung von der Küste nimmt der Anteil des lateral eingetragenen POCs am Gesamtpartikelfluss stetig zu.

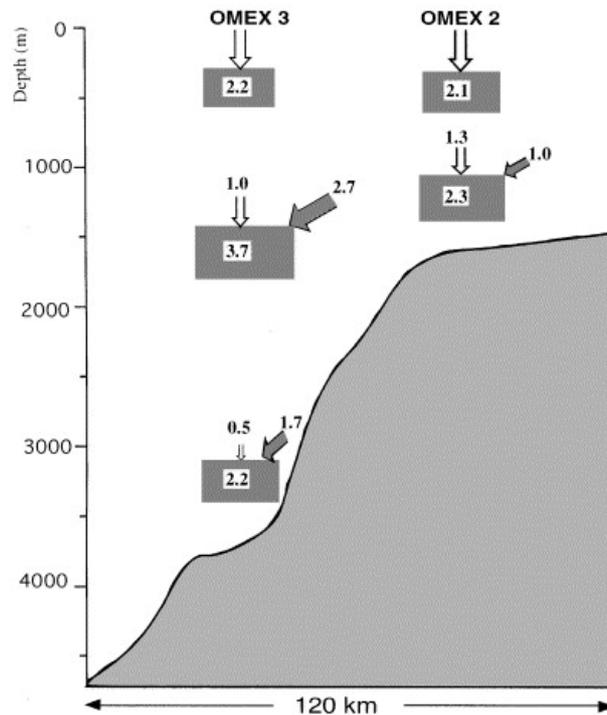


Abbildung 1-1: Jährliche POC-Flussrate durch vertikalen und lateralen Eintrag. Die Abbildung zeigt die jährliche POC-Flussrate (Boxen) und die jeweils berechneten vertikalen und lateralen Stoffflüsse (Pfeile) der Verankerungen OMEX 2 und 3 mit insgesamt fünf Sinkstofffallen. Die Einheit ist  $g\ m^{-2}\ yr^{-1}$ . Zur Berechnung der Stoffflüsse siehe Antia, Bodungen und Peinert (1999).

Die Sinkgeschwindigkeit der Partikel ist ausschlaggebend für den biologischen Abbau. Je langsamer jener zu Boden sinkt, desto länger ist die Zeit die er der Zersetzung unterliegt. Daher werden leichte und langsam absinkende Sinkstoffe schon lange vor Erreichen des Meeresbodens vollständig abgebaut und gelöst, sofern sie nicht einem schwereren Aggregat anheften (Wefer und Fischer 1991). Ebenso unterliegen sie stärker dem lateralen Versatz. Da die Sinkgeschwindigkeit von Trägermedien wie Diatomeenaggregaten oder Kotpillen abhängig ist, ist die Zusammensetzung der marinen Produktion genauso bedeutend für den Export von Partikeln aus der oberen Grenzschicht hinaus (González et al. 2009).

Die rasche Remineralisierung durch heterotrophe Bakterien (und Zooplankton) bewirkt eine Rückführung der Nährstoffe innerhalb der epipelagischen Zone. Das benthische Milieu unterliegt ebenso einer hohen Remineralisierungsrate, nur sind die Nährstoffe hier nicht am lokalen Nahrungskreislauf beteiligt, sondern werden fortgetragen oder eingebettet. Dies führt dazu, dass gelöste Stoffe länger im Ozean verweilen je tiefer sie freigesetzt werden. Die selektive Degradation durch heterotrophe Konsumenten während des Sinkens erlaubt es, anhand der chemischen Zusammensetzung, Partikelflüsse hinsichtlich ihres Diagenesegrades zu kategorisieren und zu vergleichen (Lee, Wakeham und Arnosti 2004).

## 1.2 Auftrieb

Als Auftrieb bezeichnet man in der Ozeanographie den Aufstrom von Wasser entlang einer Küste infolge eines Druckgefälles durch charakteristische Windmuster (Chavez und Messié 2009). Dabei führt der Ekman-Transport (s. u.) zu einem Fortströmen des Wassers von der Küste hin zum offenen Ozean. Aus einer Wechselwirkung aus Wind, Corioliskraft und Kontinentbarriere entspringt die Ekman-Spirale (Abbildung 1-2). Durch küstenparallele Winde erzeugte Oberflächenströmungen werden unter dem Wirken der Corioliskraft in der Südhemisphäre  $45^\circ$  nach links von der Windrichtung abgelenkt (in der Nordhemisphäre wirkt die Ablenkung nach rechts) (Ekman 1905). Wie in Abbildung 1-2 dargestellt erfolgt in der Ekman-Schicht (Zone, die sich unter dem Einfluss der windinduzierten Strömung befindet) eine fortschreitende Rotation der Strömungsrichtung mit der Tiefe. Die daraus resultierende Gesamtströmung ist um  $45^\circ$  von der Oberflächenströmung und um  $90^\circ$  vom antreibenden Wind abgelenkt. Der Nettogesamtstrom des Wassers wird als Ekman-Transport bezeichnet. Entlang von Küsten folgt daraus eine seewärts gerichtete Strömung, deren Sogwirkung Tiefenwasser aufsteigen lässt (Chavez und Messié 2009).

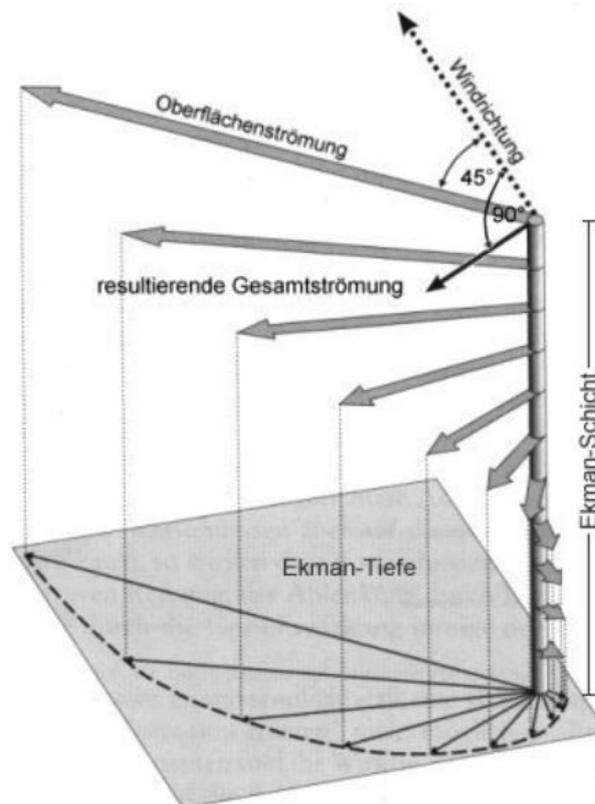


Abbildung 1-2: Darstellung der Ekman-Spirale. Die Rotation der Strömung nimmt mit der Tiefe zu und erstreckt sich über die gesamte Ekman Schicht. (nach Kelletat 1999)

Abbildung 1-3 zeigt schematisch die Bewegungsrichtung des Wassers. Das Oberflächenwasser wird durch den Ekman-Transport gen offenen Ozean getrieben, sodass zum isostatischen Ausgleich Tiefenwasser nachströmt.

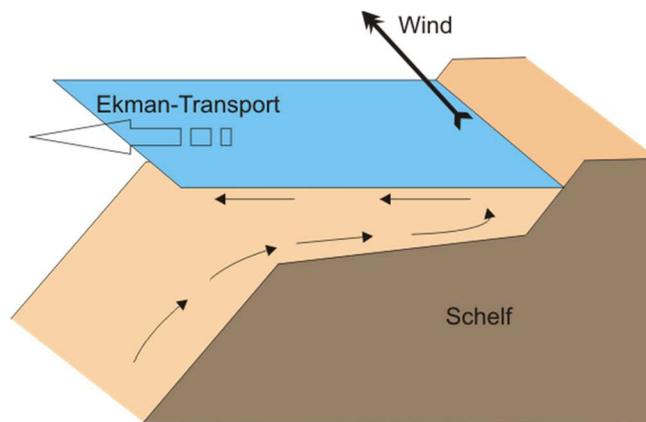


Abbildung 1-3: Schematische Darstellung des Küstenauftriebs für die Südhemisphäre. Zeichnung nach Mohrholz et al. 2014

Der Wirkungsgrad des Ekman-Transports wird durch die Küstentopographie, dem Verlauf des Schelfhangs, sowie der Windintensität bestimmt. Je stärker der Wind, desto weiter driften Auftriebszellen gen Ozean. Abseits der Küsten kommt es zu windgetriebenen Wirbeln (*wind stress curl*), deren korrespondierende Divergenz das Wasser ebenso zu einem vertikalen Auftrieb bewegt (Messié et al. 2009). Die vertikale Geschwindigkeit des sogenannten *Ekman pumpings* (oder auch Ozeanauftrieb) ist zwar nur 1/10 so groß wie die des Ekman-Transports, ist aber für ca. ¼ des Gesamttransportes verantwortlich (Chavez und Messié 2009). Während der Küstenauftrieb innerhalb von 50 km an der Küste dominiert, konzentriert sich der deutlich schwächere Ozeanauftrieb auf eine Zone von 50 km bis 250 km (Mohrholz et al. 2014).

Das an der Küste aufsteigende Wasser hat gegenüber dem Oberflächenwasser eine niedrigere Temperatur und einen geringeren Sauerstoffgehalt. Durch den Abbau von OM am Meeresboden ist es reich an Nährsalzen, die zu einer besonders hohen Primärproduktion in der euphotischen Zone führen und die Grundlage des marinen Nahrungsnetzes bilden (Carr 2001). Räumliche Differenzierungen der Planktonblüte treten auf, wenn beispielsweise in Auftriebsschatten die Nährstoffe limitiert sind oder diese durch Filamente aufs Meer hinaus getragen werden (Inthorn et al. 2006). Die Größe des Phytoplanktons hängt von der Auftriebsgeschwindigkeit ab, so dass der Ozeanauftrieb das Wachstum kleinerer Spezies begünstigt, die wiederum von kleinen, pelagischen Fischen konsumiert werden (Mohrholz et al. 2014).

### 1.3 Die biologische Pumpe

Die biologische Pumpe bezeichnet einen Prozess bei dem CO<sub>2</sub> der Atmosphäre dauerhaft entzogen wird. Ausschlaggebend dafür ist der Export von mariner Produktion aus der euphotischen Zone, die sogenannte Exportproduktion (Wefer und Fischer 1991). Abbildung 1-4 zeigt die drei grundlegenden Elemente: Produktion im Oberflächenwasser, Respiration unterhalb der Thermokline und Gasaustausch zwischen Hydro- und Atmosphäre.

Kohlenstoffdioxid wird durch die Produktion in CH<sub>2</sub>O gebunden. Gelangt dies unterhalb der Thermokline kann es von dort nicht mehr aufsteigen. Die OM wird respiriert und CO<sub>2</sub> reichert sich an, während an der Meeresoberfläche ein niedrigerer Gasdruck (bei konstanten

Temperatur- und Salzbedingungen) entsteht. Das  $\text{CO}_2$ -Defizit im Oberflächenwasser wird durch Gasaustausch mit der Atmosphäre ausgeglichen (Volk und Hoffert 1985). Da es innerhalb des epipelagischen Ökosystems zur Remineralisierung und Rückführung der Nährstoffe (und des  $\text{CO}_2$ ) kommt, gelangt nur ein geringer Teil in die Tiefe, jedoch verlängert sich dessen Verweildauer je tiefer es freigesetzt wird (Honjo et al. 2008).

Der exportierte Kohlenstoff wird dem Erdsystem über geologische Zeitskalen hinweg entzogen, sofern er in der Tiefsee eingebettet wird. Erfolgt eine Akkumulation auf dem Schelf, kann dieses unter Umständen frühzeitig durch niedrige Meeresspiegel (während Eiszeiten) wieder freigesetzt werden (Inthorn et al. 2006). Die Langzeitsequestrierung von Kohlenstoff durch auftriebsbedingte biologische Produktion ist daher ein zentrales Element des Erdklimas.

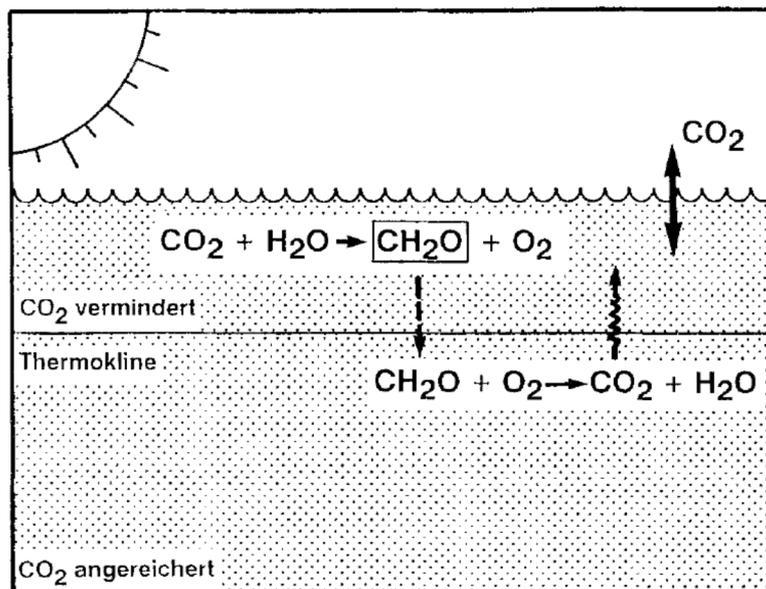


Abbildung 1-4: Schema der biologischen Pumpe. Erläuterungen im Text (Wefer und Fischer 1991).

## 1.4 Das Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet ist im Südatlantik etwa 220 km vor der Namibischen Küste gelegen (Abbildung 1-5). Mit einer Wassertiefe von etwa 2000 m befindet es sich unten auf dem Kontinentalhang, der vom Schelf der namibischen Küste bis hin zur Tiefsee des Südatlantiks führt, und südlich des Walvis Rückens liegt. Somit ist es am Rande des Benguela-Auftriebssystems positioniert. Die Hangneigung liegt etwa bei  $1,2^\circ$  und weist keine großflächigen Erhebungen oder Depressionen auf. Es sind zwei küstennahe Schelfkanten in ca. 160 m und 380 m Tiefe dokumentiert (Inthorn, Mohrholz und Zabel 2006, Inthorn et al. 2006).

Die Hauptarme des Benguelaströmungssystems, welches sich von  $15^\circ \text{S}$  bis  $30^\circ \text{S}$  erstreckt, umfassen den Benguelaozeanstrom (*BOC, Benguela Oceanic Current*) und den Benguelaküstenstrom (*BCC, Benguela Coastal Current*) (Inthorn, Mohrholz und Zabel 2006, Chavez und Messié 2009). Anhand der Stratifizierung sind vier verschiedene Wassermassen unterscheidbar:



Abbildung 1-5: Topographische Übersichtskarte der Küste Namibias. Das Untersuchungsgebiet ist rot gekennzeichnet. (NOAA Homepage 2014)

1. Das Südatlantische Zentralwasser (SACW, *South Atlantic Central Water*) ist durch erhöhte Salz- und Nährstoffmengen, sowie einer deutlichen Sauerstoffarmut charakterisiert. Besonders im inneren Schelf kommt es dadurch zu intensiv auftretenden OMZs in Bereich von 150 m bis 450 m. Es dient als Hauptnährstoffquelle für die Primärproduktion im Auftriebsgebiet (Wefer und Fischer 1993).
2. Das Südostatlantische Zentralwasser (ESACW, *Eastern South Atlantic Central Water*) ist gegenüber des SACW besser durchlüftet und nährstoffreicher. Beide Wassermassen reichen in der Wassersäule von ca. 0 m bis 500 m hinab. Der ESACW fließt entgegengesetzt zu den drei übrigen Wassermassen äquatorwärts.
3. Das Antarktische Zwischenwasser (AAIW, *Antarctic Intermediate Water*) zeichnet sich durch einen niedrigeren Salzgehalt gegenüber den anderen Wassermassen in einer Tiefe von 500 m bis 1000 m aus.
4. Das daruntergelegene Nordatlantische Tiefenwasser (NADW, *North Atlantic Deep Water*) zeigt erhöhte Salz- und moderate Sauerstoffgehalte und ist mit durchschnittlich 2° C die kälteste und dichteste Wassermasse (Inthorn, Mohrholz und Zabel 2006).

Das Benguela-Auftriebsgebiet wird von zwei Auftriebszentren dominiert, der stark ausgeprägten Lüderitz-Zelle und der unbeständigeren Walvis Bay Zelle, welche zum küstennahen Aufstieg des SACW aus 50 m bis 200 m Tiefe führen (Shannon und Nelson 1996). Die Lüderitz-Zelle teilt das Gebiet bei 26° S in Nord und Süd. Durch ganzjährig beständige Passatwinde kommt es zu einer turbulenten Umwälzung des Wassers und führt zu einer hohen Advektion Richtung offener See (Hutchings et al. 2009). Die nördlich davon vorhandene Walvis Bay Zelle, auf 23° S gelegen, bringt durch saisonale Schwankungen eine etwas geringere Auftriebskraft auf (Shannon und Nelson 1996). Insgesamt findet jedoch laut Chavez und Messié (2009) ein jahreszeitenunabhängiger, permanenter Auftrieb in einer Zone von 18-28° S statt, der im Südfrühling sein Maximum erreicht. Zu Schwankungen kommt es lediglich durch intersaisonal auftretende Eddys (Wefer und Fischer 1993). Zum Nord- und Südrand werden die saisonalen Einflüsse immer stärker, beispielsweise durch den kalten Agulhasstrom an der Südspitze Afrikas.

In Abbildung 1-6 sind Küsten- und Ozeanauftrieb im Benguela-Auftriebssystem dargestellt. Als Antrieb für den Ekman-Transport wirken Passatwind und *coastal jets* (starke Küstenwinde) und sorgen damit für den Küstenauftrieb des nährstoffreichen SACW. Dies erzeugt eine Planktonblüte im Küsten- und Schelfbereich. Die Filamente und Eddies werden aus dem Ekman-Transport gespeist und verfrachten Nährstoffe bzw. Planktonblüten abseits der Küste. Der Ozeanauftrieb geschieht über windgetriebene Wirbel (*wind stress curl driven upwelling*). Das von Nährstoffen ausgezehrt ehemalige SACW sinkt im offenen Meer ab und speist wiederum das ESACW.

Das Ökosystem im Küstenbereich des Untersuchungsgebietes reicht vom Phytoplankton, über Zooplankton hin zum Raubfisch. Über das Jahr erreicht die Primärproduktion im Auftriebsgebiet zwei Maxima im Mai und Juni und im Oktober und November (Wefer und Fischer 1993).

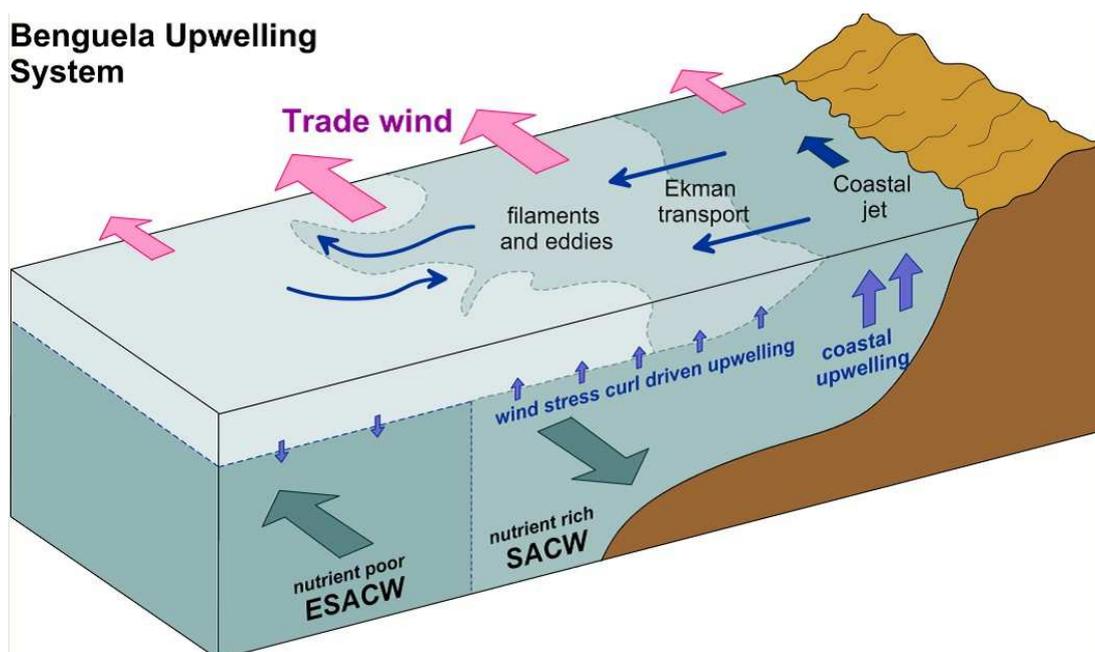


Abbildung 1-6: Das Benguela Auftriebssystem. Erläuterungen im Text. (Mohrholz et al. 2014)

## 1.5 Ziel der Arbeit

Ziel der Arbeit ist es, die Stoffflüsse am Kontinentalhang in Beziehung mit dem gesamten Auftriebsgebiet setzen zu können. Hierfür sollen die genaue Kenntnis des Partikelflusses mit Saisonalität der Sedimentation und biogeochemische Zusammensetzung ermittelt werden. Um ein besseres Verständnis der Funktion des Randgebietes innerhalb des Auftriebssystems zu erhalten werden Zusammenhänge mit ozeanographischen Einflüssen hergestellt und Vergleiche von verschiedenen Regionen durchgeführt.

Daraus ergeben sich folgende konkrete Aufgaben:

- Beschreibung des Partikelflusses anhand von Flussmenge, Flussraten und saisonale Verteilung. Mit der Positionierung einer Sinkstofffalle am Kontinentalhang auf 23° S werden Flussmuster und -mengen von einem Jahr bestimmt.
- Kenntnis von Zusammensetzung und Änderungen des Partikelflusses über das Jahr. Hier werden mit biogeochemischen Laboranalysen die Sinkstoffe untersucht und Wechsel im Jahresverlauf betrachtet.
- Beschreibende Beobachtung inwieweit der Partikelfluss durch Auftriebsintensität und Primärproduktion gesteuert wird. Durch einen Vergleich von Satellitendaten mit dem Partikelfluss wird deren Zusammenhang rekonstruiert.
- Erörterung des Verhältnisses von vertikalem zu lateralem Partikelfluss mittels Aminosäuren anhand der Degradationsindizes. Hierzu werden Daten der Umgebung einbezogen.
- Vergleich der Partikelflussmenge, -verteilung und -zusammensetzung mit den Untersuchungen von Wefer und Fischer (1993), Fischer (2003) und Libuku (2014) im Benguela-Auftriebsgebiet.

## 2 Methoden

Das Arbeitsgebiet befindet sich ca. 220 km vor der Küste Namibias am äußeren Rand des Benguela-Auftriebsgebietes. Neben Analysen der Stoffzusammensetzung und der Verteilung von Aminosäurenkomponenten werden Daten des Strömungsmessers sowie von Satelliten einbezogen.

Um den Partikelfluss in seiner Quantität und Qualität innerhalb eines Jahres zu untersuchen, werden die Proben der Sinkstofffalle WBST West #01 herangezogen, die von Januar bis Dezember 2013 am Kontinentalhang des Auftriebsgebietes verankert war (Abbildung 2-1). Neben einer makroskopischen Begutachtung und Quantifizierung der Sinkstoffmenge wird im Labor die biochemische Zusammensetzung der Sinkstoffe gemessen.

Die Bergung der Sinkstofffalle fand am 22.01.2014 während der Fahrt der *FS Meteor M103-2* statt (erster Bergungsversuch am 05.01.2014 bei *M103-1* aufgrund technischer Probleme abgebrochen).

Weitere Informationen über die Sinkstoffzusammensetzung liefern Beprobungen von Sedimentoberflächen und Wasser, sowie Satellitendaten von Oberflächentemperatur-, Wind-, Chlorophyll- und POC-Verteilung im Jahr 2013. Ausgehend von einer Sinkgeschwindigkeit von  $100 \text{ m d}^{-1}$ , der Position des Fallentrichters in 1500 m Tiefe und einer Strömungsgeschwindigkeit von  $5 \text{ cm s}^{-1}$ , wurde ein Radius von 65 km angesetzt (siehe Anhang I).

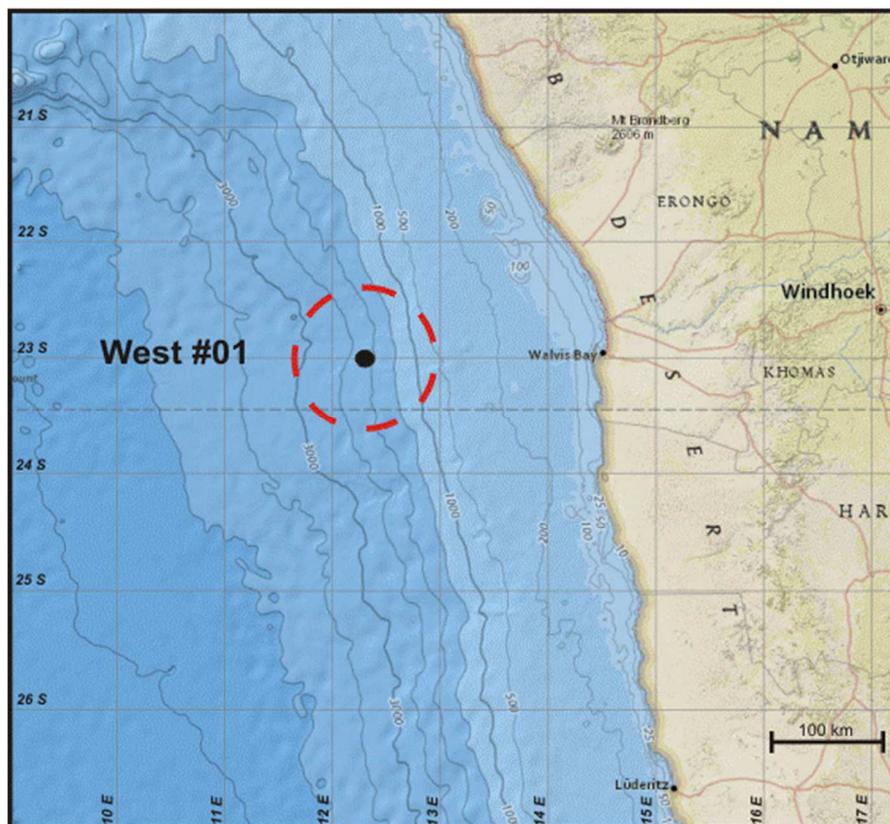


Abbildung 2-1: Position der Sinkstofffalle im Untersuchungsgebiet. Da die Bergung am 05.01.2014 auf der Fahrt M103-1 nicht gelang, wurde sie später am 22.01.2014 durch Mohrholz während der Fahrt M103-2 durchgeführt. (NOAA Homepage 2014)

## 2.1 Sinkstofffalle

Die Sinkstofffalle vom Typ KUM K/MT 234 wurde am 16.01.2013 mit der *FS Mirabilis* auf der Position 23°02.556' S und 012°18.505' E bei einer Wassertiefe von 2050 m verankert und am 22.01.2014 dort wieder geborgen.

Das System wurde durch insgesamt 15 Benthos 17“ Auftriebsbälle und eine McLane G-6600 Kopfboje senkrecht in der Wassersäule gehalten (Abbildung 2-2). Neben der Falle waren noch ein Sontek Argonaut MD Strömungsmesser und eine Seabird Microcat SBE 37CU CTD Sonde in die Verankerung integriert. Die Konstruktion hatte eine Gesamtlänge von 565 m, wobei sich der Fallentrichter 532 m über dem Boden befand, um einen Einfluss durch sogenannte *Rebound-Prozesse* aus dem bodennahen Nepheloid-Layer auszuschließen (Wefer und Fischer 1991).

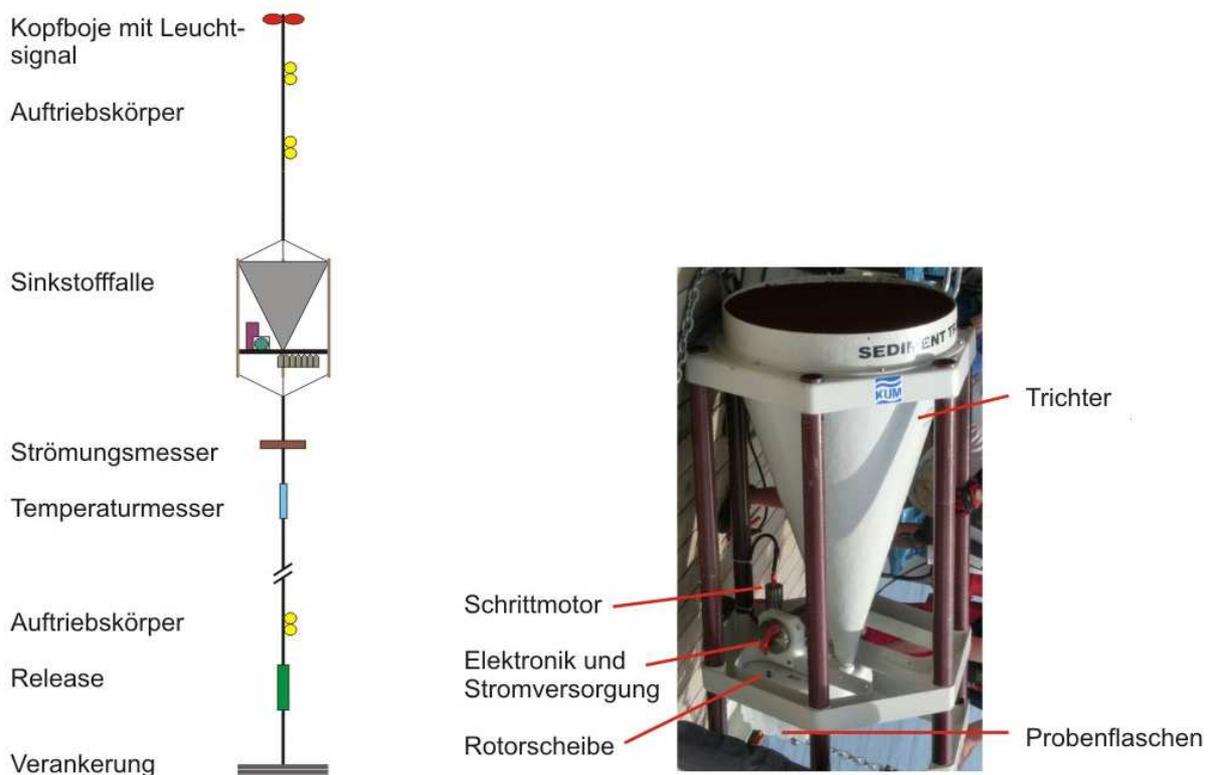


Abbildung 2-2: Schematischer Aufbau der Sinkstofffallenverankerung West 01. (Graphik nach Lahajnar et al 2007, Foto Lahajnar)

Die Falle hat einen konischen Trichter mit einem Trichterwinkel von 34° und einer Sammelfläche von 0,5 m<sup>2</sup>. Ein grobmaschiges Gitter verhindert, dass besonders große Partikel und Tiere in den Trichter schwimmen und ihn verstopfen. Unter dem Trichterausgang wurden nach einem vorgegebenen Intervall-Schema insgesamt 20 Probenflaschen à 400 ml rotiert. Auf einer Laufzeit von insgesamt 345 Tagen (20.01.2013 bis 31.12.2013) wurden diese in Sammelperioden von 15 Tagen geöffnet (Cups eins bis drei für 30 Tage geöffnet, siehe Tabelle 2-1).

Tabelle 2-1: Übersicht der Cupintervalle der Sinkstofffalle WBST West #01.

Cup Nr.	Interval	Dauer [Tage]
WBST West 01 - #01	20.01.2013 - 18.02.2013	30
WBST West 01 - #02	19.02.2013 - 20.03.2013	30
WBST West 01 - #03	21.03.2013 - 19.04.2013	30
WBST West 01 - #04	20.04.2013 - 04.05.2013	15
WBST West 01 - #05	05.05.2013 - 19.05.2013	15
WBST West 01 - #06	20.05.2013 - 03.06.2013	15
WBST West 01 - #07	04.06.2013 - 18.06.2013	15
WBST West 01 - #08	19.06.2013 - 03.07.2013	15
WBST West 01 - #09	04.07.2013 - 18.07.2013	15
WBST West 01 - #10	19.07.2013 - 02.08.2013	15
WBST West 01 - #11	03.08.2013 - 17.08.2013	15
WBST West 01 - #12	18.08.2013 - 01.09.2013	15
WBST West 01 - #13	02.09.2013 - 16.09.2013	15
WBST West 01 - #14	17.09.2013 - 01.10.2013	15
WBST West 01 - #15	02.10.2013 - 16.10.2013	15
WBST West 01 - #16	17.10.2013 - 31.10.2013	15
WBST West 01 - #17	01.11.2013 - 15.11.2013	15
WBST West 01 - #18	16.11.2013 - 30.11.2013	15
WBST West 01 - #19	01.12.2013 - 15.12.2013	15
WBST West 01 - #20	16.12.2013 - 31.12.2013	15

Die Cups waren mit Milli-Q Wasser befüllt und mit einer NaCl-Sole der Konzentration von 70 g/l versetzt, um durch eine höhere Dichte gegenüber dem Seewasser ein Austreten der Cupflüssigkeit zu verhindern. Zusätzlich waren die Cups mit HgCl<sub>2</sub> vergiftet (Konzentration 3,3 g/l), um mikrobiellen Abbau nach Eintreten der Sinkstoffe zu unterbinden (Wefer und Fischer 1993).

Nach der Bergung der Falle wurden die Cups gekühlt aufbewahrt und zur Weiterverarbeitung in das Labor für Biogeochemie an der Universität Hamburg geschickt. Dort wurde am Überstandswasser zuerst pH-Wert, Salz- und Sauerstoffgehalt gemessen, um Veränderungen an den Cuplösungen aufzudecken, wie sie beispielsweise ein Austritt der Cuplösung beziehungsweise ein Eintritt von Seewasser in den Cup hervorrufen würden. Danach wurden die Höhen der aufgefangenen Sinkstoffe in den Cups dokumentiert (siehe Anhang, Tabelle A1).

Im Weiteren folgte eine makroskopische Bestimmung der Sinkstoffe in Hinsicht auf Farbe, Aggregate, lithogene Einträge, Kotpillen und Organismenzusammensetzung (siehe Anhang, Tabelle A2). Da laut internationaler Festlegung nur die Partikelfraktion < 1 mm für die Partikelflussrechnung herangezogen wird, wurden im Weiteren die Proben in Fraktionen > 1 mm und < 1 mm mittels eines Siebes getrennt.

Nach dem gleichmäßigen Teilen wurden die Proben auf Polycarbonatfilter (PC-Filter) filtriert (Partikelretention 0,45 µm), getrocknet und ausgewogen. Anschließend wurden die Proben für die weiteren biogeochemischen Analysen in einem Achatmörser homogenisiert.

## 2.2 Strömungs- und Temperaturmesser

Die Sonde der Marke Sontek Argonaut MD SN 326 war ca. 2 m direkt unter der Sinkstofffalle montiert und maß mittels des Doppler-Effekts die Strömungsgeschwindigkeit. Sie lieferte Daten zur Strömungsgeschwindigkeit und -richtung mit einem Messintervall von zehn Minuten. Die Aufzeichnung der Neigungswinkel des Strömungsmessers (*Pitch* und *Roll*), anhand derer eine Abschätzung der vertikalen Bewegung möglich ist, dienen zur Überprüfung der stabilen Lage des Systems im Wasser. Abbildung 2-3 zeigt, dass es im Jahresverlauf zu keiner nennenswerten Veränderung an der Verankerung gekommen ist. Temperatur und Konduktivität maß die Sonde des Seabird Microcat SBE 37CU ebenfalls in 10-minütigen Intervallen.

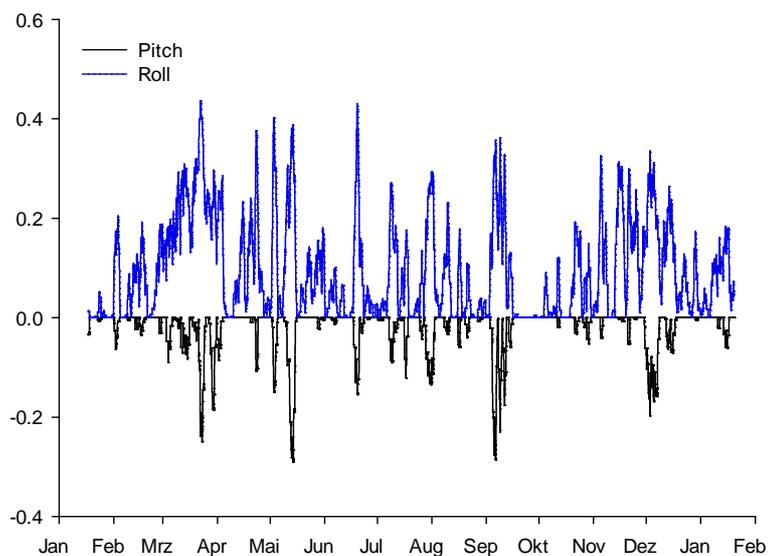


Abbildung 2-3: Neigungswinkel des Strömungsmessers im Jahresverlauf.

## 2.3 Laboranalysen

### Analyse von Kohlenstoff und Stickstoff

Mit dem aufbereiteten Probenmaterial werden die Anteile vom Gesamtkohlenstoff ( $C_{\text{tot}}$ ), organischen Kohlenstoff ( $C_{\text{org}}$ ) und Stickstoff ( $N_{\text{tot}}$ ) im *Carlo Erba Nitrogen Analyzer 1500* bestimmt. Carbonatischer Kohlenstoff ( $C_{\text{carb}}$ ) wird anhand der Differenz aus  $C_{\text{tot}}$  und  $C_{\text{org}}$  ermittelt. Zur Messung  $C_{\text{tot}}$  und  $N_{\text{tot}}$  werden ca. 1,5-2 mg in Zinnkapseln eingewogen und verschlossen. Bei der Bestimmung des organischen Kohlenstoffs säuert man die in Silberkapseln eingewogenen Proben (ca. 1,5-2 mg) vor dem Messen dreimal mit je 100  $\mu\text{l}$  1N HCl an und lässt sie je 24 h auf einer Heizplatte bei 50° C trocknen. So, vom karbonatischen Kohlenstoff vollständig befreit, werden die Kapseln geknüllt.

Über den Autosampler des *Carlo Erba NA-1500* gelangen die Proben in einen Verbrennungsreaktor. Hier erfolgt unter Sauerstoffzufuhr bei 1020° C eine sogenannte *high-temperature flash combustion* (Hochtemperaturverbrennung) bei der Probe und Kapsel schmelzen und sowohl organische als auch anorganische Komponenten in Verbrennungsgase umgewandelt werden. Die stationäre Phase der Verbrennungssäule beinhaltet einen Oxidationskatalysator, der mit Chromtrioxid  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  und darüber mit

versilbertem Cobaltoxid  $\text{AgCo}_3\text{O}_4$  gefüllt ist. Als Verbrennungsprodukte entstehen  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  und  $\text{H}_2\text{O}$ , die mittels des Transportgases Helium in eine zweite Reduktionssäule gelangen. In diesem kupfergefüllten Reduktionsreaktor wird das  $\text{NO}_x$  bei  $650^\circ\text{C}$  zu  $\text{N}_2$  reduziert. Im nächsten Schritt werden  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$  von der Reduktionssäule durch einen wasserabsorbierenden Filter (mit Magnesiumperchlorat) geleitet und von Wasser befreit. Die Messung der thermischen Leitfähigkeit der übriggebliebenen Stickstoff- und Kohlenstoffverbindungen erfolgt über einen Detektor nachdem die Gase durch eine 2 m lange Chromatographiesäule bei  $54^\circ\text{C}$  getrennt wurden. Das auftretende Signal entspricht proportional der Konzentration der individuellen Komponente und wird über die Software EAGER-200 aufgezeichnet. Als Standard der Messreihe dient Acetanilid ( $\text{C}_8\text{H}_9\text{ON}$ ). Bei dieser Methode liegen die Fehlerabweichungen bei 0,15% für Kohlenstoff und 0,005% für Stickstoff (Verardo, Froelich und McIntyre 1990, Nieuwenhuize, Maas und Middelburg 1994, Carlo Erba NA-1500 Analyzer Handbuch).

#### *Analyse von biogenem Opal*

Die Analyse von biogenem Opal erfolgt in Anlehnung an das Konzept von Mortlock und Froelich (1989). Die Proben werden 24 h mit je 1 ml 1N HCl bzw. 2%  $\text{H}_2\text{O}_2$  versetzt und bei  $50^\circ\text{C}$  getrocknet. Dadurch werden karbonatische bzw. organische Anteile in den Proben entfernt. Am dritten Tag erfolgt eine Behandlung mit 10 ml 2N  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  für 5 h bei  $85^\circ\text{C}$  mit zugeschraubten Szintillationsfläschchen (hierbei werden auch zwei Blindproben mit der Sodalösung angelegt). Im Anschluss wird immer 0,2 ml der Probenflüssigkeit partikelfrei in 10 ml Reinstwasser überführt, mit 100  $\mu\text{l}$  Ammoniumheptamolybdad versetzt und kurz geschüttelt. Nach einer Reaktionszeit von 30 min werden alle Probenfläschchen nacheinander mit 100  $\mu\text{l}$  Oxalsäure und 100  $\mu\text{l}$  Ascorbinsäure versetzt und nochmals geschüttelt. Nach weiteren 60 min hat sich ein blauer Komplex gebildet, dessen Intensität abhängig von der Siliziumkonzentration ist und durch die Extinktion in einem Digitalphotometer (Dr. Lange, LP2W) in einer Küvette (50 mm Schichtdicke, Typ 104-QS) mit einer Wellenlänge 800 nm des Filters bestimmt wird. Die Opalkonzentration wird mittels einer Siliziumstandardreihe mit 0, 1, 3, 5, 7, 9 und 11  $\mu\text{l}$  auf 10 ml Reinstwasser bestimmt und analog zu der Probenanalytik durchgeführt. Die Fehlerabweichung liegt bei der Opalmessung bei  $< 5\%$ .

Mit allen Messergebnissen lassen sich nun in Excel prozentuale Anteile der Hauptkomponenten und die Partikelflussraten ( $\text{mg m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ) bestimmen. Der lithogene Anteil am Gesamtfluss wird nach Francois et al. (2002) bestimmt (siehe Anhang II).

#### *Analyse der Aminosäuren*

Für die Analyse der Aminosäuren wird 1 mg der Proben in, zuvor bei  $550^\circ\text{C}$  ausgeglühten, Glasampullen eingewogen, 3 ml 6N HCl hinzugefügt und unter Zugabe von reinem Argon eingeschweißt. Danach werden die Proben für 22 h bei  $110^\circ\text{C}$  hydrolysiert, wobei die Aminosäuren soweit aufgespalten werden, dass sie vollständig analysiert werden können. Nach dem Hydrolysieren werden 2 ml der Probe partikelfrei abgehoben und durch einen 0,45  $\mu\text{m}$  Filter in einen Kolben gegeben, um anschließend im Rotationsverdampfer die Salzsäure verdampfen zu lassen und den Zersetzungsprozess zu stoppen. Das Verdampfen erfolgt in einem  $40^\circ\text{C}$  Wasserbad bei 25 mbar und wird für jede Probe insgesamt drei Mal

durchgeführt. Zur Überführung der Aminosäuren werden die Proben mit 1 ml PVP-Puffer versetzt und wiederum diese 1 ml in eine Phirole pipettiert. Der Puffer sorgt mit seinem pH-Wert von 2,2 dafür, dass keine Rückstände der Aminosäuren am Kolben kleben bleiben, sondern vollständig in die Lösung übergehen.

Im *Biocrom 30* Aminosäurenanalysator werden über den Midas Probengeber 50 µl aus der Phirole aufgenommen und zu einem Kationen-Austausch-Harz (Biocrom Ultropac 8, 8 µm) geleitet, an dem die polaren Aminosäuren haften bleiben. Da sich jede Komponente unter einer bestimmten Temperatur- und pH-Bedingung vom Harz löst, können diese durch Hinzugabe von Pufferreagenzien mit unterschiedlichen pH-Werten und ansteigender Erwärmung einzeln freigesetzt werden. Zusammen mit dem Reagenz, welche O-Phthaldialdehyd (OPA) und 2-Mercaptoethanol enthält, bilden die Aminosäurenmonomere einen fluoreszierenden Komplex. Der Komplex wird durch den Fluoreszenzdetektor Merck Hitachi L-2480 angeregt und erzeugt eine Strahlung, die in mV umgerechnet und als Ausschlag im Diagramm dargestellt wird (die Konzentration der Aminosäuren verhält sich proportional zur Fluoreszenz). Dabei beträgt die Wellenlänge der Extinktion 340 nm, die der Emission 450 nm (Gaye et al. 2013, Dauwe und Middelburg 1998). Die Aufzeichnung erfolgt über EZ Start von *Scientific Software*. Hier liegt die Fehlerabweichung für die Proteine < 0,5% und für nicht-Proteine < 2% (Nagel 2014, in prep). Als Standard wurde der Sigma AA-S-18 verwendet, dem manuell noch acht weitere Aminosäuren hinzugefügt wurden (siehe Anhang III).

Um das Stadium der Degradation zu ermitteln, werden der Reaktivitätsindex (RI) und der Degradationsindex (DI) berechnet. Je höher diese Indizes liegen (RI ca. 0,2 bis 20; DI ca. -2 bis +2), desto geringer ist der Abbau fortgeschritten. Der RI ergibt sich aus dem Quotienten der labilen Tyrosin und Phenylalanin und den diagenetisch entstehenden β-Alanin und γ-Aminobuttersäure (Jennerjahn und Ittekkot 1997):

$$RI = \frac{(\text{Tyr} + \text{Phe})}{(\beta\text{-Ala} + \gamma\text{-Aba})} \quad (2.1)$$

Der DI beschreibt die diagenetische Alteration anhand des molaren Anteils in Prozent ( $\text{var}_i$ ), dem Durchschnitt (AVG  $\text{var}_i$ ) und der Standardabweichung (STD  $\text{var}_i$ ) sowie des Koeffizienten (fac.coef.i) von 14 Aminosäuren in folgender Formel (Dauwe und Middelburg 1998):

$$DI = \sum_i \left[ \frac{\text{var}_i - \text{AVG var}_i}{\text{STD var}_i} \right] * \text{fac.coef.}_i \quad (2.2)$$

Um weitere Erkenntnisse über die Art des Abbaus zu erlangen werden ebenfalls das Verhältnis von Aminosäuren zu Aminoazuckern und das Verhältnis von Glucosamin und Galactosamin ermittelt.

Folgende in Tabelle 2-2 aufgeführte Aminosäuren und -zucker werden in der Analyse berücksichtigt:

Tabelle 2-2: Im Analyseverfahren gemessene Aminosäuren und -zucker.

Aminosäuren			
Asparaginsäure	ASP	Tryptophan	TRP
Glutaminsäure	GLU	Histidin	HIS
Tyrosin	TYR	Lysin	LYS
Serin	SER	Arginin	ARG
Glycin	GLY	Ornithin	ORN
Alanin	ALA	$\beta$ -Alanin	$\beta$ -ALA
Valin	VAL	$\gamma$ -Aminobuttersäure	$\gamma$ -ABA
Isoleucin	ILE	Cysteinsäure	CYA
Leucin	LEU	Methionin	MET
Tyrosin	TYR	Methioninsulfoxid	MSO
Phenylalanin	PHE	Taurin	TAU
Aminozucker			
Glucosamin	GLUAM	Galactosamin	GALAM

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Partikelfluss der Hauptkomponenten

Der Partikelfluss im Untersuchungsgebiet im Jahr 2013 ist in seiner Gesamtheit und dessen Einzelbestandteilen in Tabelle 3-1 in absoluten Zahlen und Anteilen aufgelistet.

*Tabelle 3-1: Übersicht des Partikelflusses und dessen Einzelbestandteile in der Sinkstofffalle West #01*

	[g m <sup>-2</sup> yr <sup>-1</sup> ]	[%]
<b>Gesamtfluss</b>	<b>84,5</b>	
CaCO <sub>3</sub>	52,3	62,2
davon: karbonatischer Kohlenstoff	6,3	7,5
Opal	15,9	17,6
Organische Masse	8,9	10,8
davon: organischer Kohlenstoff	5,0	6,0
Lithogenes Material	7,3	9,4

Der Gesamtpartikelfluss der einzelnen Intervalle erstreckt sich über einen Bereich von 121,2 bis 430,7 mg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> und liegt im Durchschnitt bei 231,6 mg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>. Ein bimodales Muster des Partikelflusses ergibt sich durch zwei Peaks in April-Mai (Cup #04) und von Ende September bis Ende November (Cup #14-18). Das Maximum tritt Ende Oktober in Cup #16 auf, das Minimum findet sich in Cup #08 Ende Juni. In Abbildung 3-1 ist der Jahresverlauf des Gesamtpartikelflusses mit Unterteilung in die vier folgenden Hauptkomponenten dargestellt: Karbonat (CaCO<sub>3</sub>), biogenes Opal, OM und lithogenes Material.

Der prozentuale Anteil des CaCO<sub>3</sub> macht mit 54,5 bis 74,6% den größten Anteil aus und folgt dem Trend des Gesamtflusses. Hohe Werte treten in April-Mai, sowie von September bis November mit einem Maximum Ende Oktober (Cup #16) mit 274,2 mg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> auf. Neben dem Minimum Ende Juni (Cup #08) mit 76,4 mg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, sind die Flussraten im Dezember ebenfalls sehr gering. Im Durchschnitt liegt die Flussrate bei 143,4 mg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>.

Die Messung des Opals hat Flussraten von 15,1 bis 111,9 mg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> mit einem Durchschnitt von 43,6 mg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> ergeben. Damit deckt es 9,8 bis 31,1% des Gesamtflusses ab. Besonders hohe Werte liegen von Ende September bis November vor (Maximum Ende September, Cup #14), ebenfalls sind kleinere Peaks von Januar bis März und Ende April vorhanden. Geringe Werte sind im April, Ende Juni (Minimum, Cup #08), im August, Anfang September und Dezember vorhanden, weichen aber nur geringfügig vom Gesamttrend ab.

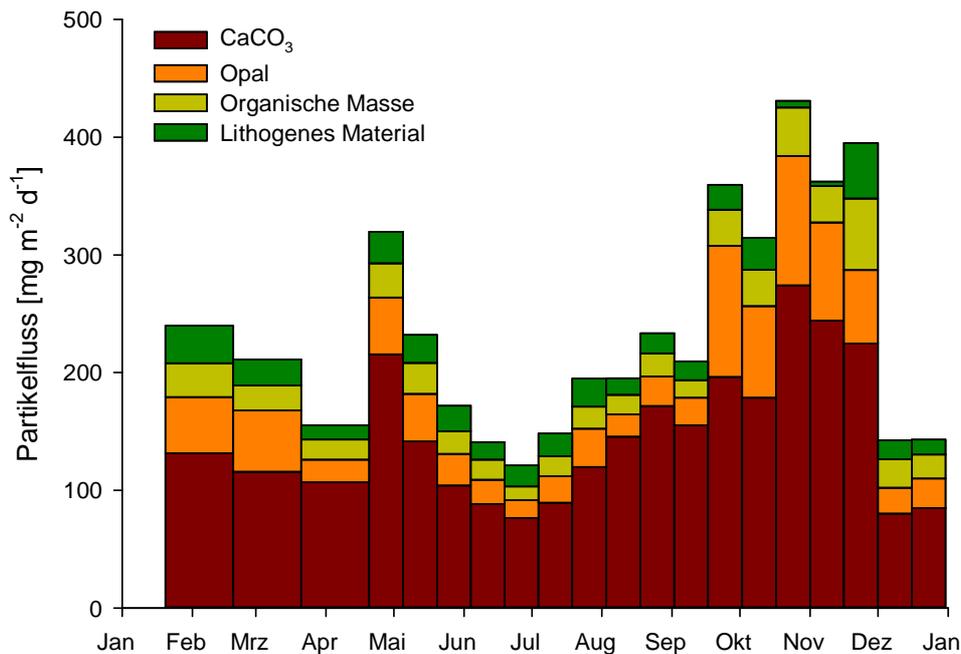


Abbildung 3-1: Gesamtpartikelfluss im Untersuchungsgebiet unterteilt in die vier Hauptkomponenten CaCO<sub>3</sub>, Opal, OM und lithogenes Material.

Die Flussratenverteilung der OM folgt weitestgehend dem Trend mit Werten von 11,6 bis 61,0 mg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> (durchschnittlich 24,5 mg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>). Die Anteile liegen zwischen 7,2 und 17,1%. Maximale und minimale Flussrate sind in Cup #18 bzw. Cup #08 zu finden. Besonders hoch ist die Flussrate im Februar, Ende April, sowie von September bis November, niedrige Raten finden sich Ende Juni und Anfang September. Da die OM aus dem organischen Kohlenstoff abgeleitet wird (Faktor 1,8) verhält sich dessen Flussrate kongruent.

Die Flussraten des lithogenen Materials reichen von 3,9 bis 47,0 mg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> und liegen bei durchschnittlich 20,1 mg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>. Die prozentualen Anteile liegen zwischen 1,1 und 14,9%. Hohe Raten treten im Februar, April, Juli, Oktober und November auf (Maximum Ende November, Cup #18). Im April, Juni, August, Ende Oktober und Anfang November treten geringe Raten, mit dem Minimum Anfang November (Cup #17), auf. Auffällig ist, dass die Flussrate gegenüber dem Gesamtpartikelfluss im Oktober und November sehr stark schwankt. Abbildung 3-2 verdeutlicht die unterschiedlichen Flussraten der vier Hauptkomponenten zueinander.

Das Verhältnis von organischem Kohlenstoff zu Stickstoff (C/N) schwankt über das Jahr hinweg nur leicht zwischen 8 und 10,23 (durchschnittlich 8,7). Hohe Werte treten im August und September auf, darüber hinaus bewegen sich die Werte hauptsächlich zwischen 8 und 9 (Abbildung 3-3).

Das Verhältnis von Karbonat zu Opal (CaCO<sub>3</sub>/Opal) zeigt Werte zwischen 1,8 und 7,6 (durchschnittlich 4,0). Da es fast parallel zum C/N-Verhältnis verläuft, finden sich auch hier die höchsten Werte in August und September. Ebenso zeigen beide Verhältnisse die größten Schwankungen im Zeitraum von August bis Ende September. Niedrige Werte zeigen beide Verhältnisse Anfang März und Ende September. Ebenfalls dargestellt ist das Verhältnis von organischem zu anorganischem Kohlenstoff (C<sub>org</sub>/C<sub>carb</sub>) welches sich fast ausschließlich < 1 bewegt. Insgesamt liegen Verhältnisse von 0,5 bis 1,4 (durchschnittlich 0,8) vor, Werte > 1

kommen nur im Januar-Februar, sowie im Dezember vor. Zwar verhält sich  $C_{org}/C_{carb}$  im August-September gegenläufig zu den anderen beiden Ratios, dennoch ist im übrigen Jahresverlauf kein Zusammenhang erkennbar.

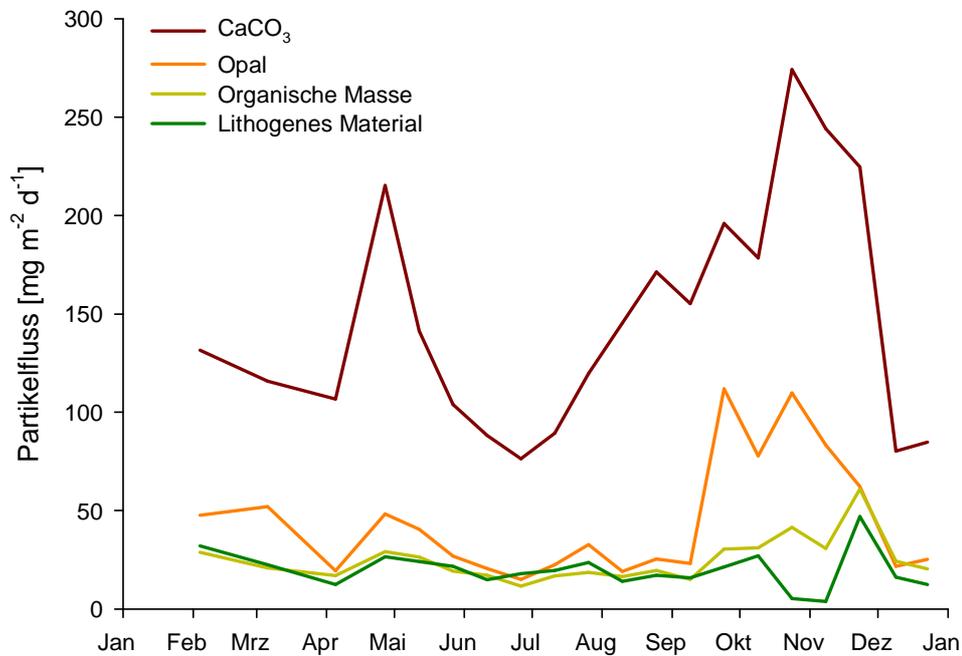


Abbildung 3-2: Einzelne Flussraten der vier Hauptkomponenten im Jahresverlauf.

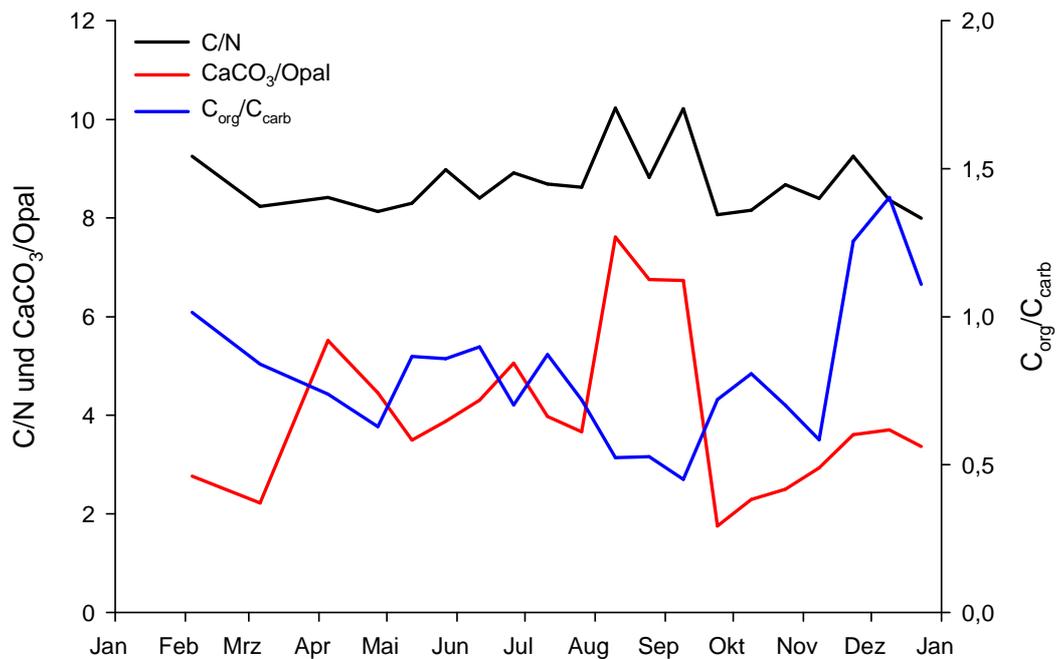


Abbildung 3-3: C/N, CaCO<sub>3</sub>/Opal und C<sub>org</sub>/C<sub>carb</sub>-Verhältnisse im direkten Vergleich.

### 3.2 Partikelfluss der Aminosäuren

Die Partikelflüsse der Aminosäuren (*amino acids*, AA) und Aminosucker (*amino sugar*, AS) werden getrennt betrachtet. Während die Aminosäureflussraten von 168,8 bis 1027,7  $\mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$  reichen (Durchschnitt 399,7  $\mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ), weisen die Aminosucker Raten von 9,7 bis 57,6  $\mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$  auf (Durchschnitt 20,0  $\mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ). In Abbildung 3-4 sind die Flussraten von AA und AS dargestellt. Beide Kurven verlaufen mit demselben Trend. Niedrige Flussraten sind von Juni bis September sichtbar, Peaks finden sich Anfang Mai und von September bis November.

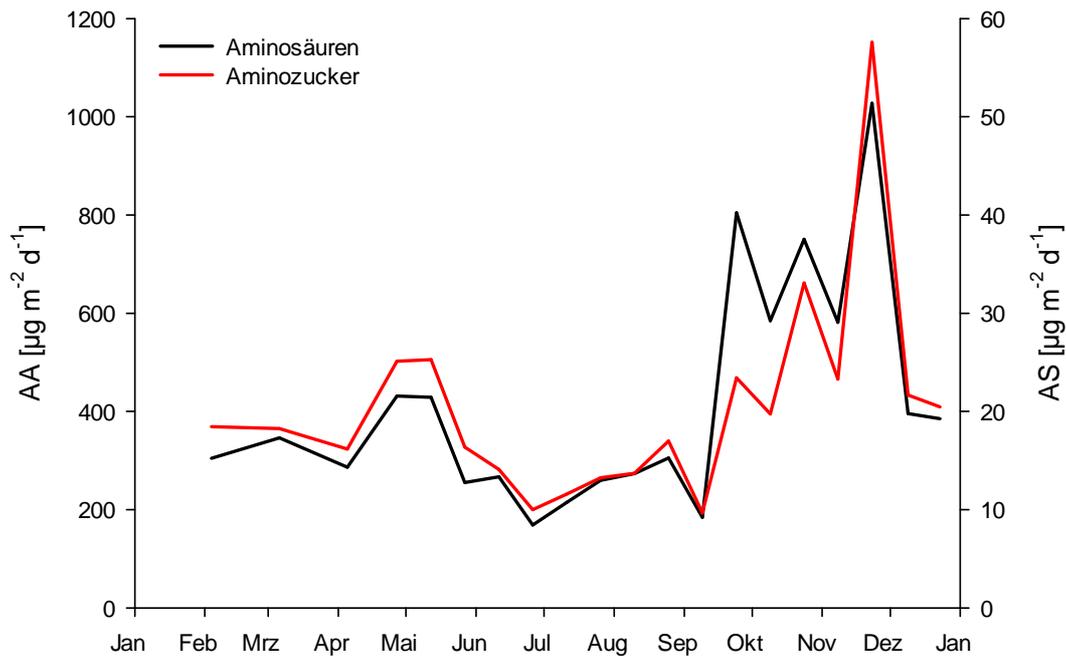


Abbildung 3-4: Partikelflussraten von Aminosäuren (AA) und -zuckern (AS).

Die Analyse der einzelnen Aminosäureflussraten ist in Abbildung 3-5 zusammengestellt, wobei ausnahmslos alle dem Verlauf von AA bzw. AS sehr ähneln. Um Übersichtlichkeit zu schaffen, wurden die Aminosäuren je nach Eigenschaften in Gruppen unterteilt in: sauer, neutral, basisch, aromatisch, mit Stickstoff und Phosphat (NP), mit Schwefel (S) und Aminosucker.

Der Verlauf der Mengen von AA und AS (in  $\mu\text{g/g}$ ) im Zusammenhang mit dem Anteil des organischen Kohlenstoffs ( $C_{\text{org}}\%$ ) sind in Abbildung 3-6 visualisiert. Auch hier verlaufen die Kurven mit demselben Trend und zeigen, dass die Mengen direkt vom Gehalt des organischen Kohlenstoffs abhängig und daher andere Quellen für Aminosäuren auszuschließen sind.

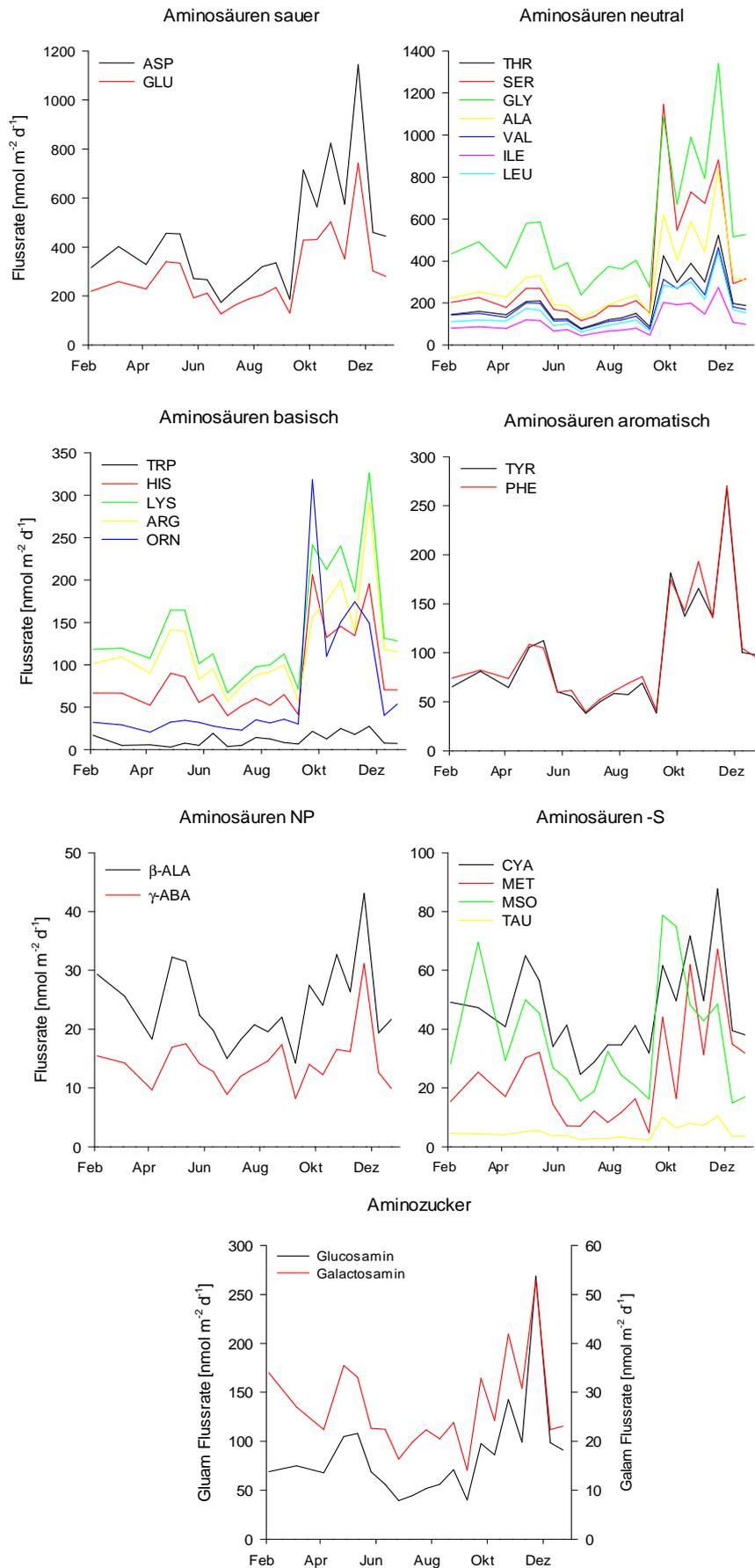


Abbildung 3-5: Analysen der einzelnen Aminosäuren und -zucker in Gruppen unterteilt.

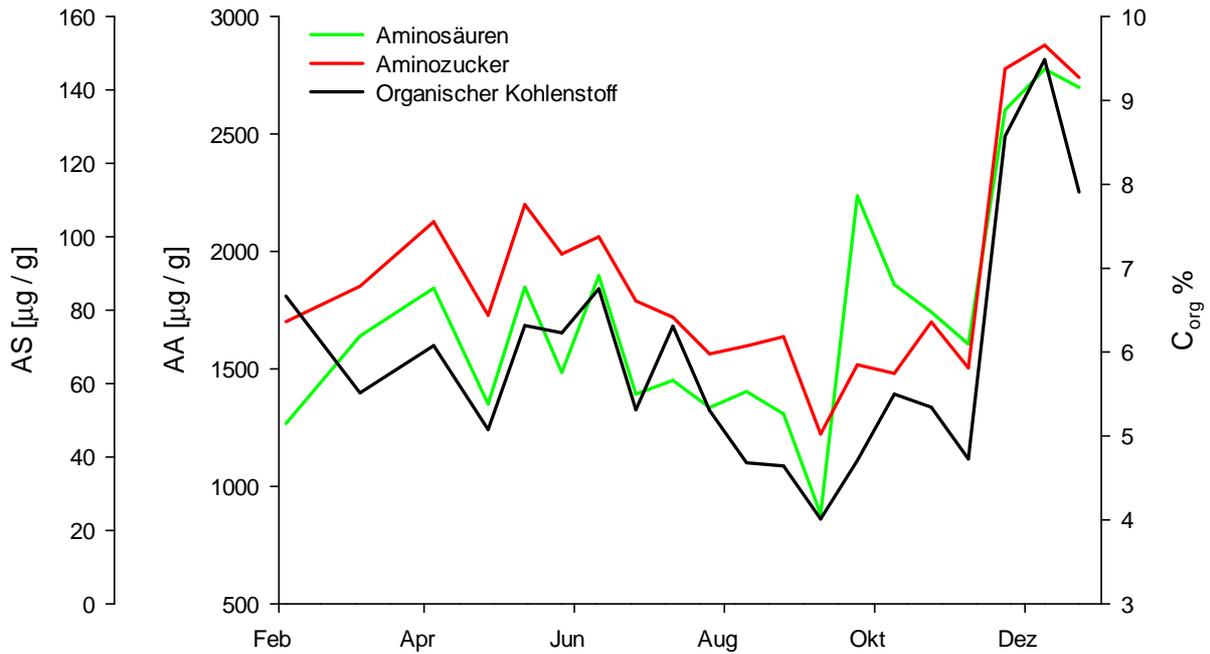


Abbildung 3-6: Vergleich der Konzentrationen von Aminosäuren und -zuckern mit dem Anteil des organischen Kohlenstoffs.

Die Verhältnisse von AA/AS erstrecken sich von 22,9 bis 51,7 (durchschnittlich 29,0), die Werte von Gluam/Galam bewegen sich im Bereich von 2,0 bis 5,1 (durchschnittlich 3,0). In Abbildung 3-7 zeigt sich, dass besonders hohe Werte zwar von September bis November vorkommen, diese aber nicht gleichzeitig auftreten bzw. im Zusammenhang stehen. Die Berechnung von RI und DI ergibt Werte von 3,1 bis 8,6 für den RI und 0,2 bis 0,8 für den DI. Im Jahresverlauf verhalten sie sich ähnlich zueinander, Peaks treten von September bis November auf, gering sind die Werte von Juni bis August (Abbildung 3-8).

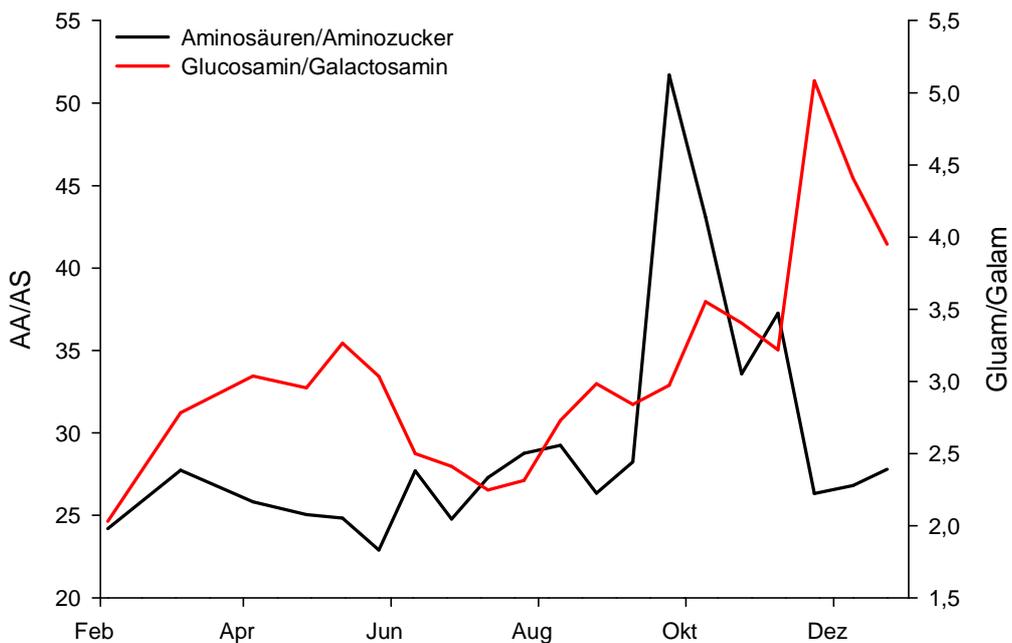


Abbildung 3-7: Verhältnisse AA/AS und Gluam/Galam im Jahresverlauf.

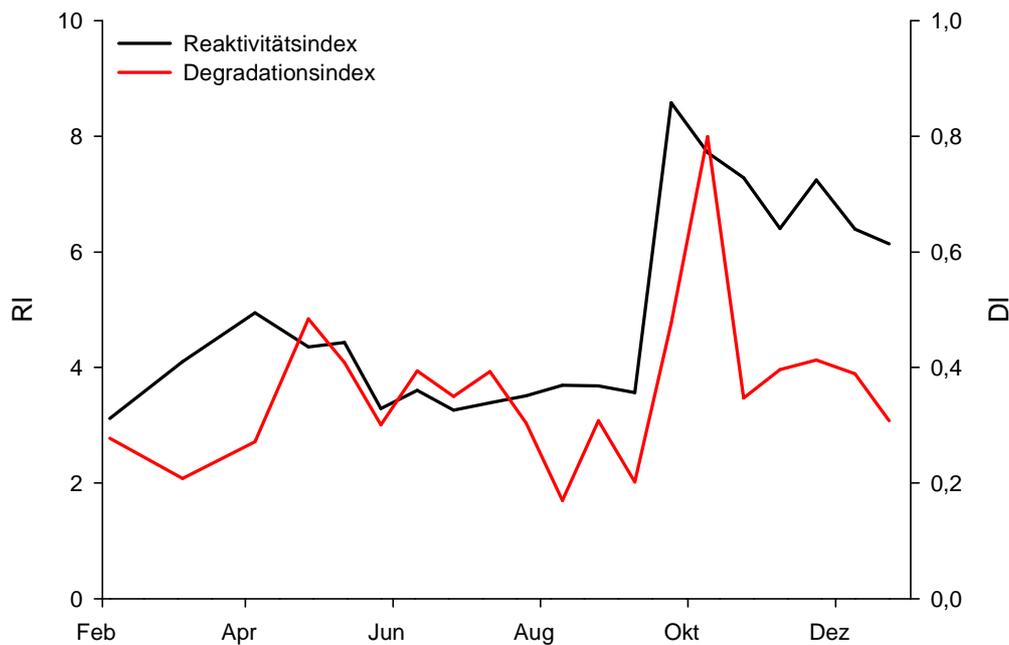


Abbildung 3-8: Reaktivitäts- und Degradationsindex im Jahresverlauf.

### 3.3 Aminosäuren an benachbarten Standorten

Zusätzlich wurden noch die Aminosäuren der Sedimentoberfläche und der Filtration in situ im Chlorophyllmaximum vom 05.01.2014 analysiert (M 103-1, Station #010). Die auf dem 23°-Transekt genommenen Proben der Sedimentoberflächen (Fahrt *FS Maria S. Merian*), wurden ebenso berücksichtigt. Die Ergebnisse von Reaktivitäts- und Degradationsindex sind in Tabelle 3-2 zusammengestellt. (Daten zu einzelnen Aminosäuren siehe Tabelle A10)

Tabelle 3-2: RI und DI auf dem 23°-Transekt, sowie einer in situ Filtration zur Unterscheidung von vertikalem und lateralem Eintrag.

Typ	Fahrt	Datum	Koordinaten	Tiefe [m]	RI	DI
Filtration	M 103-1 #010	05.01.2014	23°02.286'S 12°18.592'E	30	21,11	0,87
Oberflächensedimente	M 103-1 #010	05.01.2014	23°02.286'S 12°18.608'E	2050	1,92	-0,34
Oberflächensedimente	MSM 17-3 #241	05.02.2011	23°00.000'S 11°45.000'E	2970	1,35	-0,53
Oberflächensedimente	MSM 17-3 #242	06.02.2011	23°00.000'S 12°30.000'E	1640	1,84	-0,30
Oberflächensedimente	MSM 17-3 #243	07.02.2011	23°00.000'S 12°48.000'E	905	2,40	0,00
Oberflächensedimente	MSM 17-3 #246	07.02.2011	23°00.000'S 13°03.000'E	410	3,01	0,07
Oberflächensedimente	MSM 17-3 #250	08.02.2011	23°00.000'S 13°19.980'E	350	3,29	0,08

### 3.4 Physikalische und biologische Rahmenbedingungen während des Untersuchungszeitraums

Die, an der Sinkstofffalle aufgezeichneten Messdaten zu Strömung und Temperatur, zeigen eine überwiegend stabile Umgebung und geben Aufschluss über das Wassermilieu.

Die gemessene Strömungsrichtung an der Sinkstofffalle bewegt sich mehrheitlich in süd-süd-östliche Richtung von durchschnittlich 114° bis 199°. Die Strömungsgeschwindigkeit konnte wegen eines Fehlers am Gerät erst ab August 2013 aufgezeichnet werden und bewegt sich zwischen 3,6 und 6,2 m s<sup>-1</sup>. Das Stickplotdiagramm kombiniert Strömungsgeschwindigkeit und –richtung der vorhandenen Daten in Abbildung 3-9.

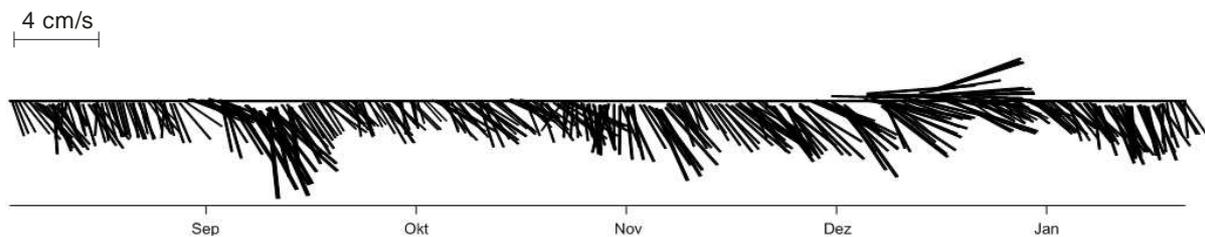


Abbildung 3-9: Stickplotdiagramm der Strömungsrichtung und –geschwindigkeiten von August 2013 bis Januar 2014.

Die Temperaturmessung zeigt nur geringe Veränderungen zwischen 3,21 und 3,32° C an. Im Verlauf des Jahres sinkt die Temperatur ab, wobei es im Mai und Oktober zu stärkeren Schwankungen kommt (Abbildung 3-10). Die gesamte Temperaturveränderung beträgt allerdings nur 0,11° C. Auf Grund von Tiefe, Strömungsrichtung und der konstanten, niedrigen Temperatur ist davon auszugehen, dass es sich bei der Umgebung der Sinkstofffalle um das NADW handelt (vgl. Kapitel 1.4).



Abbildung 3-10: Temperaturverlauf an der Sinkstofffalle.

Die Satellitendaten der Oberflächentemperatur zeigen eine deutliche Schwankung zwischen 15,2 und 20,5° C. Während in den Monaten von Juli bis Oktober die Temperatur nur zwischen 15 und 16° C schwankt, liegt sie bis Ende März und ab Dezember bei über 19° C. Da im Südhemisphärenwinter die Insolation stark nachlässt kommt es zu dieser deutlichen Abkühlung. Ebenso senkt Auftriebswasser die Temperatur an der Oberfläche ab.

Laut Demarcq (2009) gibt es einen deutlich höheren Zusammenhang von auftriebsbedingter Primärproduktion und Windgeschwindigkeit als zur Oberflächentemperatur, weshalb im Weiteren die Windgeschwindigkeit als Indikator des Auftriebs betrachtet wird. Der Verlauf der Windgeschwindigkeit zeigt, dass ab dem Minimum im Mai ( $3,8 \text{ m s}^{-1}$ ) ein stetiger Anstieg bis zum Maximum im Oktober ( $9,9 \text{ m s}^{-1}$ ) stattfindet und dann wieder abebbt. Wie schon vorher von Chavez und Messié (2009) belegt ist der Auftrieb von August bis November (Südfrühling) am stärksten (Abbildung 3-11). Das Abflauen des Windes von Januar bis Mai entsteht aus der abnehmenden Insolation und den daraus resultierenden Druckveränderungen (Bakun et al. 2010).

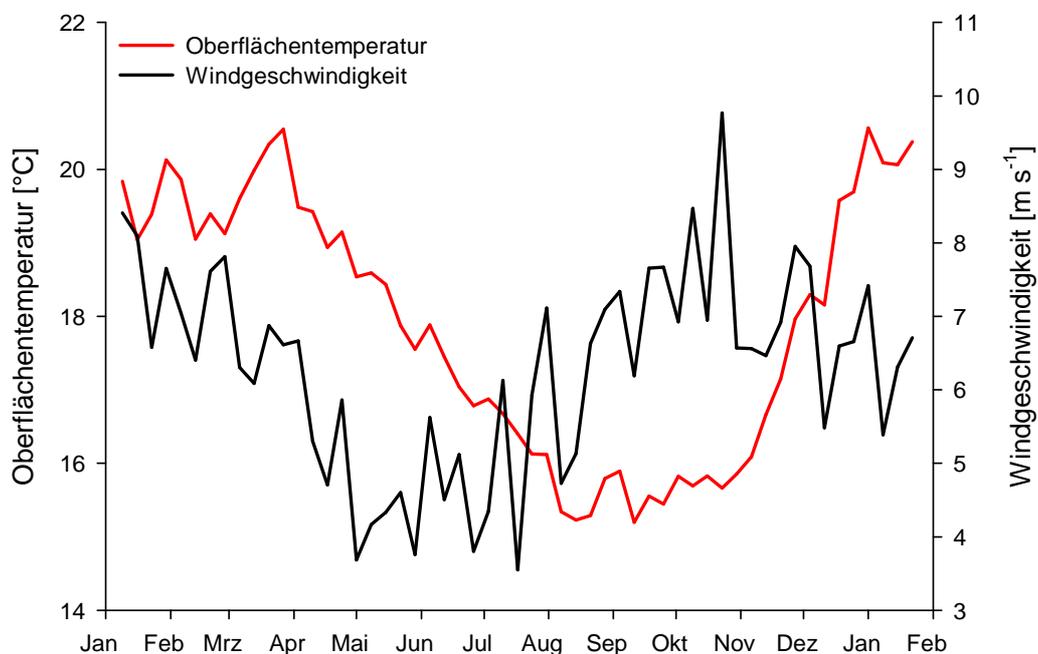


Abbildung 3-11: Oberflächentemperatur und Windgeschwindigkeit im Untersuchungsgebiet mit einer Auflösung von acht Tagen (NOAA).

Abbildung 3-12 zeigt, dass der Wind ganzjährig, mit nur geringen Abweichungen, Richtung Norden (von 337° bis 4°) weht.

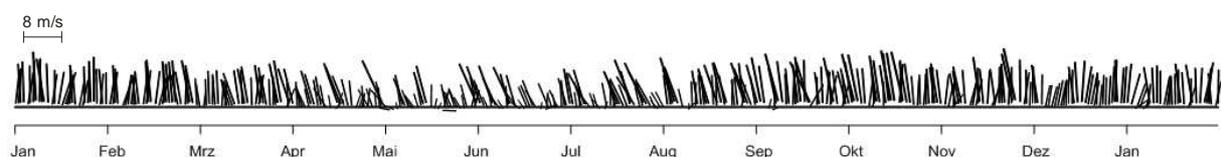


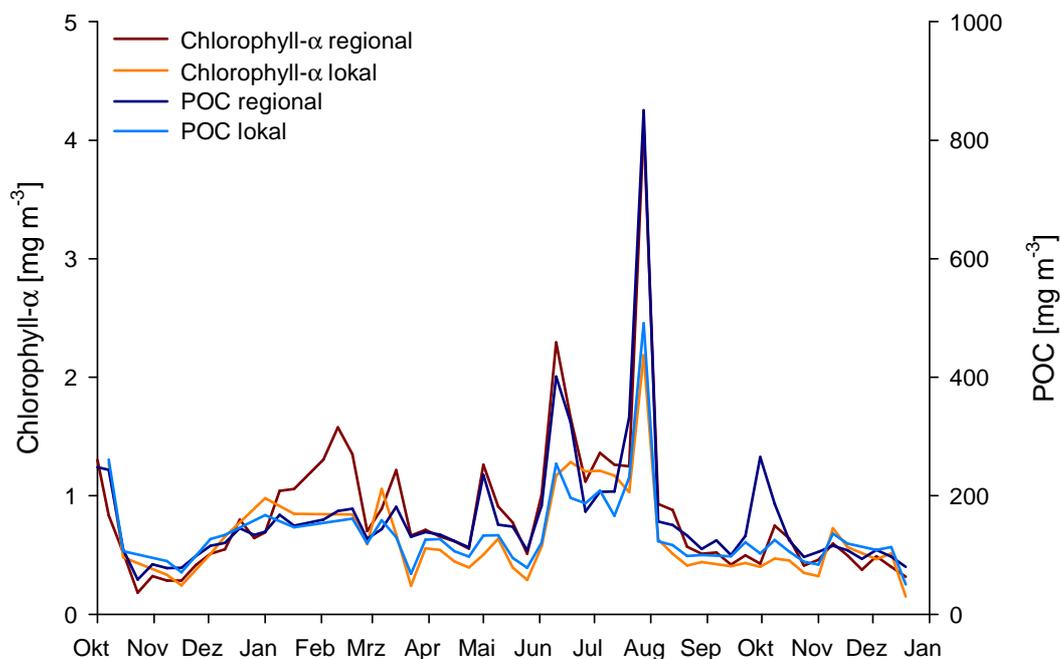
Abbildung 3-12: Stickplotdiagramm des Windes im Untersuchungsgebiet im Jahr 2013. Der Wind weht ganzjährig Richtung Norden.

Abhängig von den, vom Auftrieb herangetragenen Nährstoffen, bildet sich eine Planktonblüte aus, die mittels Satellitendaten anhand der Farbe der Ozeanoberfläche erfasst wird. Gemessene Werte sind POC- und Chlorophyll- $\alpha$ -Konzentration (als Bestandteil der Primärproduktion) an der Wasseroberfläche. Die Daten wurden sowohl regional für das gesamte Untersuchungsgebiet als auch lokal für den Standort der Sinkstofffalle betrachtet. Minima und Maxima sind in Tabelle 3-3 aufgelistet. Die Auflösung beträgt acht Tage.

*Tabelle 3-3: Minima und Maxima der Chlorophyll- $\alpha$ - und POC-Konzentration auf lokaler und regionaler Ebene (NOAA).*

Komponente	Minimum [ $\text{mg m}^{-3}$ ]	Maximum [ $\text{mg m}^{-3}$ ]
Chlorophyll- $\alpha$ lokal	0,25	1,5
Chlorophyll- $\alpha$ regional	0,34	2,4
POC lokal	67,7	330,7
POC regional	84,9	531,8

Beim Chlorophyll- $\alpha$  sind die lokalen Werte geringer als in der gesamten Region, jedoch sind ihre Konzentrationen gleich verlaufend. Höhere Variabilität findet sich beim POC. Die Konzentrationen beider Komponenten verlaufen weitestgehend parallel, da die Chlorophyll- $\alpha$ -Konzentration vom POC abhängig ist. So finden sich die höchsten Konzentrationen kurz vor dem Auftriebsmaximum zwischen Juni und August, in der übrigen Zeit sind die Werte geringer (Abbildung 3-13). Da zwischen den Werten des POC des gesamten Untersuchungsgebietes und den drei weiteren Parametern die Unterschiede am geringsten sind, wird im weiteren Verlauf diese Kurve als Referenz benutzt.



*Abbildung 3-13: Konzentrationen von POC und Chlorophyll- $\alpha$  von Oktober 2012 bis Dezember 2013 lokal und regional betrachtet (NOAA).*

Bei der Kombination der Verläufe von Auftrieb (Windgeschwindigkeit), Oberflächentemperatur und Primärproduktion (POC) ist festzustellen, dass mit Erreichen des Auftriebsmaximums das POC stark zurückgeht (Abbildung 3-14). Das Diagramm stellt ebenso dar, dass es von Januar bis Februar durch Variationen in Windgeschwindigkeit und Oberflächentemperatur vermutlich zum Ozeanauftrieb kommt, welcher zu einer erhöhten Primärproduktion (Februar-März) führt.

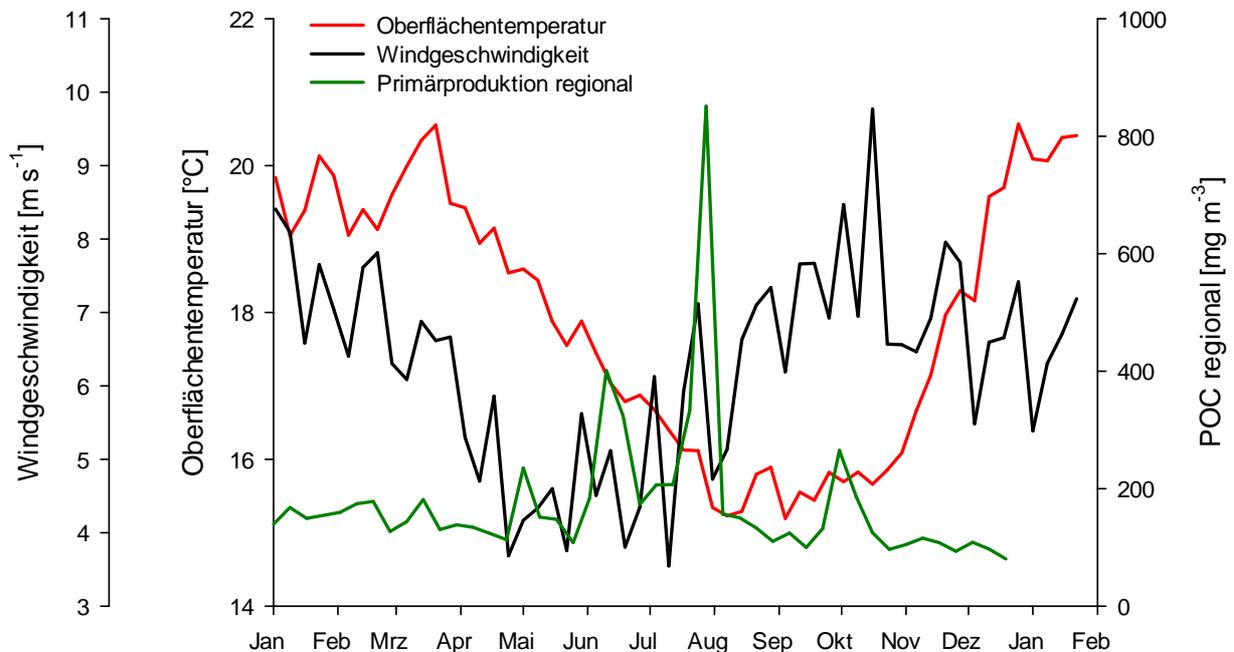


Abbildung 3-14: Kombination von Oberflächentemperatur, Windgeschwindigkeit und Primärproduktion im Untersuchungsgebiet.

Ein Forttreiben von Zooplankton durch erhöhten Wind und eine übermäßige Blüte und Akkumulation von Primärproduktion, wie Bakun et al. (2010) es in seiner Modellierung beschreibt, kann hier ausgeschlossen werden. Dafür müsste, umgehend vor den großen Blüten der Primärproduktion im Juni und Juli, das Zooplankton entfernt worden sein. Zu diesem Zeitpunkt, und auch schon in den Monaten davor, sinkt die Windgeschwindigkeit kontinuierlich auf ihr Jahresminimum von  $3,8 \text{ m s}^{-1}$  ab, verhält sich also genau gegenteilig zur Modellierung. Zudem müsste sich mit dem Anstieg der Windgeschwindigkeit ab August die Primärproduktion erhöhen, da dies der Fall wäre, in dem das Zooplankton vom starken Wind gen Ozean exportiert würde. Auch dieser Fall tritt nicht ein, da die Werte des POCs auf durchschnittlich  $< 140 \text{ mg m}^{-3}$  fallen.

Betrachtet man die Untersuchungen von Cermak (2012) zur Namibischen Küstenregion in den Jahren 2004 bis 2009, so sind die Monate September bis März mit einer Wolkenbedeckung von bis zu 50% betroffen. Allerdings handelt es sich um Daten, die zu einem Zeitpunkt um sieben Uhr morgens (Ortszeit) erhoben wurden, ein Auflösen der Wolken mit steigender Temperatur im Tagesverlauf wurde nicht berücksichtigt. Sollte die Datenerhebung des POCs per Satellit durch Wolken verfälscht worden sein, so müsste von einer höheren Konzentration ausgegangen werden. Nimmt man an, dass 50% der

Wasseroberfläche keine Messdaten liefert, läge die durchschnittliche POC-Konzentration ab August bei etwa  $280 \text{ mg m}^{-3}$  (das Doppelte vom durchschnittlichen Messwert). Dieser Wert erscheint im Hinblick auf die POC-Konzentrationen von Mai bis Juli und der Tatsache, dass das Auftriebsmaximum erst ab August eintritt, zu niedrig und wird als Ursache ebenfalls ausgeschlossen.

Da die Datenerhebung des POCs per Satellit nur Daten der Wasseroberfläche liefert, muss davon ausgegangen werden, dass die dort gemessene Primärproduktion nicht der realen Produktion entspricht, sondern in der Tiefe des Chlorophyllmaximums zwischen 20 m und 50 m stattfindet. Es ist anzunehmen, dass die Verlagerung der Planktonblüte in die tiefere euphotische Zone eine Folge des Anstiegs der Windgeschwindigkeit ist. Gestützt wird diese These durch die hohen POC-Messwerte während des Windminimums (Mai bis Juli) und den abrupt niedrigen Messwerten während des Windmaximums (August bis Oktober). Hoher Wind und maximaler Auftrieb sorgen für eine gute Durchmischung und einen optimalen Nährstoffeintrag, der eine große Planktonblüte auch mehrere 10er Meter unterhalb der Wasseroberfläche begünstigt. Ein weiteres Indiz ergibt sich aus der Probennahme vom 05.01.2014 vor Ort bei der das Chlorophyllmaximum der Wassersäule in 30 m Tiefe ermittelt wurde.

## 4 Diskussion

### 4.1 Partikelfluss und ozeanographische Parameter

Im Folgenden sollen die Zusammenhänge zwischen den ozeanographischen Parametern und dem Partikelfluss betrachtet werden.

Ausgehend davon, dass während des Auftriebsmaximums durch maximale Nährstoffzufuhr die höchste Primärproduktion zu erwarten ist, erfolgt ein Vergleich von Windgeschwindigkeit und POC mit dem Partikelfluss. Die, während der makroskopischen Bestimmung der Sinkstoffe vorgefundenen, Anteile von Kotpillen, Aggregaten, Fischschuppen, Pteropodenschalen, Crustacearesten und feinkörnigem Material (siehe Tabelle A2) lassen auf eine Sinkgeschwindigkeit von mindestens  $100 \text{ m d}^{-1}$  schließen, wie es beispielsweise auch bei Degens und Ittekkot (1984) beschrieben ist. Daher ist bei der Falltiefe von 1518 m von einer Sinkdauer von etwa 15 Tagen auszugehen.

In Abbildung 4-1 a) wird sichtbar, dass die Kurven von Gesamtpartikelfluss und Windgeschwindigkeit beinahe gleich verlaufen. Die höchste Korrelation (Bestimmtheitsmaß  $r^2 = 0,36$ ) der Daten tritt allerdings erst beim Verschieben der Kurve der Windgeschwindigkeit um ca. 30 Tage auf (Abbildung 4-1 b). Es ist zwar keine lückenlose Deckung von auftriebsabhängiger Produktion und Partikelfluss gegeben, dennoch erscheint dieser Zeitraum plausibel.

Zu Anfang des Jahres erzeugt der sinkende Wind eine Nährstoffeinschränkung, wodurch auch die Primärproduktion eingeschränkt wird. Bei dem erhöhten Fluss in Cup #04 handelt es sich wahrscheinlich um eine kurze Phase des Ozeanauftriebs, die jedoch durch die Windgeschwindigkeit nicht eindeutig wiedergegeben ist. In Abbildung 3-11 ist erkennbar, dass es hier zu einer Temperaturschwankung von  $1^\circ \text{ C}$  kommt (trotz gleichbleibender Insolation), was die Frage aufwirft, ob hier ein Wechsel der Wassermassen an der Oberfläche stattfindet und den Partikelfluss beeinflusst. Ebenso wurden in dem Zeitraum Ende März bis Anfang Juni (Cup #03 bis #07) eine große Anzahl an Pteropoden gefunden, welche während des Partikelflussmaximums kaum auftraten, und Hinweise auf eine andere Zusammensetzung der Planktonblüte in diesem Zeitraum geben.

Der Anstieg der Partikelflussrate mit der Windgeschwindigkeit verläuft nahezu parallel. Ende Dezember kommt es, nach einer Flaute, erneut zu höheren Geschwindigkeiten. Da die Probenreihe hier endet, ist allerdings nicht sicher, ob die Auftriebsphase noch länger anhält. Der Zeitraum von 30 Tagen ist dadurch erklärbar, dass es zu Beginn des Auftriebs zur Neubildung der Primärproduktion, sowie stetige Remineralisierung und erneute Konsumtion kommt, sodass es nur geringfügig zum Absinken von Aggregaten kommt.

Mit kontinuierlichem Auftrieb ist das Wachstum nicht mehr länger nährstofflimitiert, sondern kann nur durch verminderte Lichtdurchflutung, aufgrund der Wassertrübung durch Plankton, eingeschränkt werden. Die resultierende Nährstoffübersättigung führt zu weniger Remineralisierung, weshalb mehr Partikel aggregieren und absinken. Es ist zu vermuten, dass von 30 Tagen, 15 Tage auf Remineralisierung und Neubildung der Primärproduktion entfallen und in den weiteren 15 Tagen ein Absinken stattfindet.

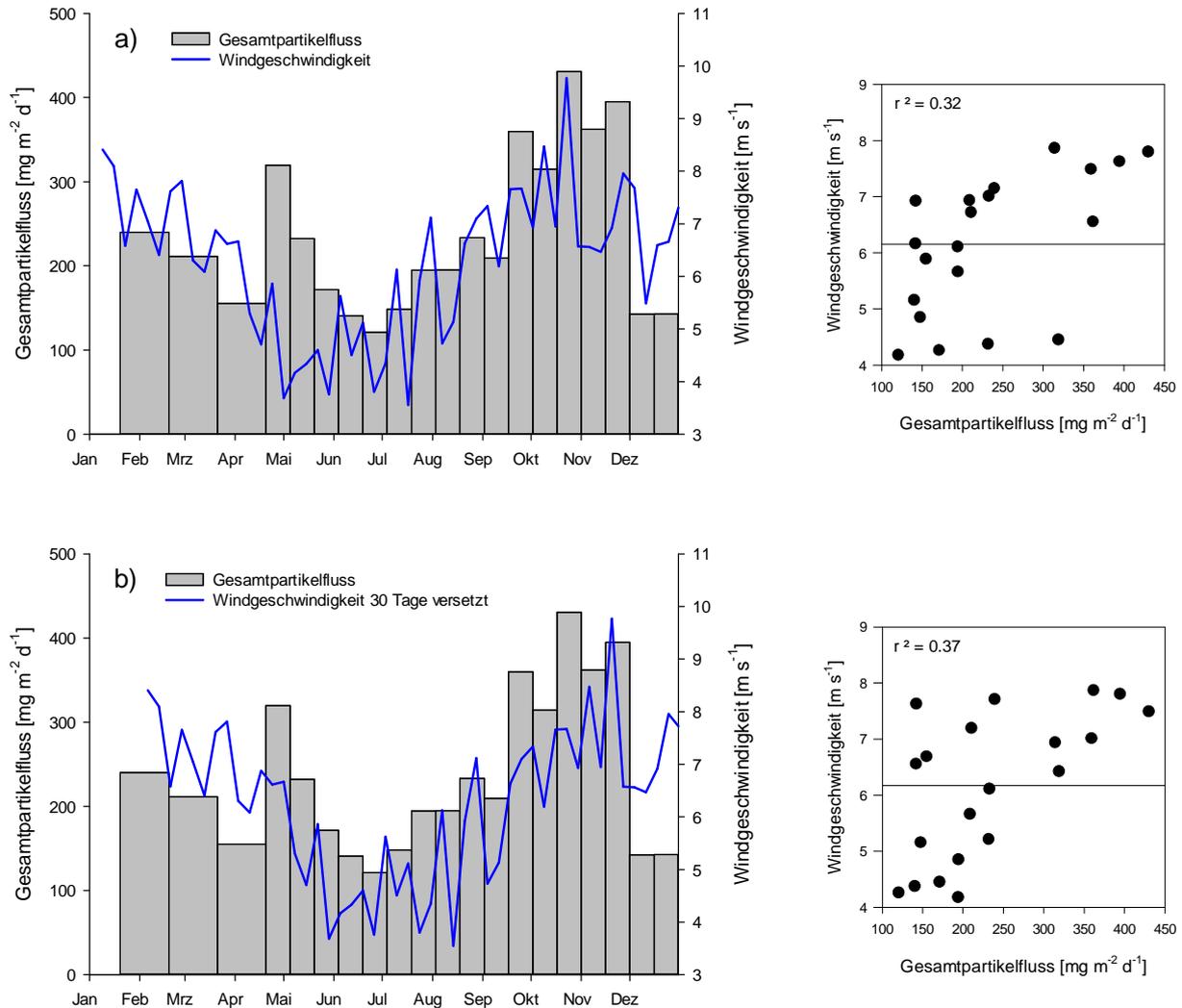


Abbildung 4-1: Vergleich von Gesamtpartikelfluss und Windgeschwindigkeit bei a) direktem Vergleich mit einer Korrelation von  $r^2 = 0,32$  und b) zeitlichem Versatz von 30 Tagen mit einer Korrelation von  $r^2 = 0,37$ . (Um die Daten statistisch miteinander vergleichen zu können wurden die Winddaten auf die Intervalle der Cups heruntergerechnet).

Wie in Kapitel 4.1 schon diskutiert ist davon auszugehen, dass die Satellitendaten des POC nicht die eigentliche, sondern nur die an der Oberfläche stattfindende, Primärproduktion wiedergeben. Im Vergleich zwischen Primärproduktion und Partikelfluss (Abbildung 4-2 a) tritt die höchst mögliche Korrelation bei einem zeitlichen Versatz von 105 Tagen auf ( $r^2 = 0,51$ , Abbildung 4-2 b). Die resultierende Sinkgeschwindigkeit läge demnach bei  $14,5 \text{ m d}^{-1}$ , was für die vorgefundenen Bestandteile in der Sinkstofffalle zu langsam ist und bestätigt, dass die POC-Daten der Wasseroberfläche die Primärproduktion nur unzureichend abbilden. Ein Zusammenhang zwischen Primärproduktion und Partikelfluss anhand von Satellitendaten konnte daher nicht festgestellt werden.

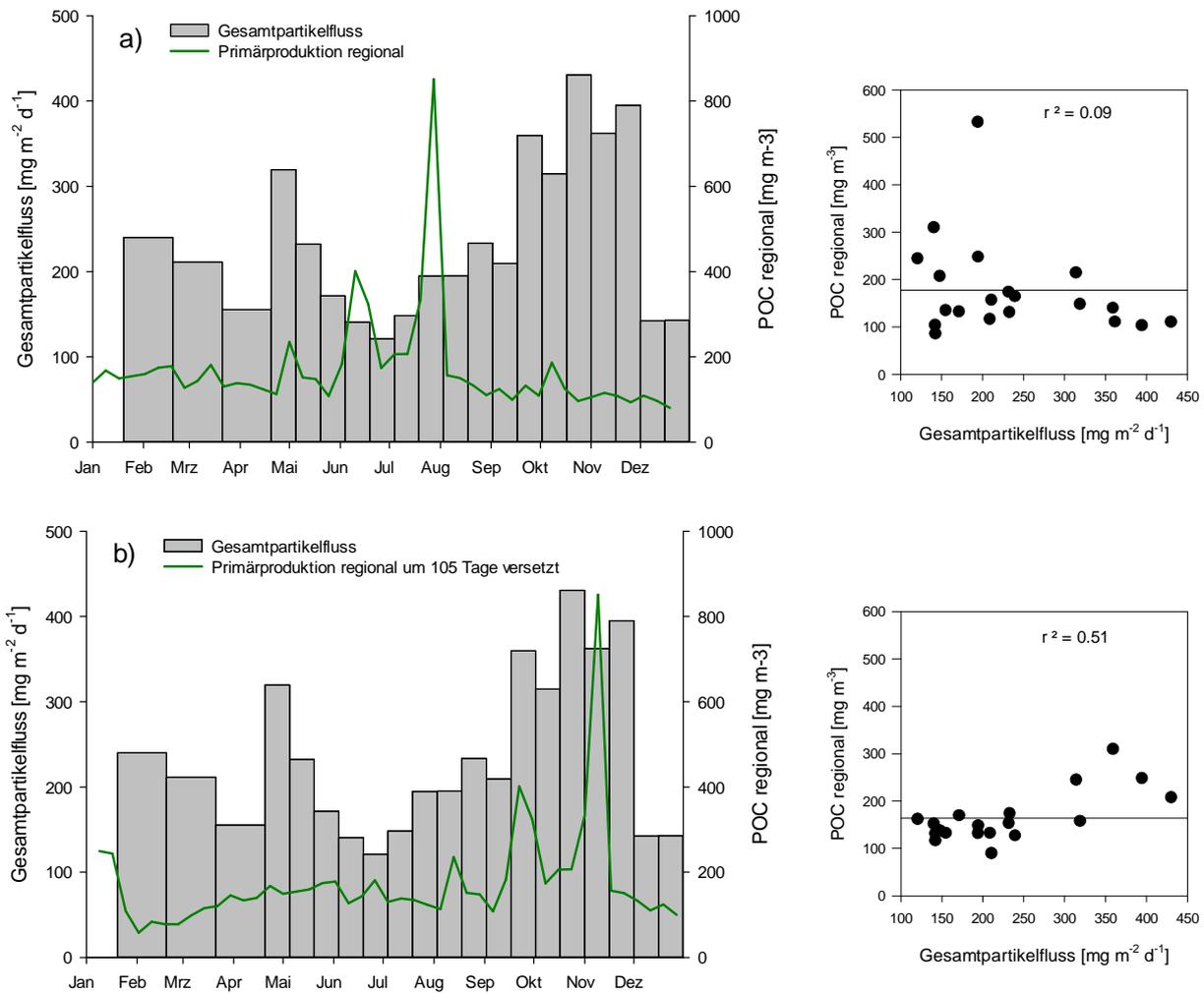


Abbildung 4-2: Vergleich von Gesamtpartikelfluss und regionaler Primärproduktion bei a) direktem Vergleich mit einer Korrelation von  $r^2 = 0,09$  und b) zeitlichem Versatz von 105 Tagen mit einer Korrelation von  $r^2 = 0,51$ . (Um die Daten statistisch miteinander vergleichen zu können, wurden die Primärproduktionsdaten auf die Intervalle der Cups heruntergerechnet).

## 4.2 Biogeochemische Zusammensetzung

Die Zusammensetzung des Partikelflusses ist klar durch die Dominanz von  $\text{CaCO}_3$  geprägt (vgl. Tabelle 3-1). Dies führt zu der Annahme, dass es sich bei den Organismen der Primärproduktion hauptsächlich um kalzifizierendes Plankton wie Coccolithophoriden und planktische Foraminiferen handelt. Die Coccolithophoriden können wegen ihres geringen Gewichtes nur über Aggregate und Kotpillen in die Sinkstofffalle gelangt sein (Wefer und Fischer 1993).

Der Anteil des biogenen Opals wird durch das Wachstum von silikatischem Plankton wie Diatomeen, Silikoflagellaten und Radiolarien gestellt, welche ebenfalls auf den Transport durch schwere Partikel angewiesen sind (Wefer und Fischer 1993, Degens und Ittekkot 1984). Betrachtet man die durchschnittlichen mol-Verhältnisse von biogenem Silizium, organischem und karbonatischem Kohlenstoff, liegen die Werte von  $C_{\text{org}}/C_{\text{carb}} = 0,09$  und  $\text{Si}_{\text{bio}}/C_{\text{carb}} = 0,47$  unterhalb von eins. Nach der Definition von Honjo et al. (2008), dessen

Untersuchungen zu dem Schluss führen, dass es sich beim Südatlantik um eine karbonatdominierte Region handelt, liegt auch hier eindeutig ein Karbonatozean vor.

Eine Veränderung der Planktonzusammensetzung zwischen August und September zeigt das Verhältnis  $\text{CaCO}_3/\text{Opal}$  besonders deutlich. Mit Einsetzen des Auftriebs kommt es durch die ausreichende Versorgung mit Silizium zu einer größeren Silikatschalerblüte und  $\text{CaCO}_3/\text{Opal}$  sinkt auf 3,66 (Cup #10) ab. Daraufhin entwickelt sich eine große Blüte von Karbonatschalern, vermutlich planktische Foraminiferen (Fressfeinde der Diatomeen), und verschieben das Verhältnis zu ihren Gunsten auf 7,62. Hierbei ist zu beachten, dass zu diesem Zeitpunkt die Neubildung der Planktonblüte stattfindet (vgl. Kapitel 4.2) und daher hauptsächlich Partikel absinken, die schwerer und gegen Remineralisierung resistenter sind als andere. Erst wenn die Primärproduktion ihr Maximum erreicht hat und an Nährstoffen übersättigt ist, können auch kleinere und labilere Partikel bis in die Falle transportiert werden. Dies tritt nach ca. neun Wochen ein und führt zu einem höheren Eintrag der Silikatschalerblüte: das  $\text{CaCO}_3/\text{Opal}$ -Verhältnis sinkt auf das Jahresminimum von 1,75, ebenso reagiert das Verhältnis ASP/GLY (0,66 in Cup #14), welches mit Werten kleiner 1,0 Silikatschaler anzeigt (King 1977), und die Diatomeenanzeiger SER und GLY steigen sprunghaft an (Hecky et al. 1973). Diese Zusammensetzung des Partikelflusses hält für den Zeitraum von 75 Tagen an und verändert sich mit Abklingen des Auftriebs wieder zugunsten der Karbonatschaler. Wie von González et al. (2009) beschrieben beeinflusst die Zusammensetzung der marinen Produktion den Absinkprozess.

Die OM, bestehend aus Lipiden, Kohlenhydraten, Aminosäuren und Pigmenten (Lee, Wakeham und Arnosti 2004), weist einen durchschnittlichen C/N-Wert von 8,7 auf. In einer Tiefe von 1518 m verändert der biologische Abbau die Partikel zugunsten des Kohlenstoffs und entfernt mehr Stickstoff, sodass es zu einem leichten Anstieg des Wertes kommen kann (Wefer und Fischer 1993). Ein Eintrag von terrestrischer Biomasse ist wegen der Distanz zur Küste, der geringen Vegetation des Festlandes, dem geringen fluviatilen Eintrag und letztlich durch den niedrigen C/N-Wert als äußerst niedrig einzuschätzen. Daher handelt es sich zum größten Teil um OM marinen Ursprungs.

Das Verhältnis  $C_{\text{org}}/C_{\text{carb}}$  zeigt, dass im Jahresverlauf die biologische Pumpe am effektivsten im Januar und Dezember (Wert  $> 1,0$ ), also während der höchsten Temperaturen, arbeitet. Ausschlaggebend dafür ist die Dominanz von kalzifizierendem Plankton gegenüber OM, besonders während des Auftriebs, die dazu führt, dass im September  $C_{\text{org}}/C_{\text{carb}}$  mit 0,45 den geringsten Wert erreicht.

Der Eintrag von lithogenem Material verläuft mengenmäßig nicht mit dem Gesamtpartikelfluss und ist daher nicht an den Auftrieb gekoppelt. Der Passatwind weht mehrheitlich küstenparallel, trägt also kaum Sand von der Namibwüste ein. Von Satellitenbildern abgeleitete Sandstürme spiegeln sich nicht in der Menge des lithogenen Partikelflusses eindeutig wider. Lithogener Eintrag über Flüsse erfolgt nur unregelmäßig, da die Flüsse zwischen dem  $18^\circ$  und  $28^\circ$  südlichen Breitengrad nur periodisch Wasser führen (Homepage Universität Köln). Äolische und fluviale Quellen können mit den vorliegenden Daten hier nicht nachverfolgt werden.

Das Verhältnis AA/AS besitzt Ende September Anfang Oktober (Cup #14) den höchsten Wert mit 51,71. Hier liegt zu Beginn des Partikelflussmaximums ein erhöhter Abbau von labilen Aminosackern vor.

Das besonders hohe Verhältnis von Gluam/Galam = 5,08 im November zeigt an, dass der Anteil an Bakterien deutlich unter dem Eintrag von Zooplankton liegt, ein Indiz dafür, dass es sich beim Partikelfluss um die jüngste Primärproduktion handelt und nicht um degradierte Biomasse (Benner und Kaiser 2003). Die niedrigen Gluam/Galam-Werte von Januar bis September und ab Dezember bestätigen, dass der Partikelfluss außerhalb des Auftriebs stärker der bakteriellen Degradation unterliegt.

Diese Einschätzung untermauern auch die Ergebnisse zu Reaktivitäts- und Degradationsindex. Je geringer die Werte sind, desto stärker ist die Degradation, wobei man RIs zwischen 20 und 0,2 und DIs zwischen +2,0 und -2,0 vorfindet (Dauwe und Middelburg 1998, Jennerjahn und Ittekkot 1997). Die Durchschnittswerte beider Indizes der Sinkstoffe, RI = 4,82 und DI = 0,35, deuten auf nur mäßig degradierte OM hin. Am geringsten ist der Abbau zum Beginn des Partikelflussmaximums (RI = 8,58 in Cup #14; DI = 0,80 in Cup #15). Die höchste Degradation besteht in den Monaten davor (Juni bis September) was die Einschätzung bestätigt, dass die hohe Remineralisierung zu Auftriebsbeginn besonders stark greift und Partikel länger in der euphotischen Zone hält.

Die Indizes zur Degradation geben auch Aufschluss über das Partikelflussmaximum Ende April (Cup #4). Mit RI = 4,36, DI = 0,49 und einem Gluam/Galam-Verhältnis von 2,95 handelt es sich im Vergleich der Monate davor und danach, um weniger degradierte, zooplanktonangereicherte Sinkstoffe, welche mit hoher Wahrscheinlichkeit aus der zwischensaisonalen Primärproduktion des Ozeanauftriebs in Januar und Februar stammen.

### **4.3 Vertikaler und lateraler Partikelfluss**

Laut Untersuchungen von Inthorn, Mohrholz und Zabel (2006) sind auf dem 23° Breitengrad mit intermediären Nepheloidschichten in der Wassersäule in 500 m und 1000 m zu rechnen, welche an Schelfkanten aus dem BNL entspringen und so Partikel über weite Strecken in die Sinkstofffalle eintragen könnten. Um das Verhältnis von lateralem und vertikalem Eintrag abschätzen zu können, werden Vergleiche mit den, aus der Aminosäureanalyse hervorgehenden, Degradations- und Reaktivitätsindizes weiterer Standorte herangezogen, da man davon ausgeht, dass lateral eingetragene OM deutlich länger mikrobiellem Abbau unterlegen ist und stärker der selektiven Degradation unterliegt (Lee, Wakeham und Arnosti 2004). Vom Standort der Sinkstofffalle werden RI und DI der Wassersäule und von Oberflächensedimenten des 23°-Transekt miteinander verglichen. Da RI und DI ausreichend Auskunft über den mikrobiellen Abbau geben, soll hier auf einen Vergleich der einzelnen Aminosäuren verzichtet werden, die Daten dazu sind aber in Tabelle A10 im Anhang zu finden.

Ist die OM stärker degradiert als diejenige in der Sinkstofffalle, so ist deren Eintrag entweder sehr gering und die Degradationsindizes werden durch einen hohen vertikalen Eintrag (von weniger degradiertes OM) erhöht oder der laterale Eintrag ist nicht vorhanden. Zu beachten gilt auch, dass OM auch während des Transports zur Falle weiterhin mikrobiellem Abbau unterliegt und RI und DI daher niedriger eingeschätzt werden müssen, als sie am Standort selbst vorzufinden sind.

Das rein schematische Profil vom 23°-Transekt veranschaulicht die räumliche Verteilung der RI und DI (Abbildung 4-3). Hierbei ist zu beachten, dass die Werte der Sinkstofffalle

(Rechteck) von Dezember 2013 und die Proben der Wassersäule bzw. Sedimentoberfläche am Standort der Sinkstofffalle am 05.01.2014 genommen wurden. Im vertikalen Verlauf ist eine klare Degradationszunahme vom Chlorophyllmaximum (30 m) bis zum Meeresboden (2050 m) erkennbar. Die Sedimentproben der *FS Maria S. Merian* (siehe Tabelle 3-2), genommen im Februar 2011, zeigen alle niedrigere RI- und DI-Werte, weshalb ein lateraler Eintrag in die Sinkstofffalle gegen Null tendiert. Im Vergleich mit den Jahresminima der Sinkstofffalle liegt nur der RI-Wert des höchstgelegenen Beprobungsstandortes (Station #250, 350 m) über dem RI aus Cup #01 (RI = 3,11, Cup #01) und käme als Quelle eines lateralen Eintrags in Frage. Allerdings liegen zwischen Station #250 und der Sinkstofffalle ca. 90 km. Bei einer Strömungsgeschwindigkeit von  $5 \text{ cm s}^{-1}$  würde die OM bis zum Erreichen der Verankerung weitere 21 Tage dem biologischen Abbau unterliegen, was den RI noch weiter senken würde und Station #250 als Partikelquelle unwahrscheinlich werden lässt. Ebenfalls dagegen spricht, dass zur selben Zeit der DI mit 0,28 den des Sediments von Station #250 übersteigt. Betrachtet man den RI von Station #242, dann liegt dieser unterhalb des RI von Station #010, was der Zunahme der Degradation mit der Tiefe bzw. Entfernung von der Küste widerspricht. Gleichzeitig ist der DI von Station #242 höher als der von Station #010. Dies zeigt, dass als Kriterium für einen lateralen Eintrag beide Indizes genutzt werden sollten, um Analysefehler zu minimieren.

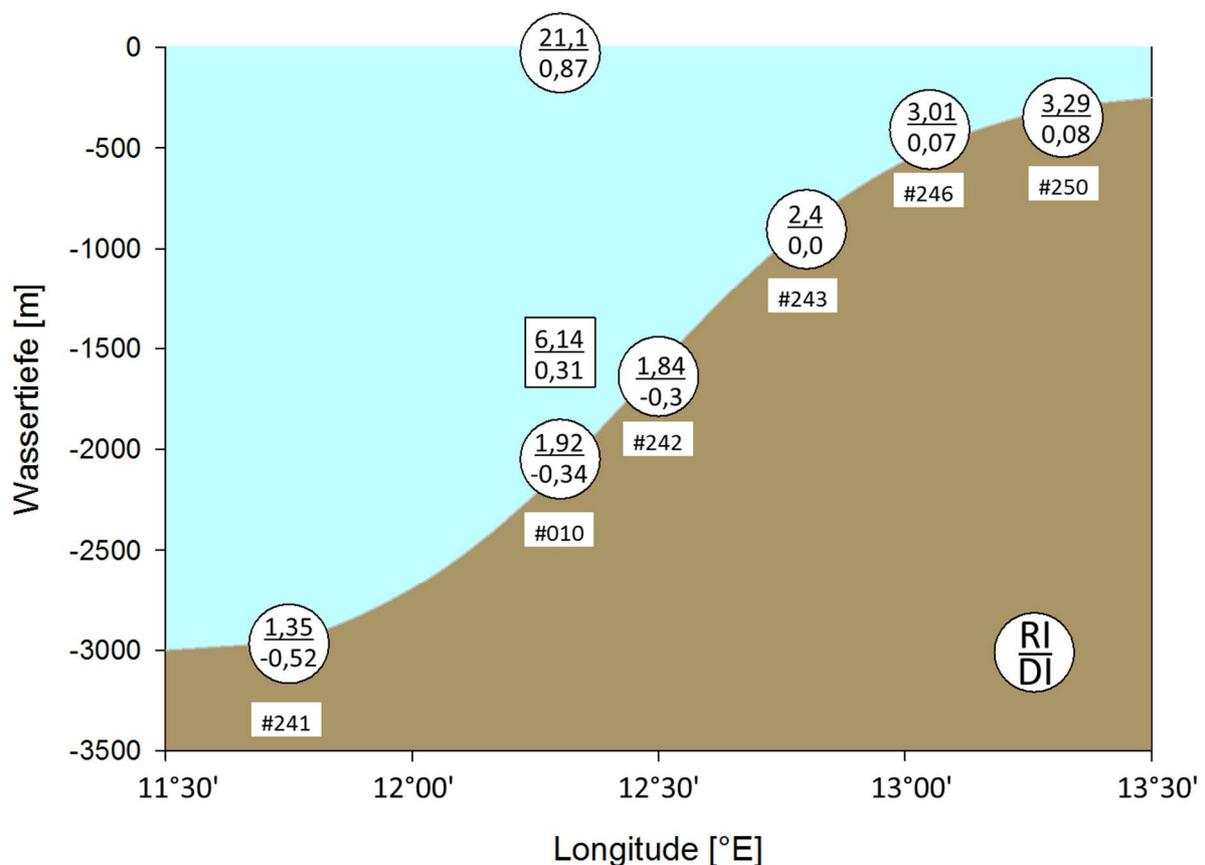


Abbildung 4-3: Schematisches Profil vom 23°-Transekt mit RI und DI der Fahrten von *FS Maria S. Merian* und *FS Meteor*. RI und DI der Sinkstofffalle sind im Rechteck, die übrigen Werte in Kreisen notiert. Zur Orientierung sind die Stationen darunter notiert.

Ein lateraler Eintrag von Partikeln aus der unmittelbaren Nähe, wie bei Antia, Bodungen und Peinert (1999) (vgl. Abbildung 1-1) beschrieben, ist mit Aminosäureanalysen von Proben der Wassersäule weiter aufschlüsselbar, welche hier aber nicht vorlagen. Festzustellen ist, dass ein lateraler Eintrag vom Schelf höchst unwahrscheinlich ist.

#### 4.4 Regionaler Vergleich der Partikelflüsse

Zum Vergleich der Partikelflüsse anderer Regionen im Benguela-Auftriebsgebiet wurden die Untersuchungen der Fallen WR 2 (Wefer und Fischer 1993) und NU 2 (Fischer 2003) am Kontinentallhang und East #01 (Libuku 2014) auf dem Schelf einbezogen (Abbildung 4-4).

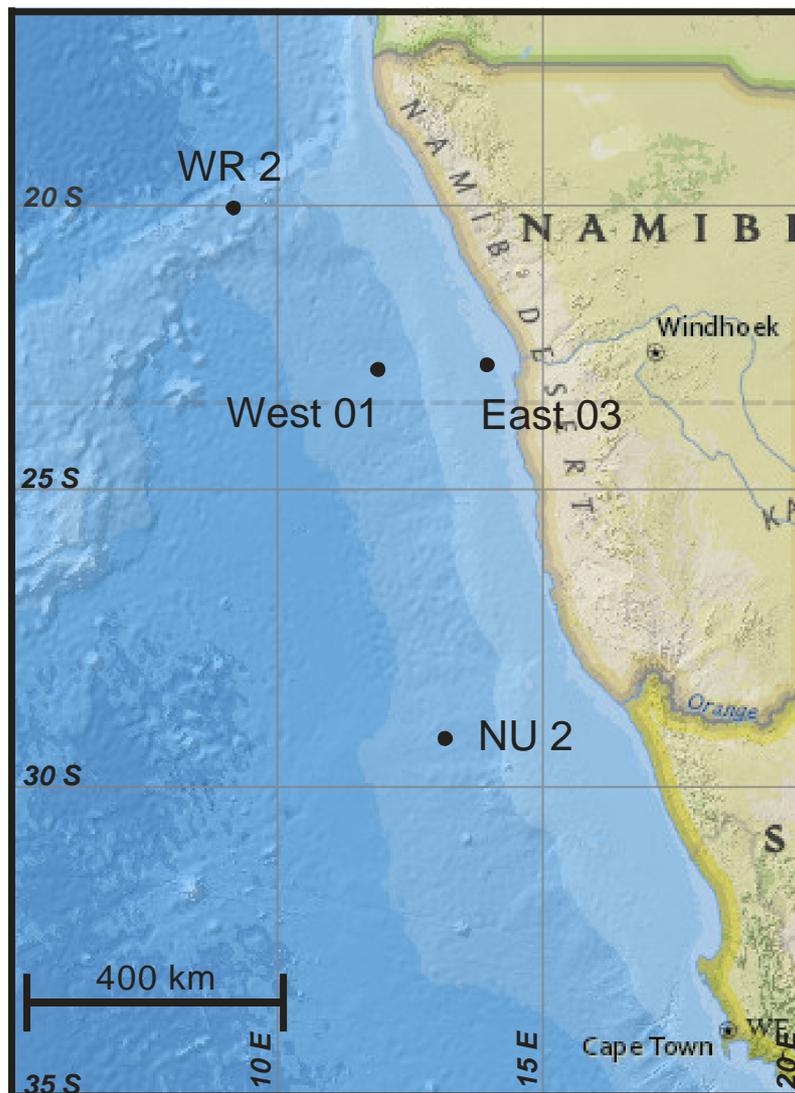


Abbildung 4-4: Übersichtskarte mit den Positionen der vier Sinkstofffallen NU 2, West #01, WR 2 und East #03. (NOAA Homepage 2014)

Kriterium für die Auswahl waren zum einen deren Positionierung zwischen dem 20° und 29° Breitengrad vor der Küste Namibias, zum anderen sollten sie den Partikelfluss von einem Jahr in einer Auflösung von mindestens 10 Intervallen wiedergeben können. Daher wurden Ergebnisse weiterer Fallen von Wefer und Fischer (1993) und Fischer (2003) nicht berücksichtigt (Tabelle 4-1).

*Tabelle 4-1: Angaben der vier Sinkstofffallen mit Koordinaten, Beprobungszeitraum, Intervallen, sowie Trichter- und Wassertiefe.*

Bezeichnung	Koordinaten	Zeitraum	Intervalle	Trichtertiefe	Wassertiefe
				[m]	[m]
East #03	23°01.350'S 14°01.667'E	20.01.2013-31.12.2013	11	57	130
West #01	23°02.556'S 12°18.505'E	20.01.2013-31.12.2013	20	1518	2050
WR 2	20°02.800'S 09°09.300'E	18.03.1989-13.03.1990	20	599	2196
NU 2	29°12.000'S 13°70.020'E	20.01.1992-03.02.1993	20	2516	3055

Da zu den Fallen nicht immer die gleichen Laboranalysen durchgeführt wurden, sollen hier nur Gesamtpartikelfluss in Menge und Saisonalität, sowie die Verteilung der vier Hauptkomponenten und der Wirkungsgrad der biologischen Pumpe ( $C_{org}/C_{carb}$ ) verglichen werden. Aus Tabelle 4-2 geht hervor, dass die küstennahe East #03 den höchsten Gesamtpartikelfluss von  $607,7 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$  aufweist. Dahinter kommen die Fallen West #01, WR 2 und NU 2 mit deutlich niedrigeren Flussraten (weitere Daten im Anhang, Tabelle A11).

*Tabelle 4-2: Gesamtpartikelfluss und dessen Einzelkomponenten aller vier Sinkstofffallen*

	East #03		West #01		WR 2		NU 2	
	[ $\text{g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ]	[%]	[ $\text{g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ]	[%]	[ $\text{g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ]	[%]	[ $\text{g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ]	[%]
Gesamtpartikelfluss	607.7		84.5		48.8		30.7	
CaCO <sub>3</sub>	47	7.7	52.3	61.9	30.9	63.3	21.3	69.4
davon: C <sub>carb</sub>	5.6	0.9	6.3	7.5	3.7	7.6	2.6	8.5
Opal	367.3	60.4	15.9	18.8	4.10	8.4	1.9	6.2
Organische Masse	132.3	21.8	8.9	10.5	9.1	18.6	2.8	9.1
davon C <sub>org</sub>	73.5	12.1	5.0	5.9	4.6	9.4	1.4	4.6
Lithogenes Material	61.2	10.1	7.3	8.6	10.4	21.3	4.4	14.3
C <sub>org</sub> /C <sub>carb</sub>	13.1	2.2	0.8	0.9	1.2	2.5	0.5	1.6

In der Zusammensetzung unterscheiden sich die drei Fallen vom Kontinentalhang von der auf dem Schelf: wie bereits in Kapitel 4.2 erläutert, dominiert der Karbonatanteil deutlich über den anderen drei Komponenten. Auf dem Schelf hingegen stellt das  $\text{CaCO}_3$  die geringste Menge, der größte Anteil entfällt auf biogenes Opal, gefolgt von OM und lithogenem Material. Der Unterschied zwischen Kontinentalhang- und Schelfsinkstoffen ist nochmals als Tortendiagramm in Abbildung 4-5 visualisiert (die Zusammensetzung von WR 2, NU 2 und West #01 sind als Mittelwerte stellvertretend für den Kontinentalhang dargestellt).

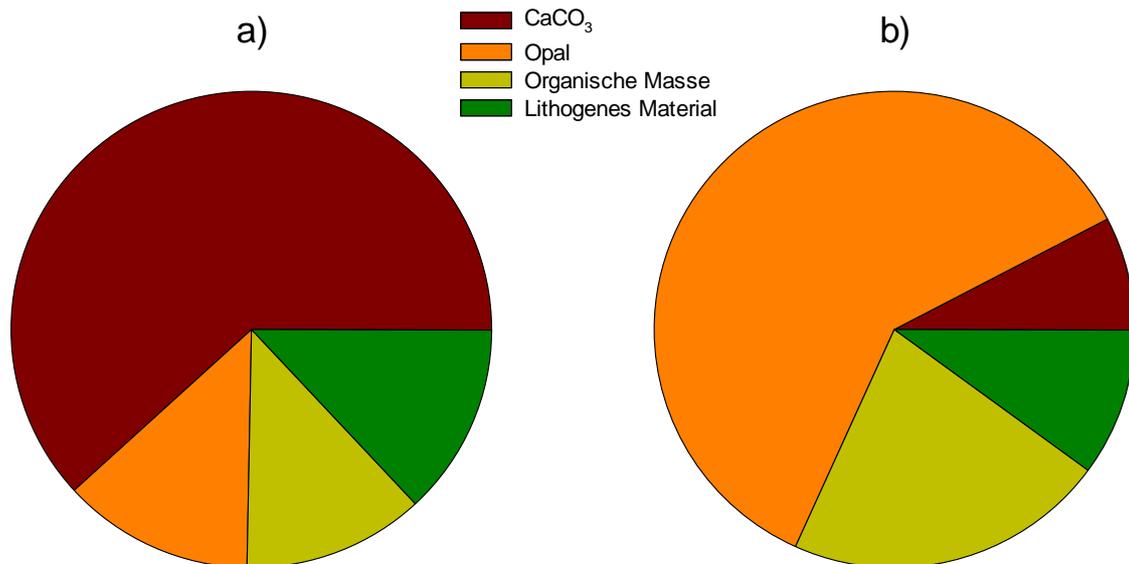


Abbildung 4-5: Tortendiagramm der prozentualen Zusammensetzung der Sinkstofffallenproben a) vom Kontinentalhang und b) vom Schelf.

Als Folge dieser Zusammensetzung unterscheidet sich der Wirkungsgrad der biologischen Pumpe, der mit einem  $C_{\text{org}}/C_{\text{carb}}$ -Verhältnis von 13,1 am Standort East #03 der höchste ist, um das 10- bis 26-fache der Werte am Kontinentalhang. Damit nimmt der Schelf gegenüber dem Kontinentalhang eine wesentlich bedeutendere Rolle beim Export von  $C_{\text{org}}$  ein, welche jedoch gleichzeitig durch das Auftreten von OMZs, Methaneruptionen und Meeresspiegelschwankungen hinsichtlich der Langzeitsequestrierung Einschränkungen erfährt (Inthorn et al. 2006).

Grund für die Verteilung von  $\text{CaCO}_3$  und Opal auf Schelf und Kontinentalhang sind die verschiedenen Planktonökosysteme in Abhängigkeit von physikalischen und chemischen Bedingungen. In den Auftriebszellen an der Küste, dort wo das Tiefenwasser zuerst an die Oberfläche kommt, ist die Verfügbarkeit von Silizium gegenüber der übrigen Region am besten und fördert das silikatische Planktonwachstum. Coccolithophoriden und andere Karbonatschaler werden hier nicht nur verdrängt, sondern gedeihen besser in weitaus stabileren Wassersäulen abseits der Küste (Wefer und Fischer 1993).

Da der Partikelfluss hauptsächlich vertikal stattfindet, lassen sich hier nach Suess (1980), Pace et al. (1987) und Berger, Smetacek und Wefer (1989) die jährliche Primärproduktion und nach Martin et al. (1987) die Exportrate für organischen Kohlenstoff berechnen, um sie

mit anderen Untersuchungen vergleichen zu können. In Tabelle 4-3 wurden zu allen vier Standorten Primärproduktion und Exportrate berechnet. Für alle vier Fallen wurde die Tiefe der Durchmischung (*mixed layer depth*) auf 100 m festgelegt. Daher liegt für die Falle East #03 die Exportrate unterhalb des Partikelflusses.

Mit einer jährlichen Flussrate des organischen Kohlenstoffs der Falle West #01 von  $5,0 \text{ g C}_{\text{org}} \text{ m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$  an der Sinkstofffalle in 1518 m Wassertiefe ergibt sich ein mittlerer Wert von  $236,1 \text{ g C}_{\text{org}} \text{ m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$  für die Primärproduktion, die Exportrate liegt für 100 m Wassertiefe bei  $54,3 \text{ g C}_{\text{org}} \text{ m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$  (Berechnungen siehe Anhang IV und V). Somit werden 23,0% des organischen Kohlenstoffs der Primärproduktion exportiert und es gelangen 2,1% bis zur Sinkstofffalle. Da sich die Sinkstofffalle 532 m über dem Meeresboden befand, ist damit zu rechnen, dass die Akkumulation von  $\text{C}_{\text{org}}$  am Meeresboden kleiner der Menge in der Sinkstofffalle ist ( $< 2,1\%$ ), da es dort erst nach fünf weiteren Tagen Absinkens und Degradation abgelagert wird.

Vergleicht man die errechnete Primärproduktion für das Benguela-Auftriebsgebiet mit Untersuchungsergebnissen von Chavez und Messié (2009), so läge nach deren Schätzungen diese, bei einem mittleren Chlorophyll- $\alpha$ -Gehalt von  $0,92 \text{ mg m}^{-3}$ , bei ca.  $290 \text{ g C}_{\text{org}} \text{ m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ . Dies lässt auf eine realistische Einschätzung der Primärproduktion für den Standort West #01 schließen. Im Vergleich mit den weltweiten Exportraten, untersucht von Honjo et al. (2008), liegt der  $\text{C}_{\text{org}}$ -Partikelfluss von West #01 mit  $328 \text{ mmol C}_{\text{org}} \text{ m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$  etwa dreifach über dem globalen Durchschnitt ( $120 \text{ mmol C}_{\text{org}} \text{ m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ) und um ca.  $70 \text{ mmol C}_{\text{org}} \text{ m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$  über dem Durchschnitt der Region der südlichen afrikanischen Westküste. (Honjo et al. (2008) berechneten die Partikelflüsse auf 2000 m in mmol mit der Martinformel mit  $-b = 0,86$ .)

*Tabelle 4-3: Berechnung der Primärproduktion und Exportrate aus dem Partikelfluss der vier Sinkstofffallen. Da sich East #03 noch in der euphotischen Zone befand, ist die Exportrate dementsprechend niedriger als der Partikelfluss.*

	East #03		West #01	
	$[\text{g C}_{\text{org}} \text{ m}^{-2} \text{ yr}^{-1}]$	[%]	$[\text{g C}_{\text{org}} \text{ m}^{-2} \text{ yr}^{-1}]$	[%]
Primärproduktion	271,4		236,1	
Exportrate	44,8	16,5	54,3	23,0
Partikelfluss	73,5	27,1	5,0	2,1

	WR 2		NU 2	
	$[\text{g C}_{\text{org}} \text{ m}^{-2} \text{ yr}^{-1}]$	[%]	$[\text{g C}_{\text{org}} \text{ m}^{-2} \text{ yr}^{-1}]$	[%]
Primärproduktion	116,3		96,2	
Exportrate	24,6	21,2	23,9	24,8
Partikelfluss	5,1	4,4	1,4	1,5

Bei der Betrachtung der Exportrate fällt auf, dass auf dem Schelf 16,5% und am Kontinentalhang 21,2 bis 24,8% exportiert werden. Dies widerspricht den Erkenntnissen von Wefer und Fischer (1991) laut dessen die Exportrate für das offene Meer bei 10% gegenüber dem Schelf mit 25% liegt. Ebenfalls widersprüchlich ist, dass Untersuchungen von Barlow et al. (2009) für die Primärproduktion auf dem Schelf einen Wert von  $602 \text{ g C}_{\text{org}} \text{ m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$  ansetzen, hier läge die Exportrate nur noch bei 7,4%. Dies zeigt, dass ein Vergleich von Partikelflüssen auf rechnerischer Basis fehlerbehaftet ist und nur durch Messungen verifiziert werden kann.

Bei der Betrachtung der saisonalen Verteilung des Partikelflusses sind auch hier deutliche Unterschiede zwischen Kontinentalhang und Schelf zu entdecken (Abbildung 4-6). Alle drei Standorte am Kontinentalhang zeigen ein bimodales Flussmuster, sowohl zur Auftriebssaison, als auch zu Beginn des Jahres zum Ozeanauftrieb. In WR 2 und NU 2 sind die Partikelflüsse im Südwinter sogar größer als zum Auftrieb im Südfrühling. Die saisonalen Muster verlaufen von Süden nach Norden zeitlich versetzt: das Maximum von NU 2 (Ende Februar) erscheint 60 Tage später als zweites Maximum von West #01 (Ende April) und wiederum 40 Tage später in der Falle WR 2. Der Abstand der Fallen NU 2 und West #01 ist mit etwa 530 km ungefähr ein Drittel größer als zwischen West #01 und WR 2 (ca. 320 km). Hieraus lässt sich kein eindeutiger zeitlich-räumlicher Zusammenhang zwischen den Breitengraden interpretieren, da es sich um Untersuchungen aus drei verschiedenen Jahren handelt. Dennoch scheint die bimodale Verteilung des Partikelflusses jährlich aufzutreten und die Partikelflussmaxima immer im selben zeitlichen Abstand (4,5-5,5 Monate) vorzukommen, also ein wiederkehrendes Muster nachzuzeichnen. Die Aussage von Chavez und Messié (2009), dass Ozeanauftrieb ca.  $\frac{1}{4}$  des Auftreibsvolumens ausmacht ist in den drei vorliegenden Fällen naheliegend.

Die Saisonalität des Gesamtpartikelflusses der East #03 ist ausschließlich vom Küstenauftrieb geprägt und besitzt das Partikelflussmaximum Ende Oktober Anfang November, etwa zeitgleich wie es auch in West #01 auftritt. Die Aussage, dass Ozeanauftrieb nur abseits der Küsten auftritt (Mohrholz et al. 2014) kann in diesem Fall bestätigt werden.

Die niedrige Flussrate Ende August Anfang September (Cup #08) ist unter Umständen auf eine Beschädigung des Probencups durch Robbenbisse (Lahajnar, pers. Kommunikation) zurückzuführen und wird daher nicht gewichtet.

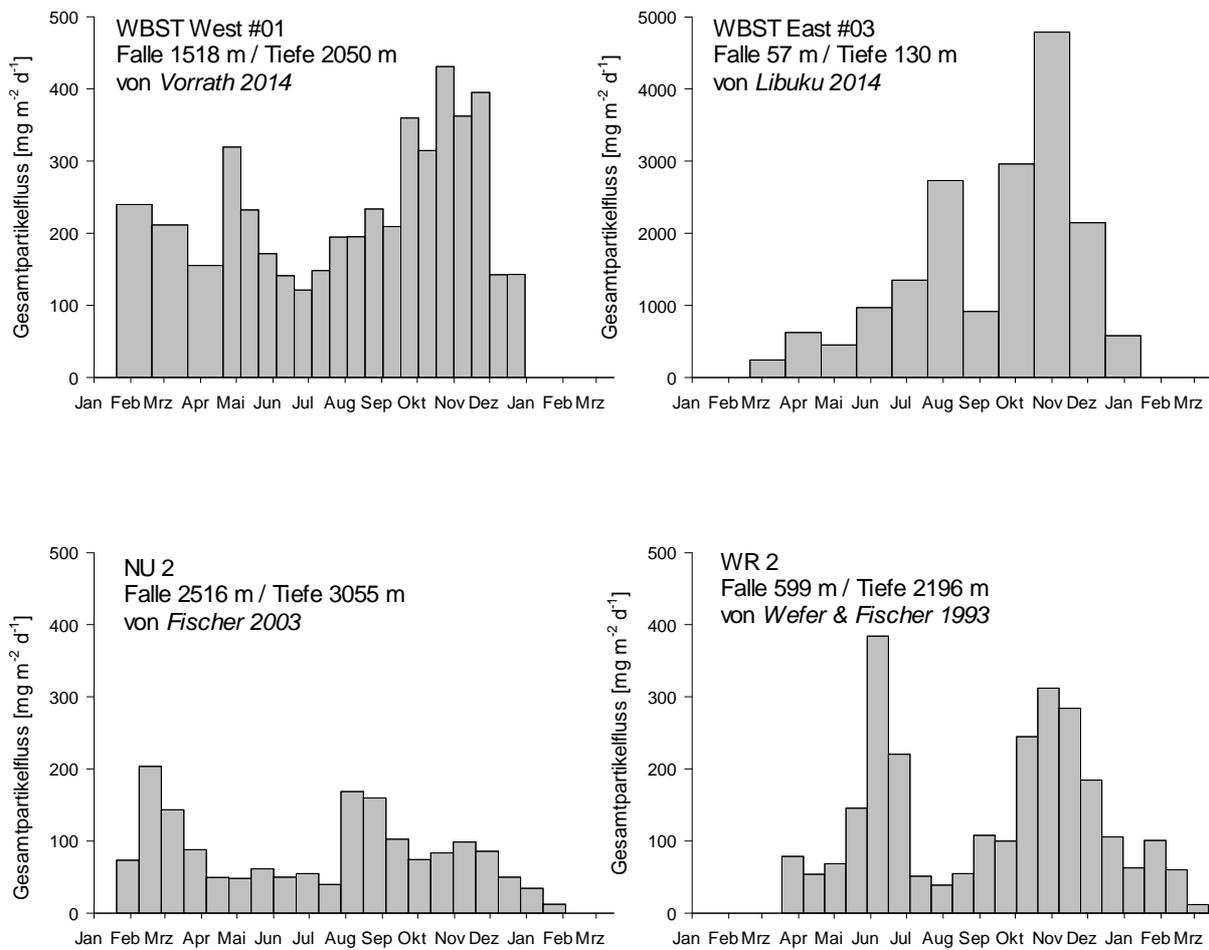


Abbildung 4-6: Menge und saisonale Verteilung des Gesamtpartikelflusses der vier Sinkstofffallen im Benguela-Auftriebsgebiet.

## 5 Zusammenfassung

Die Untersuchung der Stoffflüsse am Kontinentalhang ergibt ein umfassendes Bild der biologischen und physikalischen Einflüssen auf den Partikelfluss im fischreichen und wirtschaftlich bedeutsamen Benguela-Auftriebsgebiet. Die Gesamtpartikelflussmenge von  $84,5 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$  verteilt sich auf zwei Phasen. Der Küstenauftrieb sorgt von August bis November mit einer 30-tägigen Verzögerung für maximale Flussraten von  $430,7 \text{ mg m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ . Die erhöhten Flussraten durch Ozeanauftrieb im Südwinter können mit ozeanographischen Parametern weniger gut nachgewiesen werden. Flussmengen und saisonale Verteilung lassen sich in bisherigen Untersuchungen vom Kontinentalhang des Benguela-Auftriebsgebietes mit großer Ähnlichkeit wiederfinden.

Der Einfluss des Auftriebs kann anhand von Winddaten bestätigt werden. Daten der Oberflächentemperatur sind, durch sinkende Insolation im Südwinter, nicht aussagekräftig genug. Da Satellitendaten die Primärproduktion durch Verlagerung der Blüte in tiefere Wasserschichten nur lückenhaft widerzugeben scheinen, konnte anhand dieser Daten ebenfalls kein Zusammenhang festgestellt werden. Hier besteht Bedarf an der Benutzung einer alternativen Quellen für POC-Daten, die die gesamte euphotische Zone erfassen.

Die Zusammensetzung des, zu 62%  $\text{CaCO}_3$  enthaltenden, Partikelflusses bestätigt ebenfalls bisherige Untersuchungen von Wefer und Fischer (1993) am Kontinentalhang. Bei der Planktonblüte handelt es sich um ein typisches, durch Karbonatschaler geprägtes Offshore-Ökosystem. Dementsprechend gering ist der Wirkungsgrad der biologischen Pumpe, obwohl die Menge des exportierten organischen Kohlenstoffs (hier bei 100 m) die des Schelfs übersteigt.

Die zweitgrößte Hauptkomponente aus silikatischem Plankton, biogenes Opal, steigt durch Küstenauftrieb von durchschnittlich 17% auf bis zu ein Drittel der Gesamtmenge an. Die OM stammt hauptsächlich aus mariner Produktion. Der Ursprung von lithogenem Material ist anhand der Daten nicht ermittelbar. Beide Komponenten machen zusammen nur 16,2% am Gesamtfluss aus.

Die nur mäßige Degradation der Sinkstoffe zeigt das Bild eines, hauptsächlich durch vertikalen Transport, von Primärproduktion beeinflussten Partikelflusses, welches durch diverse Parameter (Gluam/Galam  $\emptyset$  3,0; RI  $\emptyset$  4,8; DI  $\emptyset$  0,4) unterstrichen wird. Die stärkere Degradation zu Beginn des Küstenauftriebs sowie die Zusammensetzung der Planktonblüte erklären die Verzögerung von 30 Tagen zwischen Produktion und Erreichen der Sinkstofffalle: hohe Remineralisierungsraten im oligotrophen Oberflächenwasser zu Beginn des Planktonwachstums lassen nur schwere und resistente Partikel absinken (hauptsächlich große Karbonatschaler). Mit einer zunehmenden Nährstoffanreicherung durch anhaltenden Auftrieb kommt es zu weniger starkem Abbau, wodurch mehr Aggregatbildung möglich wird und auch leichte und labile Silikatschaler in die Falle gelangen, wie es der Anstieg des Opalgehalts zwischen September und November beweist.

Die Analyse von Aminosäuren entlang des 23°-Transektiv konnte zeigen, dass lateraler Eintrag vom Schelf in die Sinkstofffalle vernachlässigbar. Ein lateraler Eintrag aus der Wassersäule konnte mit den vorliegenden Daten jedoch nicht ausgeschlossen werden. Hier bestünde die Möglichkeit, durch weitere Aminosäureanalysen der Wassersäule entlang des

23°-Transekt, sowie an Standorten nördlich und südlich davon, ein 3D-Modell hinsichtlich der Verlagerung von Partikelflüssen durch Strömungen zu erstellen.

Der Vergleich mit weiteren Sinkstofffallen zeigt, dass der Partikelfluss auf dem Schelf deutlich höher ist als auf dem Kontinentalhang und auch die biologische Pumpe, aufgrund der silikatdominierten Planktonblüte, hier eine größere Wirkung erzielt, obwohl es nur zu einem jährlichen Partikelflussmaximum durch Küstenauftrieb kommt. Die errechneten Exportraten hingegen, welche größere Raten für den Kontinentalhang zeigen, widersprechen bisherigen wissenschaftlichen Erkenntnissen, weshalb hier durch weitere Probennahmen Näherungswerte ermittelt werden sollten. Widersprüche zwischen berechneten und gemessenen Daten von Primärproduktion und Exportraten müssen generell in der Bewertung der Ergebnisse berücksichtigt werden. Gegebenenfalls müssen für verschiedene Ozeanmilieus (küstennah/fern oder oligo- und eutroph) auch verschiedene Berechnungskonzepte entworfen und durch Messungen verifiziert werden.

Die bimodale Partikelflussverteilung der Kontinentalhänge ist in allen Fällen bedingt durch Küsten- und Ozeanauftrieb und durch Karbonatschaler geprägt. Der Ozeanauftrieb leistet einen nicht unerheblichen Teil zum Gesamtpartikelfluss (ca.20-28%). Die Auftriebsereignisse auf offener See scheinen zeitlich versetzt in Abhängigkeit des Breitengrads aufzutreten, was aber wegen der wenigen Untersuchungszeiträume und lückenhaften Daten nicht als sicher angenommen werden kann. Der Ansatz für eine Untersuchung könnte hier eine Datenauswertung der auftriebsanzeigenden Parameter über möglichst viele Jahre hinweg sein, um zu beobachten, ob es sich nur um annuare Schwankungen oder wiederkehrende, räumlich-zeitliche Zusammenhänge handelt.

Abschließend ist zu sagen, dass der Partikelfluss am Kontinentalhang zwar am Rande des Auftriebsgebietes stattfindet, dennoch unter Einfluss von Küsten- und Ozeanauftrieb und trotz teilweise gegensätzlicher Eigenschaften zum Schelf angesichts seiner Ausdehnung einen Beitrag zum  $C_{org}$ -Export leistet. Trotz der geringen Akkumulation am Meeresboden wird doch ein erheblicher Teil aus der euphotischen Zone exportiert. Kenntnis über den Verbleib der in der euphotischen Zone verbleibenden Primärproduktion liegt derzeit nicht vor.

## 6 Literatur

- Allredge, A. und Silver, M. (1988): Characteristics, dynamics and significance of marine snow. In: *Progress in Oceanography*, Vol. 20, Nr. 1, S. 41–82.
- Antia, N., Bodungen, B. von und Peinert, R. (1999): Particle flux across the mid-European continental margin. In: *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, Vol. 46, Nr. 12, S. 1999–2024.
- Bakun, A., Field, D., Redondo-Rodriguez, A. und Weeks, S. (2010): Greenhouse gas, upwelling-favorable winds, and the future of coastal ocean upwelling ecosystems. In: *Global Change Biology*, Vol. 16, Nr. 4, S. 1213–1228.
- Barlow, R., Lamont, T., Mitchell-Innes, B., Lucas, M. und Thomalla, S. (2009): Primary production in the Benguela ecosystem, 1999–2002. In: *African Journal of Marine Science*, Vol. 31, Nr. 1, S. 97–101.
- Benner, R. und Kaiser, K. (2003): Abundance of amino sugars and peptidoglycan in marine particulate and dissolved organic matter. In: *Limnology and Oceanography*, Vol. 48, Nr. 1, S. 118–128.
- Berger, W., Smetacek, V. und Wefer, G. (1989): *Productivity of the ocean: Present and past : report of the Dahlem Workshop on Productivity of the Ocean, Present and Past, Berlin 1988, April 24-29, Chichester [England], New York.*
- Carlo Erba NA-1500 Analyzer Handbuch.
- Carr, M.-E. (2001): Estimation of potential productivity in Eastern Boundary Currents using remote sensing. In: *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, Vol. 49, 1-3, S. 59–80.
- Cermak, J. (2012): Low clouds and fog along the South-Western African coast — Satellite-based retrieval and spatial patterns. In: *Atmospheric Research*, Vol. 116, S. 15–21.
- Chavez, F. und Messié, M. (2009): A comparison of Eastern Boundary Upwelling Ecosystems. In: *Progress in Oceanography*, Vol. 83, 1-4, S. 80–96.
- Chen, C.-T., Liu, K.-K. und Macdonald, R. (2003): *Continental Margin Exchanges*, In: *Ocean Biogeochemistry*, M.J.R. Fasham (Hrsg.), Berlin, Heidelberg.
- Dauwe, B. und Middelburg, J. (1998): Amino acids and hexosamines as indicators of organic matter degradation state in North Sea sediments. In: *Limnology and Oceanography*, Vol. 43, Nr. 5, S. 782–798.
- Degens, E. und Ittekkot, V. (1984): A new look at clay-organic interactions. In: *Mitteilungen aus dem Geologisch-Paläontologischen Institut der Universität Hamburg*, Vol. 56, S. 229–248.
- Demarcq, H. (2009): Trends in primary production, sea surface temperature and wind in upwelling systems (1998–2007). In: *Progress in Oceanography*, Vol. 83, 1-4, S. 376–385.
- Ekman, V. (1905): On the influence of the earth's rotation on ocean currents. In: *Arkiv för Matematik, Astronomi och Fysik*, Vol. 2, Nr. 11, S. 1–53.
- Fischer, G. (2003): Particle fluxes of trap NU2. doi: 10.1594/PANGAEA.115858.
- Francois, R., Honjo, S., Krishfield, R. und Manganini, S. (2002): Factors controlling the flux of organic carbon to the bathypelagic zone of the ocean. In: *Global Biogeochemical Cycles*, Vol. 16, Nr. 4, S. 34-1.

- Gaye, B., Nagel, B., Dähnke, K., Rixen, T., Lahajnar, N. und Emeis, K.-C. (2013): Amino acid composition and  $\delta^{15}\text{N}$  of suspended matter in the Arabian Sea: implications for organic matter sources and degradation. In: *Biogeosciences*, Vol. 10, Nr. 11, S. 7689–7702.
- González, H., Daneri, G., Iriarte, J., Yannicelli, B., Menschel, E., Barría, C., Pantoja, S. und Lizárraga, L. (2009): Carbon fluxes within the epipelagic zone of the Humboldt Current System off Chile: The significance of euphausiids and diatoms as key functional groups for the biological pump. In: *Progress in Oceanography*, Vol. 83, 1-4, S. 217–227.
- Hecky, R., Mopper, K., Kilham, P. und Degens, E. (1973): The amino acid and sugar composition of diatom cell-walls. In: *Marine Biology*, Vol. 19, Nr. 4, S. 323–331.
- Honjo, S., Manganini, S., Krishfield, R. und Francois, R. (2008): Particulate organic carbon fluxes to the ocean interior and factors controlling the biological pump: A synthesis of global sediment trap programs since 1983. In: *Progress in Oceanography*, Vol. 76, Nr. 3, S. 217–285.
- Hutchings, L., van der Lingen, C.D., Shannon, L., Crawford, R., Verheye, H., Bartholomae, C., van der Plas, A.K., Louw, D., Kreiner, A., Ostrowski, M., Fidel, Q., Barlow, R., Lamont, T., Coetzee, J., Shillington, F., Veitch, J., Currie, J. und Monteiro, P. (2009): The Benguela Current: An ecosystem of four components. In: *Progress in Oceanography*, Vol. 83, 1-4, S. 15–32.
- Inthorn, M., Mohrholz, V. und Zabel, M. (2006): Nepheloid layer distribution in the Benguela upwelling area offshore Namibia. In: *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, Vol. 53, Nr. 8, S. 1423–1438.
- Inthorn, M., Wagner, T., Scheeder, G. und Zabel, M. (2006): Lateral transport controls distribution, quality, and burial of organic matter along continental slopes in high-productivity areas. In: *Geology*, Vol. 34, Nr. 3, S. 205.
- Jennerjahn, T. und Ittekkot, C.E.V. (1997): Organic matter in sediments in the mangrove areas and adjacent continental margins of Brazil: I. Amino acids and hexosamines. In: *Oceanologica Acta*, Vol. 20, Nr. 2, S. 359–369.
- King, K. (1977): Amino acid survey of recent calcareous and siliceous deep-sea microfossils. In: *Micropaleontology*, Vol. 23, Nr. 2, S. 188–193.
- Lee, C., Wakeham, S. und Arnosti, C. (2004): Particulate organic matter in the sea: the composition conundrum. In: *Ambio*, Vol. 33, Nr. 8, S. 565–575.
- Libuku, V. (2014): Temporal variability in the inshore particle fluxes of the Benguela current upwelling system of Namibia. Masterarbeit, Universität Bremen.
- Martin, J., Knauer, G., Karl, D. und Broenkow, W. (1987): VERTEX: carbon cycling in the northeast Pacific. In: *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, Vol. 34, Nr. 2, S. 267–285.
- Messié, M., Ledesma, J., Kolber, D., Michisaki, R., Foley, D. und Chavez, F. (2009): Potential new production estimates in four eastern boundary upwelling ecosystems. In: *Progress in Oceanography*, Vol. 83, 1-4, S. 151–158.
- Mohrholz, V., Eggert, A., Junker, T., Nausch, G., Ohde, T. und Schmidt, M. (2014): Cross shelf hydrographic and hydrochemical conditions and their short term variability at the northern Benguela during a normal upwelling season. In: *Journal of Marine Systems*.
- Monteiro, P., Nelson, G., van der Plas, A., Mabilhe, E., Bailey, G. und Klingelhoeffer, E. (2005): Internal tide—shelf topography interactions as a forcing factor governing the large-scale

- distribution and burial fluxes of particulate organic matter (POM) in the Benguela upwelling system. In: *Continental Shelf Research*, Vol. 25, Nr. 15, S. 1864–1876.
- Mortlock, R. und Froelich, P. (1989): A simple method for the rapid determination of biogenic opal in pelagic marine sediments. In: *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, Vol. 36, Nr. 9, S. 1415–1426.
- Nagel, B. (2014, in prep).
- Nieuwenhuize, J., Maas, Y. und Middelburg, J. (1994): Rapid analysis of organic carbon and nitrogen in particulate materials. In: *Marine Chemistry*, Vol. 45, Nr. 3, S. 217–224.
- Pace, M., Knauer, G., Karl, D. und Martin, J. (1987): Primary production, new production and vertical flux in the eastern Pacific Ocean. In: *Nature*, Vol. 325, Nr. 6107, S. 803–804.
- Shannon, L. und Nelson, G. (1996): The Benguela: Large scale features and processes and system variability, In: *The South Atlantic. Present and past circulation*, G. Wefer (Hrsg.), Berlin, New York.
- Suess, E. (1980): Particulate organic carbon flux in the oceans—surface productivity and oxygen utilization. In: *Nature*, Vol. 288, Nr. 5788, S. 260–263.
- Verardo, D., Froelich, P. und McIntyre, A. (1990): Determination of organic carbon and nitrogen in marine sediments using the Carlo Erba NA-1500 analyzer. In: *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, Vol. 37, Nr. 1, S. 157–165.
- Volk, T. und Hoffert, M. (1985): Ocean carbon pumps: Analysis of relative strengths and efficiencies in ocean-driven atmospheric CO<sub>2</sub> changes, In: *The Carbon Cycle and Atmospheric CO<sub>2</sub>: Natural Variations Archean to Present*, E.T. Sundquist und W.S. Broecker (Hrsg.), Washington, D. C.
- Wefer, G. und Fischer, G. (1991): Stofftransport zum Meeresboden: Eine Übersicht. In: *Naturwissenschaften*, Vol. 78, S. 1–6.
- Wefer, G. und Fischer, G. (1993): Seasonal patterns of vertical particle flux in equatorial and coastal upwelling areas of the eastern Atlantic. In: *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, Vol. 40, Nr. 8, S. 1613–1645.

## Verzeichnis der verwendeten Internetadressen

### GENUS Homepage

<http://genus.zmaw.de/>

(abgerufen am 08.09.2014)

### NASA Homepage

<https://earthdata.nasa.gov/labs/worldview>

(abgerufen am 29.09.2014)

### Wind-Daten

[http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCEP-NCAR/.CDAS-1/.DAILY/.Diagnostic/.above\\_ground/](http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCEP-NCAR/.CDAS-1/.DAILY/.Diagnostic/.above_ground/)

(abgerufen am 02.10.2014)

### SST-Daten Homepage

[http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCEP/.EMC/.CMB/.GLOBAL/.Reyn\\_SmithOIV2/weekly/](http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCEP/.EMC/.CMB/.GLOBAL/.Reyn_SmithOIV2/weekly/)

(abgerufen am 02.10.2014)

### POC-Daten Homepage Giovanni Ocean Data

[http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/G3/gui.cgi?instance\\_id=ocean\\_8day](http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/G3/gui.cgi?instance_id=ocean_8day)

(abgerufen am 27.07.2014)

### Homepage Universität Köln, Atlas of Namibia Project (2002): SFB „ACACIA“ Subproject E1: Hydrography of Namibia I: Rivers, basins, pans and lakes

[http://www.uni-koeln.de/sfb389/e/e1/download/atlas\\_namibia/index\\_e.htm](http://www.uni-koeln.de/sfb389/e/e1/download/atlas_namibia/index_e.htm)

(abgerufen am 02.10.2014)

# Anhang

## Verzeichnis der Anhänge

	Methoden	Seite
Anhang I	Abschätzung des Untersuchungsgebietes	55
Anhang II	Berechnung des lithogenen Materials	55
Anhang III	Zusammensetzung des Aminosäurenstandards	55
Anhang IV	Berechnung der Primärproduktion	55
Anhang V	Berechnung der Exportrate	56
	Analysen	
Tabelle A1	Chemische Parameter der Fallencups	56
Tabelle A2	Makroskopische Bestimmung der Sinkstoffe	57
Tabelle A3	Flussraten der Hauptkomponenten, C/N-Werte, sowie Corg und Ntot in Molkonzentration von WBST West #01	58
Tabelle A4	Absolute Mengen und Flussraten von Aminosäuren und -zuckern und Aminosäurenverhältnisse	59
Tabelle A5	Absolute Mengen der einzelnen Aminosäuren	60
Tabelle A6	Flussraten der einzelnen Aminosäuren	61
Tabelle A7	Einzelne Aminosäuren in mol%	62
Tabelle A8	Verhältnisse verschiedener Aminosäuren zueinander, RI und DI und mol% der Aminosäuregruppen	63
Tabelle A9	Satelliten-, Strömungsmesser- und Temperaturmesserdaten	64
Tabelle A10	Daten der Aminosäuren entlang des 23°-Transekts und der Wassersäule von Station #010	65
Tabelle A11	Basisdaten der Sinkstofffallen NU 2, WR 2 und East #03	66

### **Anhang I**

Abschätzung des Radius  $r$  des Untersuchungsgebietes unter Einbezug von Sink- und Strömungsgeschwindigkeit, sowie der Wassersäule mit folgenden Annahmen:

Sinkgeschwindigkeit der Partikel  $v_p = 100 \text{ m d}^{-1} = 1,157 \cdot 10^{-3} \text{ m s}^{-1}$

Strömungsgeschwindigkeit an der Oberfläche  $v_o = 5 \text{ cm s}^{-1} = 0,05 \text{ m s}^{-1}$

Wassersäule zwischen Meeresoberfläche und Fallentrichter  $s_f = 1518 \text{ m}$

$$r = v_o * \frac{s_f}{v_p} = 0,05 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \frac{1518 \text{ m}}{1,157 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 65577,6 \text{ km} = 65,6 \text{ km} \quad (\text{F1})$$

Der Radius  $r$  des Untersuchungsgebietes liegt bei 65,6 km.

### **Anhang II**

Berechnung des lithogenen Anteils (*Lith*) am Gesamtfluss nach Francois et al. (2002):

$$\text{Lith} = \text{Gesamtfluss} * [100 - (\text{OM}\% - \text{CaCO}_3\% - \text{Opal}\%)] \quad (\text{F2})$$

### **Anhang III**

Manuell zugegebene Aminosäuren und –zucker zum Standard Sigma AA-S-18:

- Taurin
- Cysteinsäure
- $\beta$ -Alanin
- $\gamma$ -Aminbuttersäure
- Ornithin
- Methylsulfoxid
- Glucosamin
- Galactosamin

### **Anhang IV**

Berechnung der Primärproduktion  $PP$  mit Trichtertiefe  $z =$  je nach Falle [m]

$$\text{- nach Suess (1980): } PP = C_{\text{org}} * (0,0238 * z + 0,212) \quad (\text{F3})$$

$$\text{- nach Pace et al. (1987): } PP = \frac{C_{\text{org}}}{3,523 * z^{-0,734}} \quad (\text{F4})$$

$$\text{- nach Berger, Smetacek und Wefer (1989): } PP = \frac{C_{\text{org}}}{9 * z^{-1} + 0,7 * z^{-0,5}} \quad (\text{F5})$$

## Anhang V

Berechnung der Exportrate  $Flux_{exp}$  nach Martin et al. (1987):

Jährlicher Gesamtpartikelfluss  $Flux_{tot}$  = je nach Falle [g C<sub>org</sub> m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>]

Trichtertiefe  $z$  = je nach Falle [m]

Mixed layer depth  $MLD$  = 100 m

$b = -0,88$

$$Flux_{exp} = \frac{Flux_{tot}}{\left(\frac{z}{MLD}\right)^{-b}} \quad (F6)$$

Tabelle A 1: Chemische Parameter der Fallencups

Cruise: M 103

Mooring: WBST West

Date: 17.02.2014

Name: Elena Vorrath

Cup No.	Sediment- Load [cm]	Salinity [PSU]	pH	Oxygen [mg/l]	Remarks
#01	3.0	48.0	7.56	7.22	-
#02	3.0	47.7	7.63	7.30	-
#03	2.5	44.9	7.65	7.35	-
#04	2.0	47.9	7.71	7.39	-
#05	1.5	47.1	7.76	7.70	-
#06	1.0	48.9	7.86	7.75	-
#07	1.0	46.7	7.61	6.55	-
#08	0.8	47.9	7.69	7.50	-
#09	0.8	46.7	7.74	7.28	-
#10	1.0	47.6	7.75	7.20	-
#11	1.3	49.8	7.92	7.60	-
#12	2.0	49.2	7.82	7.47	-
#13	1.5	51.9	7.98	7.47	-
#14	8.5	49.9	7.86	6.16	-
#15	5.0	53.7	7.85	6.24	-
#16	5.5	52.4	7.85	7.49	-
#17	3.5	54.4	7.96	7.13	-
#18	5.5	48.3	7.69	6.71	-
#19	2.0	46.6	7.76	7.44	-
#20	2.0	49.4	7.93	7.48	-

Tabelle A 2: Makroskopische Bestimmung der Sinkstoffe

Mooring: WBST West 01

Person: Elena Vorrath und Victor Libuku

Cruise: M 103

Date: 21.02.2014

Cup No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Supernatant [ml]																				
Supernatant colour	ly																			
Particle Volume [ml]																				
Particle Colour	gb																			
Large amorphous aggregates	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	T	m	m	m	m	m	m
Coarse-Grained material																				
Fine-Grained material	M	M	M	m	m	T	T	T	T	T	T	T	T	-	T	-	-	T	T	-
Fecal pellets >1mm	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
Fecal pellets <1mm	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
Spicules																				
Crustaceans	2	3	1	2	3	2	1	1	3	-	1	-	2	1	2	1	1	1	2	-
Amphipodes																				
Copepodes	1																			
Ostracodes																				
Decapodes (shrimp)							1													
Dec. (euphausiid)																				
Decapodes (crab)																				
Mollusk																				
M. (pteropod)	4	4	75	12	17	12	20	4	-	1	-	2	1	-	2	1	3	1	2	2
Coelenterata (medusa)							2											2		
Cnidaria																				
Protozoa																				
P. Foraminifera		1																		
P. radiolaria																				
Chordata Thaliacea (salps)																				
Tintinnida																				
Fish Scales	15	2						1	11	22	7	1								1
Remarks			*1	*2			*3		*4	*4				*5	*6				*7	*7

Amount: M = Major (50-100 %) m = Minor (10-50 %) T = Trace (< 10%)

Remarks: ly = light yellow

gb = greenish brown

\*1 = pieces of pteropodes/shells (Trace)

\*2 = Crustacean parts/tentacles

\*3 = Decapode ~5cm

\*4 = 1x polychaete larvae

\*5 = amorph. aggregates very slimy, ~100 unidentified jelly "balls" (no fish eggs), 1x Crustacea ~4cm

\*6 = 1x Crustacea ~5cm

\*7 = unidentified jelly "balls" (no fish eggs), very slimy

Tabelle A 3: Flussraten der Hauptkomponenten, C/N-Werte, sowie  $C_{org}$  und  $N_{tot}$  in Molkonzentration von WBST West #01

Cup No.	Interval	Total flux [ $\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ]	Tot.C flux [ $\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ]	Tot.N flux [ $\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ]	Corg flux [ $\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ]	Org. Mat. flux [ $\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ]	CaCO3 flux [ $\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ]	Opal flux [ $\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ]	Lith. Mat. flux [ $\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ]
#01	20.01.2013 - 18.02.2013	239.98	31.78	2.02	16.00	28.81	131.46	47.60	32.12
#02	19.02.2013 - 20.03.2013	211.22	25.54	1.65	11.65	20.98	115.71	52.04	22.50
#03	21.03.2013 - 19.04.2013	155.35	22.24	1.31	9.44	16.99	106.65	19.33	12.38
#04	20.04.2013 - 04.05.2013	319.55	42.07	2.33	16.22	29.20	215.41	48.33	26.61
#05	05.05.2013 - 19.05.2013	232.19	31.62	2.06	14.67	26.40	141.27	40.41	24.11
#06	20.05.2013 - 03.06.2013	171.70	23.17	1.39	10.70	19.26	103.95	26.80	21.69
#07	04.06.2013 - 18.06.2013	140.80	20.10	1.32	9.51	17.11	88.23	20.51	14.95
#08	19.06.2013 - 03.07.2013	121.16	15.61	0.84	6.44	11.59	76.45	15.12	18.00
#09	04.07.2013 - 18.07.2013	148.22	20.08	1.25	9.35	16.83	89.39	22.49	19.51
#10	19.07.2013 - 02.08.2013	194.61	24.69	1.40	10.32	18.58	119.68	32.66	23.68
#11	03.08.2013 - 17.08.2013	194.93	26.58	1.04	9.13	16.43	145.41	19.09	13.99
#12	18.08.2013 - 01.09.2013	233.35	31.39	1.43	10.83	19.50	171.33	25.38	17.13
#13	02.09.2013 - 16.09.2013	209.30	27.04	0.96	8.40	15.11	155.34	23.07	15.78
#14	17.09.2013 - 01.10.2013	359.65	40.47	2.45	16.94	30.49	196.07	111.84	21.25
#15	02.10.2013 - 16.10.2013	314.67	38.73	2.47	17.30	31.15	178.58	77.87	27.08
#16	17.10.2013 - 31.10.2013	430.73	55.91	3.09	23.01	41.42	274.16	109.75	5.39
#17	01.11.2013 - 15.11.2013	362.18	46.43	2.38	17.12	30.81	244.23	83.27	3.86
#18	16.11.2013 - 30.11.2013	394.98	60.83	4.27	33.86	60.95	224.77	62.29	46.97
#19	01.12.2013 - 15.12.2013	142.45	23.15	1.88	13.51	24.32	80.27	21.69	16.17
#20	16.12.2013 - 31.12.2013	142.82	21.47	1.65	11.29	20.33	84.80	25.20	12.49
Min.		121.16	15.61	0.84	6.44	11.59	76.45	15.12	3.86
Max.		430.73	60.83	4.27	33.86	60.95	274.16	111.84	46.97
Mean		231.58	30.80	1.83	13.60	24.48	143.35	43.64	20.12
Annual Flux [ $\text{g m}^{-2} \text{yr}^{-1}$ ]		84.53	11.24	0.67	4.96	8.94	52.32	15.93	7.34

Cup No.	Tot. C [%]	Tot. N [%]	Corg [%]	Org.Mat [%]	Canorg [%]	CaCO3 [%]	Corg/ Ccarb	CaCO3/ Opal	C/N	Opal [%]	Lith.Mat. [%]
#01	13.24	0.84	6.67	12.00	6.57	54.78	1.01	2.76	9.25	19.84	13.38
#02	12.09	0.78	5.52	9.93	6.57	54.78	0.84	2.22	8.24	24.64	10.65
#03	14.32	0.84	6.08	10.94	8.24	68.65	0.74	5.52	8.42	12.44	7.97
#04	13.17	0.73	5.08	9.14	8.09	67.41	0.63	4.46	8.13	15.12	8.33
#05	13.62	0.89	6.32	11.37	7.30	60.84	0.87	3.50	8.30	17.40	10.38
#06	13.50	0.81	6.23	11.22	7.27	60.54	0.86	3.88	8.98	15.61	12.64
#07	14.27	0.94	6.75	12.15	7.52	62.66	0.90	4.30	8.40	14.56	10.62
#08	12.88	0.69	5.31	9.56	7.57	63.10	0.70	5.05	8.92	12.48	14.86
#09	13.55	0.85	6.31	11.36	7.24	60.31	0.87	3.97	8.69	15.17	13.16
#10	12.68	0.72	5.30	9.55	7.38	61.50	0.72	3.66	8.63	16.78	12.17
#11	13.63	0.53	4.68	8.43	8.95	74.60	0.52	7.62	10.23	9.80	7.18
#12	13.45	0.61	4.64	8.36	8.81	73.42	0.53	6.75	8.83	10.88	7.34
#13	12.92	0.46	4.01	7.22	8.91	74.22	0.45	6.73	10.22	11.02	7.54
#14	11.25	0.68	4.71	8.48	6.54	54.52	0.72	1.75	8.07	31.10	5.91
#15	12.31	0.79	5.50	9.90	6.81	56.75	0.81	2.29	8.16	24.75	8.61
#16	12.98	0.72	5.34	9.62	7.64	63.65	0.70	2.50	8.68	25.48	1.25
#17	12.82	0.66	4.73	8.51	8.09	67.43	0.58	2.93	8.40	22.99	1.07
#18	15.40	1.08	8.57	15.43	6.83	56.91	1.26	3.61	9.26	15.77	11.89
#19	16.25	1.32	9.49	17.08	6.76	56.35	1.40	3.70	8.36	15.23	11.35
#20	15.03	1.15	7.91	14.23	7.13	59.38	1.11	3.37	8.00	17.64	8.75
Min.	11.25	0.46	4.01	7.22	6.54	54.52	0.45	1.75	8.00	9.80	1.07
Max.	16.25	1.32	9.49	17.08	8.95	74.60	1.40	7.62	10.23	31.10	14.86
Mean	13.44	0.81	5.97	10.75	7.46	62.17	0.82	3.96	8.70	17.64	9.44

Tabelle A 4: Absolute Mengen und Flussraten von Aminosäuren und -zuckern und Aminosäurenverhältnisse

Cup No.	AA µg/g	AA-C µg/g	AA-N µg/g	AS µg/g	AS-C µg/g	AS-N µg/g	AA-flux µg/m <sup>2</sup> d	AA-C-flux µg/m <sup>2</sup> d	AA-N-flux µg/m <sup>2</sup> d
#01	1268	540	181	77	30.9	6.0	304	130	43
#02	1639	691	228	86	34.8	6.8	346	146	48
#03	1843	785	256	104	41.9	8.1	286	122	40
#04	1350	575	189	79	31.6	6.1	431	184	60
#05	1848	789	259	109	43.8	8.5	429	183	60
#06	1485	631	211	95	38.3	7.5	255	108	36
#07	1897	811	274	100	40.2	7.8	267	114	39
#08	1393	592	200	83	33.2	6.5	169	72	24
#09	1451	617	208	78	31.4	6.1	215	91	31
#10	1335	568	191	68	27.4	5.3	260	111	37
#11	1404	598	198	70	28.3	5.5	274	117	39
#12	1308	558	185	73	29.3	5.7	305	130	43
#13	882	372	126	46	18.6	3.6	185	78	26
#14	2237	944	320	65	26.2	5.1	804	340	115
#15	1859	801	261	63	25.2	4.9	585	252	82
#16	1742	742	244	77	30.9	6.0	750	319	105
#17	1605	681	228	64	25.9	5.0	581	247	83
#18	2602	1116	363	146	58.6	11.4	1028	441	143
#19	2776	1189	385	152	61.2	11.9	395	169	55
#20	2698	1149	378	143	57.7	11.2	385	164	54
Min.	881.61	371.61	126.32	46.28	18.61	3.62	168.75	71.68	24.19
Max.	2776.26	1188.92	385.08	152.15	61.20	11.90	1027.71	440.65	143.20
Mean	1711.80	728.88	241.21	88.95	35.78	6.96	399.69	170.20	56.31

Cup No.	AS-flux µg/m <sup>2</sup> d	AS-C-flux µg/m <sup>2</sup> d	AS-N-flux µg/m <sup>2</sup> d	AA-C/C (%)	AA-N/N (%)	AS-C/C (%)	AS-N/N (%)
#01	18	7.4	1.44	0.81	2.15	0.05	0.07
#02	18	7.3	1.43	1.25	2.92	0.06	0.09
#03	16	6.5	1.26	1.29	3.04	0.07	0.10
#04	25	10.1	1.96	1.13	2.60	0.06	0.08
#05	25	10.2	1.98	1.25	2.92	0.07	0.10
#06	16	6.6	1.28	1.01	2.61	0.06	0.09
#07	14	5.7	1.10	1.20	2.92	0.06	0.08
#08	10	4.0	0.78	1.11	2.88	0.06	0.09
#09	12	4.7	0.91	0.98	2.46	0.05	0.07
#10	13	5.3	1.04	1.07	2.67	0.05	0.07
#11	14	5.5	1.07	1.28	3.71	0.06	0.10
#12	17	6.8	1.33	1.20	3.02	0.06	0.09
#13	10	3.9	0.76	0.93	2.76	0.05	0.08
#14	23	9.4	1.83	2.00	4.70	0.06	0.07
#15	20	7.9	1.54	1.46	3.32	0.05	0.06
#16	33	13.3	2.59	1.39	3.40	0.06	0.08
#17	23	9.4	1.82	1.44	3.48	0.05	0.08
#18	58	23.2	4.50	1.30	3.36	0.07	0.11
#19	22	8.7	1.69	1.25	2.91	0.06	0.09
#20	20	8.2	1.60	1.45	3.27	0.07	0.10
Min.	9.69	3.90	0.76	0.81	2.15	0.05	0.06
Max.	57.56	23.15	4.50	2.00	4.70	0.07	0.11
Mean	20.04	8.06	1.57	1.22	3.01	0.06	0.09

Tabelle A 5: Absolute Mengen der einzelnen Aminosäuren

Cup	CYA	TAU	MSO	ASP	THR	SER	GLU	GLY	ALA	VAL	MET	ILE	LEU
No.	nmol/g	nmol/g	nmol/g	nmol/g	nmol/g	nmol/g	nmol/g	nmol/g	nmol/g	nmol/g	nmol/g	nmol/g	nmol/g
#01	205	19	117	1319	605	842	917	1806	930	595	64	334	462
#02	224	21	329	1903	762	1072	1222	2330	1196	716	120	413	563
#03	263	26	189	2116	926	1151	1473	2352	1468	848	110	501	737
#04	204	16	157	1428	647	845	1066	1810	1006	627	95	374	543
#05	243	24	196	1953	901	1161	1440	2528	1420	854	138	498	715
#06	198	21	157	1578	711	984	1118	2093	1124	667	84	385	536
#07	295	28	163	1890	881	1128	1502	2780	1331	821	51	522	724
#08	203	21	129	1438	652	957	1049	1961	1036	614	58	364	504
#09	194	19	127	1530	663	927	1101	2120	1079	634	83	376	542
#10	178	15	167	1391	617	950	967	1920	979	579	43	343	488
#11	178	17	125	1635	661	952	1052	1860	1108	620	60	363	543
#12	177	12	89	1439	648	902	1005	1728	1026	588	70	345	506
#13	152	11	77	894	411	730	622	1314	681	363	23	224	317
#14	172	28	219	1988	1180	3184	1191	3016	1727	868	123	565	794
#15	158	20	238	1791	946	1735	1368	2131	1287	854	52	610	863
#16	167	19	112	1911	904	1691	1167	2297	1365	744	144	460	698
#17	137	20	118	1588	830	1863	970	2191	1229	662	86	406	601
#18	222	27	123	2897	1323	2228	1879	3389	2109	1174	170	694	1119
#19	277	25	105	3225	1386	2056	2122	3617	2249	1279	245	754	1179
#20	267	25	119	3114	1321	2204	1961	3691	2150	1186	223	696	1077
Min.	137.31	10.61	77.44	893.59	411.06	729.60	622.43	1313.71	681.25	363.46	22.59	224.15	316.73
Max.	294.52	28.18	329.39	3225.11	1386.39	3183.64	2122.28	3691.48	2248.50	1278.71	245.26	753.82	1178.89
Mean	208.98	20.83	160.45	1841.98	837.69	1331.67	1252.46	2322.74	1308.51	758.78	101.58	455.43	664.04

Cup	TYR	PHE	β-ALA	γ-ABA	HIS	TRP	ORN	LYS	ARG	AA	Gluam	Galam	AS
No.	nmol/g	nmol/g	nmol/g	nmol/g									
#01	272	309	122	64	277	69	134	492	422	10379	287	142	429
#02	385	390	121	68	314	23	138	566	516	13392	355	128	483
#03	416	476	118	62	336	35	130	693	578	15003	437	144	581
#04	331	340	101	53	281	8	101	515	442	10989	328	111	439
#05	483	452	136	75	368	32	148	708	602	15076	465	142	607
#06	352	347	130	82	324	28	185	589	482	12176	400	132	532
#07	395	438	140	91	461	135	197	803	676	15450	399	159	558
#08	316	327	124	73	329	29	203	552	470	11411	326	135	461
#09	338	354	123	81	347	33	154	556	509	11891	302	134	436
#10	301	313	107	68	309	71	179	501	450	10936	265	115	380
#11	294	353	100	75	268	64	160	512	470	11472	287	105	392
#12	297	324	94	74	278	35	152	484	427	10700	304	102	406
#13	184	198	68	39	198	30	143	340	275	7293	191	67	258
#14	504	487	76	39	573	60	885	671	434	18783	272	91	363
#15	437	454	76	39	420	39	349	675	555	15100	273	77	350
#16	385	449	76	38	337	57	349	558	463	14392	331	97	429
#17	377	375	73	45	371	49	482	514	385	13372	274	85	359
#18	677	685	109	79	495	69	378	825	738	21410	680	134	813
#19	704	735	136	89	494	53	282	923	829	22765	692	157	849
#20	687	672	152	70	494	50	375	896	806	22237	638	162	800
Min.	184.15	198.11	67.96	38.46	197.74	8.37	101.05	339.68	274.55	7293.08	191.02	67.26	258.28
Max.	703.96	734.52	151.84	90.87	573.37	135.26	885.36	923.45	828.84	22764.90	692.23	161.57	849.22
Mean	400.40	419.72	110.68	65.21	356.71	47.71	240.25	614.03	523.80	14043.64	373.30	123.15	496.45

Tabelle A 6: Flussraten der einzelnen Aminosäuren

Cup No.	CYA nmol/m <sup>2</sup> d	TAU nmol/m <sup>2</sup> d	MSO nmol/m <sup>2</sup> d	ASP nmol/m <sup>2</sup> d	THR nmol/m <sup>2</sup> d	SER nmol/m <sup>2</sup> d	GLU nmol/m <sup>2</sup> d	GLY nmol/m <sup>2</sup> d	ALA nmol/m <sup>2</sup> d	VAL nmol/m <sup>2</sup> d	MET nmol/m <sup>2</sup> d	ILE nmol/m <sup>2</sup> d	LEU nmol/m <sup>2</sup> d
#01	49	5	28	317	145	202	220	433	223	143	15	80	111
#02	47	4	70	402	161	226	258	492	253	151	25	87	119
#03	41	4	29	329	144	179	229	365	228	132	17	78	114
#04	65	5	50	456	207	270	340	578	321	200	30	120	174
#05	57	5	45	454	209	270	334	587	330	198	32	116	166
#06	34	4	27	271	122	169	192	359	193	114	14	66	92
#07	41	4	23	266	124	159	211	391	187	116	7	73	102
#08	25	2	16	174	79	116	127	238	126	74	7	44	61
#09	29	3	19	227	98	137	163	314	160	94	12	56	80
#10	35	3	32	271	120	185	188	374	191	113	8	67	95
#11	35	3	24	319	129	186	205	363	216	121	12	71	106
#12	41	3	21	336	151	210	234	403	239	137	16	81	118
#13	32	2	16	187	86	153	130	275	143	76	5	47	66
#14	62	10	79	715	424	1145	429	1085	621	312	44	203	285
#15	50	6	75	564	298	546	431	671	405	269	16	192	272
#16	72	8	48	823	389	728	503	989	588	320	62	198	301
#17	50	7	43	575	301	675	351	794	445	240	31	147	218
#18	88	11	49	1144	523	880	742	1339	833	464	67	274	442
#19	40	4	15	459	197	293	302	515	320	182	35	107	168
#20	38	4	17	445	189	315	280	527	307	169	32	99	154
Min.	24.65	2.22	14.90	174.19	78.98	115.97	127.13	237.58	125.55	74.45	4.73	44.11	61.07
Max.	87.72	10.51	78.72	1144.25	522.51	1144.99	742.09	1338.75	832.99	463.74	67.22	274.06	441.79
Mean	46.34	4.80	37.08	425.21	197.64	332.66	286.03	538.43	305.79	176.16	23.82	106.58	155.99

Cup No.	TYR nmol/m <sup>2</sup> d	PHE nmol/m <sup>2</sup> d	β-ALA nmol/m <sup>2</sup> d	γ-ABA nmol/m <sup>2</sup> d	HIS nmol/m <sup>2</sup> d	TRP nmol/m <sup>2</sup> d	ORN nmol/m <sup>2</sup> d	LYS nmol/m <sup>2</sup> d	ARG nmol/m <sup>2</sup> d	AA nmol/m <sup>2</sup> d	Gluam nmol/m <sup>2</sup> d	Galam nmol/m <sup>2</sup> d	AS nmol/m <sup>2</sup> d
#01	65	74	29	15	67	17	32	118	101	2491	69	34	103
#02	81	82	26	14	66	5	29	119	109	2829	75	27	102
#03	65	74	18	10	52	5	20	108	90	2331	68	22	90
#04	106	109	32	17	90	3	32	165	141	3511	105	35	140
#05	112	105	32	18	86	8	34	164	140	3501	108	33	141
#06	60	60	22	14	56	5	32	101	83	2091	69	23	91
#07	56	62	20	13	65	19	28	113	95	2175	56	22	79
#08	38	40	15	9	40	3	25	67	57	1383	39	16	56
#09	50	52	18	12	51	5	23	82	75	1762	45	20	65
#10	59	61	21	13	60	14	35	98	88	2128	52	22	74
#11	57	69	20	15	52	13	31	100	92	2236	56	21	76
#12	69	76	22	17	65	8	36	113	100	2497	71	24	95
#13	39	41	14	8	41	6	30	71	57	1526	40	14	54
#14	181	175	27	14	206	21	318	241	156	6755	98	33	131
#15	137	143	24	12	132	12	110	212	175	4751	86	24	110
#16	166	193	33	17	145	25	150	240	200	6199	143	42	185
#17	137	136	26	16	134	18	174	186	140	4843	99	31	130
#18	268	271	43	31	196	27	149	326	292	8457	268	53	321
#19	100	105	19	13	70	8	40	132	118	3243	99	22	121
#20	98	96	22	10	71	7	54	128	115	3176	91	23	114
Min.	38.32	39.61	14.22	8.20	39.90	2.67	20.27	66.90	57.01	1382.60	39.44	14.08	54.06
Max.	267.55	270.54	43.09	31.16	206.21	27.33	318.42	326.03	291.63	8456.55	268.48	52.81	321.29
Mean	93.73	97.97	24.22	14.23	83.95	11.10	63.65	140.42	118.38	3284.16	84.69	27.18	111.87

Tabelle A 7: Einzelne Aminosäuen in mol%

Cup No.	CYA mol-%	TAU mol-%	MSO mol-%	ASP mol-%	THR mol-%	SER mol-%	GLU mol-%	GLY mol-%	ALA mol-%	VAL mol-%	MET mol-%	ILE mol-%
#01	1.97	0.19	1.13	12.71	5.83	8.12	8.84	17.40	8.96	5.74	0.62	3.22
#02	1.68	0.16	2.46	14.21	5.69	8.01	9.13	17.40	8.93	5.34	0.90	3.08
#03	1.75	0.17	1.26	14.10	6.17	7.67	9.82	15.68	9.79	5.65	0.73	3.34
#04	1.85	0.15	1.42	12.99	5.89	7.69	9.70	16.47	9.15	5.70	0.86	3.40
#05	1.61	0.16	1.30	12.96	5.98	7.70	9.55	16.77	9.42	5.66	0.92	3.30
#06	1.63	0.17	1.29	12.96	5.84	8.09	9.19	17.19	9.23	5.47	0.69	3.16
#07	1.91	0.18	1.06	12.23	5.70	7.30	9.72	17.99	8.62	5.31	0.33	3.38
#08	1.78	0.18	1.13	12.60	5.71	8.39	9.19	17.18	9.08	5.38	0.51	3.19
#09	1.63	0.16	1.07	12.87	5.57	7.80	9.26	17.83	9.08	5.33	0.69	3.16
#10	1.63	0.13	1.53	12.72	5.64	8.69	8.84	17.56	8.96	5.30	0.39	3.14
#11	1.55	0.15	1.09	14.25	5.77	8.30	9.17	16.22	9.66	5.40	0.53	3.17
#12	1.65	0.11	0.83	13.45	6.05	8.43	9.39	16.15	9.59	5.50	0.66	3.23
#13	2.09	0.15	1.06	12.25	5.64	10.00	8.53	18.01	9.34	4.98	0.31	3.07
#14	0.91	0.15	1.17	10.58	6.28	16.95	6.34	16.06	9.19	4.62	0.65	3.01
#15	1.05	0.14	1.58	11.86	6.26	11.49	9.06	14.12	8.53	5.65	0.35	4.04
#16	1.16	0.13	0.78	13.28	6.28	11.75	8.11	15.96	9.49	5.17	1.00	3.20
#17	1.03	0.15	0.89	11.87	6.21	13.93	7.25	16.38	9.19	4.95	0.65	3.03
#18	1.04	0.12	0.57	13.53	6.18	10.41	8.78	15.83	9.85	5.48	0.79	3.24
#19	1.22	0.11	0.46	14.17	6.09	9.03	9.32	15.89	9.88	5.62	1.08	3.31
#20	1.20	0.11	0.53	14.00	5.94	9.91	8.82	16.60	9.67	5.33	1.00	3.13
Min.	0.91	0.11	0.46	10.58	5.57	7.30	6.34	14.12	8.53	4.62	0.31	3.01
Max.	2.09	0.19	2.46	14.25	6.28	16.95	9.82	18.01	9.88	5.74	1.08	4.04
Mean	1.55	0.15	1.19	13.07	5.93	9.28	8.95	16.66	9.27	5.41	0.69	3.24

Cup No.	LEU mol-%	TYR mol-%	PHE mol-%	$\beta$ -ALA mol-%	$\gamma$ -ABA mol-%	HIS mol-%	TRP mol-%	ORN mol-%	LYS mol-%	ARG mol-%	Gluam mol-%	Galam mol-%
#01	4.45	2.62	2.98	1.18	0.62	2.67	0.67	1.29	4.74	4.06	66.99	33.01
#02	4.21	2.87	2.91	0.91	0.50	2.35	0.17	1.03	4.22	3.85	73.56	26.44
#03	4.91	2.78	3.17	0.79	0.42	2.24	0.23	0.87	4.62	3.85	75.23	24.77
#04	4.94	3.02	3.09	0.92	0.48	2.56	0.08	0.92	4.69	4.02	74.72	25.28
#05	4.74	3.21	3.00	0.90	0.50	2.44	0.21	0.98	4.69	3.99	76.55	23.45
#06	4.40	2.89	2.85	1.07	0.67	2.66	0.23	1.52	4.84	3.96	75.22	24.78
#07	4.69	2.56	2.83	0.91	0.59	2.99	0.88	1.27	5.20	4.38	71.43	28.57
#08	4.42	2.77	2.86	1.09	0.64	2.89	0.25	1.78	4.84	4.12	70.68	29.32
#09	4.56	2.84	2.98	1.03	0.68	2.92	0.28	1.30	4.67	4.28	69.20	30.80
#10	4.46	2.75	2.86	0.98	0.62	2.83	0.65	1.64	4.59	4.11	69.81	30.19
#11	4.73	2.57	3.08	0.87	0.65	2.33	0.56	1.39	4.46	4.10	73.19	26.81
#12	4.73	2.78	3.03	0.88	0.69	2.60	0.33	1.42	4.52	3.99	74.89	25.11
#13	4.34	2.53	2.72	0.93	0.54	2.71	0.41	1.96	4.66	3.76	73.96	26.04
#14	4.23	2.68	2.59	0.41	0.21	3.05	0.32	4.71	3.57	2.31	74.82	25.18
#15	5.71	2.89	3.01	0.51	0.26	2.78	0.26	2.31	4.47	3.68	78.03	21.97
#16	4.85	2.67	3.12	0.53	0.27	2.34	0.40	2.42	3.88	3.22	77.30	22.70
#17	4.49	2.82	2.81	0.54	0.33	2.77	0.37	3.60	3.84	2.88	76.30	23.70
#18	5.22	3.16	3.20	0.51	0.37	2.31	0.32	1.77	3.86	3.45	83.56	16.44
#19	5.18	3.09	3.23	0.60	0.39	2.17	0.23	1.24	4.06	3.64	81.51	18.49
#20	4.84	3.09	3.02	0.68	0.31	2.22	0.22	1.69	4.03	3.62	79.80	20.20
Min.	4.21	2.53	2.59	0.41	0.21	2.17	0.08	0.87	3.57	2.31	66.99	16.44
Max.	5.71	3.21	3.23	1.18	0.69	3.05	0.88	4.71	5.20	4.38	83.56	33.01
Mean	4.68	2.82	2.97	0.83	0.49	2.57	0.35	1.66	4.44	3.79	74.46	25.54

Tabelle A 8: Verhältnisse verschiedener Aminosäuren zueinander, RI und DI und mol% der Aminosäuregruppen

Cup No.	AA/AS	Asp/β- Ala	Glu/γ- Aba	non-prot Mol-%	Gluam/ Galam	Asp/Gly	Arg/Orn	ThrSer/ GlyAla	Tyr/Phe	RI	DI
#01	24.20	10.78	14.23	1.80	2.03	0.73	3.16	0.53	0.88	3.11	0.278
#02	27.74	15.68	18.09	1.41	2.78	0.82	3.75	0.52	0.99	4.10	0.208
#03	25.82	17.93	23.64	1.20	3.04	0.90	4.43	0.54	0.88	4.95	0.272
#04	25.04	14.13	20.11	1.40	2.95	0.79	4.37	0.53	0.98	4.36	0.485
#05	24.83	14.39	19.10	1.40	3.26	0.77	4.07	0.52	1.07	4.43	0.408
#06	22.89	12.11	13.61	1.74	3.03	0.75	2.60	0.53	1.01	3.29	0.301
#07	27.69	13.48	16.53	1.50	2.50	0.68	3.44	0.49	0.90	3.60	0.394
#08	24.78	11.60	14.28	1.73	2.41	0.73	2.31	0.54	0.97	3.26	0.350
#09	27.28	12.43	13.58	1.72	2.25	0.72	3.30	0.50	0.95	3.39	0.393
#10	28.77	13.04	14.16	1.60	2.31	0.72	2.51	0.54	0.96	3.51	0.304
#11	29.24	16.30	14.02	1.53	2.73	0.88	2.94	0.54	0.83	3.69	0.170
#12	26.33	15.23	13.51	1.58	2.98	0.83	2.80	0.56	0.92	3.68	0.308
#13	28.24	13.15	15.88	1.47	2.84	0.68	1.92	0.57	0.93	3.57	0.202
#14	51.71	26.00	30.56	0.61	2.97	0.66	0.49	0.92	1.04	8.58	0.477
#15	43.10	23.45	35.15	0.76	3.55	0.84	1.59	0.78	0.96	7.72	0.800
#16	33.58	25.18	30.35	0.79	3.41	0.83	1.33	0.71	0.86	7.28	0.347
#17	37.28	21.82	21.69	0.88	3.22	0.72	0.80	0.79	1.00	6.40	0.396
#18	26.32	26.55	23.82	0.88	5.08	0.85	1.95	0.65	0.99	7.25	0.413
#19	26.81	23.69	23.93	0.99	4.41	0.89	2.94	0.59	0.96	6.40	0.389
#20	27.80	20.51	28.19	1.00	3.95	0.84	2.15	0.60	1.02	6.14	0.308
Min.	22.89	10.78	13.51	0.61	2.03	0.66	0.49	0.49	0.83	3.11	0.17
Max.	51.71	26.55	35.15	1.80	5.08	0.90	4.43	0.92	1.07	8.58	0.80
Mean	29.01	17.04	20.02	1.32	3.02	0.79	2.79	0.59	0.95	4.82	0.35

Cup No.	Acid mol-%	Basic mol-%	Neutral mol-%	Arom. mol-%	S-cont. mol-%	Hydrox mol-%	Straight mol-%	Branch mol-%	unpolare mol-%	polare mol-%
#01	23.52	13.43	53.71	6.27	2.78	13.94	26.36	13.41	26.64	33.97
#02	25.01	11.62	52.65	5.96	2.73	13.70	26.33	12.63	25.54	33.97
#03	25.67	11.81	53.20	6.18	2.66	13.84	25.46	13.90	27.82	32.29
#04	24.54	12.26	53.25	6.18	2.86	13.58	25.62	14.05	27.23	33.06
#05	24.12	12.33	53.57	6.42	2.69	13.68	26.19	13.71	27.26	33.65
#06	23.78	13.20	53.39	5.97	2.49	13.93	26.42	13.04	26.04	34.01
#07	23.86	14.71	52.98	6.26	2.42	13.00	26.61	13.37	26.03	33.55
#08	23.58	13.88	53.36	5.89	2.47	14.10	26.26	12.99	25.70	34.05
#09	23.76	13.45	53.33	6.09	2.49	13.37	26.91	13.06	26.08	34.04
#10	23.19	13.81	53.74	6.26	2.15	14.33	26.51	12.90	25.76	34.64
#11	24.97	12.85	53.24	6.20	2.23	14.07	25.87	13.30	27.12	32.85
#12	24.49	12.86	53.67	6.14	2.42	14.48	25.74	13.45	27.06	33.40
#13	22.87	13.50	55.39	5.66	2.54	15.64	27.35	12.40	25.18	36.18
#14	17.84	13.96	60.34	5.59	1.72	23.23	25.25	11.86	24.61	41.97
#15	21.97	13.50	55.81	6.16	1.53	17.76	22.64	15.41	27.55	34.76
#16	22.55	12.26	56.70	6.19	2.29	18.03	25.45	13.22	27.22	36.66
#17	20.16	13.47	58.19	5.99	1.82	20.14	25.58	12.48	25.49	39.34
#18	23.34	11.71	56.21	6.69	1.96	16.58	25.68	13.95	28.12	35.58
#19	24.71	11.34	55.00	6.55	2.41	15.12	25.77	14.11	28.52	34.10
#20	24.02	11.79	55.43	6.34	2.32	15.85	26.27	13.31	27.23	35.54
Min.	17.84	11.34	52.65	5.59	1.53	13.00	22.64	11.86	24.61	32.29
Max.	25.67	14.71	60.34	6.69	2.86	23.23	27.35	15.41	28.52	41.97
Mean	23.57	12.81	54.47	6.15	2.40	15.21	25.93	13.33	26.62	34.69

Tabelle A 9: Satelliten-, Strömungsmesser- und Temperaturmesserdaten

Cup No.	SST [°C]	Chl- $\alpha$ regional [mg m <sup>-3</sup> ]	Chl- $\alpha$ local [mg m <sup>-3</sup> ]	POC regional [mg m <sup>-3</sup> ]	POC local [mg m <sup>-3</sup> ]	Wind direction [Deg Mag]	Windspeed [m/s]
#01	19.60	1.35	0.85	163.71	149.26	2.96	7.15
#02	19.78	1.02	0.79	156.24	142.35	355.02	6.72
#03	19.52	0.69	0.45	134.38	107.81	352.50	5.88
#04	18.72	0.75	0.43	147.72	108.62	349.53	4.45
#05	18.28	0.98	0.55	173.12	125.65	343.03	4.37
#06	17.73	0.67	0.36	131.63	89.63	354.38	4.26
#07	17.29	1.74	0.94	309.10	196.92	337.49	5.15
#08	16.82	1.37	1.24	243.71	191.38	349.75	4.18
#09	16.47	1.32	1.19	206.70	189.18	344.52	4.85
#10	15.97	2.40	1.50	531.77	330.65	338.20	6.10
#11	15.28	1.34	0.80	247.29	169.87	351.95	5.66
#12	15.73	0.62	0.44	130.56	102.34	350.75	7.00
#13	15.43	0.50	0.42	115.82	99.00	358.94	6.93
#14	15.63	0.46	0.42	139.25	111.39	356.81	7.48
#15	15.75	0.61	0.44	213.90	114.95	355.07	7.86
#16	15.81	0.52	0.40	109.85	96.54	356.41	7.79
#17	16.57	0.52	0.51	110.09	108.21	2.16	6.55
#18	17.84	0.46	0.58	102.55	121.44	0.03	7.62
#19	18.66	0.44	0.48	102.93	110.47	4.51	6.16
#20	20.03	0.34	0.25	84.87	67.72	4.83	6.92
Min.	15.28	0.34	0.25	84.87	67.72	-	4.18
Max.	20.03	2.40	1.50	531.77	330.65	-	7.86
Mean	17.64	0.92	0.66	174.33	136.21	353.88	6.21

Cup No.	Pitch	Roll	Speed [cm/s]	Direction [DegMag]	Temperature [°C]
#01	-0.01	0.05	error	199.36	3.29
#02	-0.02	0.16	error	193.75	3.30
#03	-0.03	0.16	error	176.99	3.31
#04	-0.02	0.14	error	176.96	3.30
#05	-0.06	0.13	error	170.18	3.28
#06	0.00	0.07	error	194.65	3.28
#07	-0.01	0.05	error	189.56	3.30
#08	-0.02	0.07	error	171.96	3.29
#09	-0.02	0.10	error	163.40	3.27
#10	-0.03	0.10	error	179.52	3.25
#11	-0.01	0.06	4.33	162.89	3.27
#12	0.00	0.02	3.82	157.77	3.27
#13	-0.08	0.16	6.17	154.85	3.26
#14	0.00	0.00	3.57	153.94	3.26
#15	0.00	0.02	3.96	144.96	3.22
#16	-0.01	0.07	4.34	163.35	3.26
#17	0.00	0.10	5.25	156.86	3.28
#18	-0.01	0.16	5.60	141.53	3.26
#19	-0.07	0.19	6.20	114.03	3.25
#20	0.00	0.06	3.94	127.54	3.25
Min.	-0.08	0.00	3.57	114.03	3.22
Max.	0.00	0.19	6.20	199.36	3.31
Mean	-0.02	0.10	4.72	168.00	3.28

Tabelle A 10: Daten der Aminosäuren entlang des 23°-Transekts und der Wassersäule von Station #010

Station	Cruise	mm/dd/yyyy	Longitude [deg_east]	Latitude [deg_north]	Bot. Depth [m]	Sed. Depth [cm]	TN [%]	TC [%]	OC [%]	CaCO <sub>3</sub> [%]	Opal [%]	Lithogen [%]
010-Filter	M103-1	01/05/2014	12.310	-23.038	30	-	1.41	11.50	10.36	9.48	-	71.87
010	M103-1	01/05/2014	12.310	-23.038	2050	0	0.23	10.05	1.91	67.84	-	28.73
241	MSM17-3	02/05/2011	11.750	-23.000	2970	0	0.092	9.712	0.746	74.72	4.48	3.32
242	MSM17-3	02/06/2011	12.500	-23.000	1640	0	0.310	9.529	2.623	57.55	4.73	20.57
243	MSM17-3	02/07/2011	12.800	-23.000	905	0	0.445	11.097	3.834	60.52	3.43	16.07
246	MSM17-3	02/07/2011	13.050	-23.000	410	0	0.278	11.406	2.600	73.38	2.14	3.94
250	MSM17-3	02/08/2011	13.333	-23.000	350	0	0.348	11.681	3.127	71.28	2.60	5.09

Station	AA µg/g	AA-C µg/g	AA-N µg/g	AS µg/g	AS-C µg/g	AS-N µg/g	AA-C/C (%)	AA-N/N (%)	AS-C/C (%)	AS-N/N (%)	CYA nmol/g	TAU nmol/g
010-Filter	4716.26	2063.82	649.69	68.07	27.38	5.32	1.99	4.62	0.03	0.04	448	102
010	255.68	106.11	36.81	20.08	8.08	1.57	0.56	1.61	0.04	0.07	55	4
241	2546.37	1057.26	364.06	181.27	72.91	14.18	1.09	4.88	0.08	0.19	412	38
242	6662.86	2791.20	976.63	571.86	230.00	44.72	2.93	3.72	0.24	0.17	1662	1529
243	9634.78	4068.94	1392.56	748.18	300.92	58.51	3.67	3.63	0.27	0.15	2014	145
246	6479.27	2745.82	925.74	505.23	203.20	39.51	2.41	3.56	0.18	0.15	1320	116
250	8985.77	3825.29	1286.91	677.77	272.60	53.00	3.27	4.12	0.23	0.17	1619	145

Station	MSO nmol/g	ASP nmol/g	THR nmol/g	SER nmol/g	GLU nmol/g	GLY nmol/g	ALA nmol/g	VAL nmol/g	MET nmol/g	ILE nmol/g	LEU nmol/g	TYR nmol/g
010-Filter	440	4232	2279	2817	4709	4914	3682	2254	72	1655	2846	1010
010	25	311	129	172	181	363	183	108	7	63	87	29
241	438	3637	1196	1359	1921	3425	1783	1104	54	610	838	227
242	3192	7965	3021	3400	4904	9944	4867	3066	182	1700	2321	730
243	731	10783	4405	4866	7216	14119	7161	4692	326	2683	3729	1260
246	417	7102	3062	3235	5118	9281	5044	3243	188	1840	2635	989
250	484	9722	4230	4484	7123	12982	7131	4535	234	2569	3631	1445

Station	PHE nmol/g	β-ALA nmol/g	γ-ABA nmol/g	HIS nmol/g	TRP nmol/g	ORN nmol/g	LYS nmol/g	ARG nmol/g	AA nmol/g	Gluam nmol/g	Galam nmol/g	AS nmol/g
010-Filter	1381	54	59	618	81	110	2229	1690	37682	310	70	380
010	52	31	11	45	7	53	92	95	2104	58	54	112
241	479	348	176	454	147	209	846	1052	20752	519	493	1012
242	1414	829	339	1301	404	619	2662	2964	54585	1662	1529	3192
243	2239	1040	416	2034	593	786	3689	3854	78781	2283	1892	4176
246	1545	625	216	1312	333	477	2465	2417	52981	1488	1332	2820
250	2236	847	272	1781	462	683	3634	3332	73581	1973	1810	3783

Station	CYA mol-%	TAU mol-%	MSO mol-%	ASP mol-%	THR mol-%	SER mol-%	GLU mol-%	GLY mol-%	ALA mol-%	VAL mol-%	MET mol-%	ILE mol-%
010-Filter	1.19	0.27	1.17	11.23	6.05	7.48	12.50	13.04	9.77	5.98	0.19	4.39
010	2.60	0.19	1.20	14.78	6.12	8.19	8.61	17.23	8.70	5.12	0.35	3.02
241	1.98	0.18	2.11	17.53	5.76	6.55	9.26	16.50	8.59	5.32	0.26	2.94
242	3.05	2.80	5.85	14.59	5.53	6.23	8.98	18.22	8.92	5.62	0.33	3.11
243	2.56	0.18	0.93	13.69	5.59	6.18	9.16	17.92	9.09	5.96	0.41	3.41
246	2.49	0.22	0.79	13.40	5.78	6.11	9.66	17.52	9.52	6.12	0.35	3.47
250	2.20	0.20	0.66	13.21	5.75	6.09	9.68	17.64	9.69	6.16	0.32	3.49

Station	LEU mol-%	TYR mol-%	PHE mol-%	β-ALA mol-%	γ-ABA mol-%	HIS mol-%	TRP mol-%	ORN mol-%	LYS mol-%	ARG mol-%	Gluam mol-%	Galam mol-%
010-Filter	7.55	2.68	3.66	0.14	0.16	1.64	0.22	0.29	5.92	4.49	81.69	18.31
010	4.14	1.40	2.47	1.48	0.53	2.13	0.35	2.52	4.36	4.51	52.17	47.83
241	4.04	1.09	2.31	1.68	0.85	2.19	0.71	1.01	4.08	5.07	51.27	48.73
242	4.25	1.34	2.59	1.52	0.62	2.38	0.74	1.13	4.88	5.43	52.09	47.91
243	4.73	1.60	2.84	1.32	0.53	2.58	0.75	1.00	4.68	4.89	54.68	45.32
246	4.97	1.87	2.92	1.18	0.41	2.48	0.63	0.90	4.65	4.56	52.77	47.23
250	4.94	1.96	3.04	1.15	0.37	2.42	0.63	0.93	4.94	4.53	52.16	47.84

Fortsetzung Tabelle A 120: Daten der Aminosäuren entlang des 23°-Transekts und der Wassersäule von Station #010

Station	AA/AS	Asp/β- Ala	Glu/γ- Aba	non-prot Mol-%	Gluam/ Galam	Asp/Gly	Arg/Orn	ThrSer/ GlyAla	Tyr/Phe	RI	DI
010-Filter	99.18	78.03	79.82	0.30	4.46	0.86	15.41	0.59	0.73	21.11	0.87
010	18.77	9.97	16.23	2.01	1.09	0.86	1.79	0.55	0.57	1.92	-0.34
241	20.51	10.45	10.94	2.52	1.05	1.06	5.02	0.49	0.47	1.35	-3.79
242	17.10	9.61	14.47	2.14	1.09	0.80	4.78	0.43	0.52	1.84	-1.58
243	18.87	10.37	17.34	1.85	1.21	0.76	4.91	0.44	0.56	2.40	1.00
246	18.79	11.36	23.73	1.59	1.12	0.77	5.06	0.44	0.64	3.01	1.68
250	19.45	11.47	26.20	1.52	1.09	0.75	4.88	0.43	0.65	3.29	1.76

Station	Acid mol-%	Basic mol-%	Neutral mol-%	Arom. mol-%	S-cont. mol-%	Hydrox mol-%	Straight mol-%	Branch mol-%	unpolare mol-%	polare mol-%
010-Filter	24.92	12.55	54.26	6.56	1.65	13.52	22.81	17.93	31.77	29.25
010	25.99	13.87	52.51	4.21	3.15	14.30	25.93	12.28	24.15	32.93
241	28.77	13.05	49.70	4.11	4.54	12.31	25.10	12.30	24.17	29.91
242	26.62	14.57	51.88	4.67	12.03	11.76	27.13	12.98	25.57	31.32
243	25.40	13.91	52.88	5.19	4.08	11.77	27.01	14.10	27.19	31.29
246	25.56	13.22	53.49	5.41	3.85	11.89	27.04	14.57	27.99	31.27
250	25.09	13.44	53.77	5.63	3.37	11.84	27.33	14.59	28.27	31.45

Tabelle A 11: Basisdaten der Sinkstofffallen NU 2, WR 2 und East #03

Trap	Cup No.	Interval	Total flux [mg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> ]	Corg flux [mg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> ]	Org. Mat. flux [mg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> ]	CaCO <sub>3</sub> flux [mg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> ]	Opal flux [mg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> ]	Lith. Mat. flux [mg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> ]
WBST East #03	#01	20.01.2013-18.02.2013	Bottle lost during deployment					
	#02	19.02.2013-20.03.2013	243.71	61.55	18.75	110.78	61.10	53.08
	#03	21.03.2013-19.04.2013	624.84	136.66	30.50	245.99	144.29	204.06
	#04	20.04.2013-19.05.2013	454.78	100.79	51.98	181.42	138.87	82.50
	#05	20.05.2013-18.06.2013	967.64	164.64	25.14	296.35	460.90	185.25
	#06	19.06.2013-18.07.2013	1352.44	164.86	55.54	296.75	997.66	2.50
	#07	19.07.2013-17.08.2013	2732.33	266.84	64.89	480.31	1831.64	355.49
	#08	18.08.2013-16.09.2013	918.91	179.45	75.66	323.00	471.94	48.31
	#09	17.09.2013-16.10.2013	2961.16	294.15	304.86	529.46	1912.63	214.20
	#10	17.10.2013-15.11.2013	4790.53	422.43	465.63	760.38	3096.47	468.05
	#11	16.11.2013-15.12.2013	2145.96	286.54	182.32	515.77	1332.65	115.22
	#12	16.12.2013-31.12.2013	579.91	71.60	153.14	128.88	235.08	62.80
Min.			243.71	61.55	18.75	110.78	61.10	2.50
Max.			4790.53	422.43	465.63	760.38	3096.47	468.05
Mean			1615.66	195.41	129.86	351.74	971.20	162.86
Annual Flux [g m <sup>-2</sup> yr <sup>-1</sup> ]			607.72	73.48	46.99	132.26	367.28	61.18

Fortsetzung Tabelle A 13: Basisdaten der Sinkstofffallen NU 2, WR 2 und East #03.

Trap	Cup No.	Interval	Total flux	Corg flux	Org. Mat. flux	CaCO <sub>3</sub> flux	Opal flux	Lith. Mat. flux
			[mg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> ]					
NU 2	#01	20.01.1992-07.02.1992	73.50	4.20	54.00	7.56	3.10	7.90
	#02	08.02.1992-26.02.1992	203.60	10.90	139.30	19.62	7.20	35.30
	#03	27.02.1992-16.03.1992	143.20	7.60	97.10	13.68	7.00	24.00
	#04	17.03.1992-04.04.1992	88.00	4.80	60.80	8.64	4.20	13.50
	#05	05.04.1992-23.04.1992	49.70	2.60	33.30	4.68	2.40	8.80
	#06	24.04.1992-12.05.1992	48.20	2.40	33.30	4.32	2.30	7.80
	#07	13.05.1992-31.05.1992	61.70	3.70	46.80	6.66	3.10	4.50
	#08	01.06.1992-19.06.1992	49.90	2.40	36.80	4.32	2.90	5.40
	#09	20.06.1992-08.07.1992	54.90	2.50	41.20	4.50	3.50	5.30
	#10	09.07.1992-27.07.1992	39.80	1.90	29.20	3.42	2.20	4.80
	#11	28.07.1992-15.08.1992	168.80	6.80	124.70	12.24	10.90	19.60
	#12	16.08.1992-03.09.1992	159.70	7.30	112.60	13.14	10.60	21.90
	#13	04.09.1992-22.09.1992	102.60	4.50	71.40	8.10	9.90	12.30
	#14	23.09.1992.11.10.1992	74.50	3.60	51.10	6.48	5.40	10.80
	#15	12.10.1992-30.10.1992	83.70	4.00	55.70	7.20	7.30	12.70
	#16	31.10.1992-18.11.1992	98.60	5.10	63.50	9.18	8.60	16.10
	#17	19.11.1992-07.12.1992	86.10	5.00	52.90	9.00	6.10	17.10
	#18	08.12.1992-26.12.1992	49.90	2.50	33.30	4.50	4.60	7.10
	#19	27.12.1992-14.01.1993	34.70	2.60	22.40	4.68	2.50	4.60
	#20	15.01.1993-03.02.1993	12.30	0.80	8.50	1.44	0.60	1.60
Min.			12.30	0.80	8.50	1.44	0.60	1.60
Max.			203.60	10.90	139.30	19.62	10.90	35.30
Mean			84.17	4.26	58.40	7.67	5.22	12.06
Annual Flux [g m <sup>-2</sup> yr <sup>-1</sup> ]			30.72	1.55	21.31	2.80	1.91	4.40

Trap	Cup No.	Interval	Total flux	Corg flux	Org. Mat. flux	CaCO <sub>3</sub> flux	Opal flux	Lith. Mat. flux
			[mg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> ]					
WR 2	#01	18.03.1989-04.04.1989	73.50	4.20	54.00	7.56	3.10	7.90
	#02	05.04.1989-22.04.1989	203.60	10.90	139.30	19.62	7.20	35.30
	#03	23.04.1989-10.05.1989	143.20	7.60	97.10	13.68	7.00	24.00
	#04	11.05.1989-28.05.1989	88.00	4.80	60.80	8.64	4.20	13.50
	#05	29.05.1989-15.06.1989	49.70	2.60	33.30	4.68	2.40	8.80
	#06	16.06.1989-03.07.1989	48.20	2.40	33.30	4.32	2.30	7.80
	#07	04.07.1989-21.07.1989	61.70	3.70	46.80	6.66	3.10	4.50
	#08	22.07.1989-08.08.1989	49.90	2.40	36.80	4.32	2.90	5.40
	#09	09.08.1989-26.08.1989	54.90	2.50	41.20	4.50	3.50	5.30
	#10	27.08.1989-13.09.1989	39.80	1.90	29.20	3.42	2.20	4.80
	#11	14.09.1989-01.10.1989	168.80	6.80	124.70	12.24	10.90	19.60
	#12	02.10.1989-19.10.1989	159.70	7.30	112.60	13.14	10.60	21.90
	#13	20.10.1989-06.11.1989	102.60	4.50	71.40	8.10	9.90	12.30
	#14	07.11.1989-24.11.1989	74.50	3.60	51.10	6.48	5.40	10.80
	#15	25.11.1989-12.12.1989	83.70	4.00	55.70	7.20	7.30	12.70
	#16	13.12.1989-30.12.1989	98.60	5.10	63.50	9.18	8.60	16.10
	#17	31.12.1989-17.01.1990	86.10	5.00	52.90	9.00	6.10	17.10
	#18	18.01.1990-04.02.1990	49.90	2.50	33.30	4.50	4.60	7.10
	#19	05.02.1990-22.02.1990	34.70	2.60	22.40	4.68	2.50	4.60
	#20	23.02.1990-13.03.1990	12.30	0.80	8.50	1.44	0.60	1.60
Min.			12.30	0.80	8.50	1.44	0.60	1.60
Max.			203.60	10.90	139.30	19.62	10.90	35.30
Mean			84.17	4.26	58.40	7.67	5.22	12.06
Annual Flux [g m <sup>-2</sup> yr <sup>-1</sup> ]			30.72	1.55	21.31	2.80	1.91	4.40

## **Erklärung zur Selbstständigkeit**

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass ich diese Bachelorarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel – insbesondere keine im Quellenverzeichnis nicht aufgeführten Internetquellen – benutzt habe. Die wörtlich oder sinngemäß übernommenen Zitate habe ich als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit habe ich in keinem weiteren Prüfungsverfahren eingereicht. Die eingereichte schriftliche Fassung entspricht der auf dem elektronischen Speichermedium.

Ort, Datum

Unterschrift