

**Die Verteilung von DMS, DMSO und DMSP im  
Auftriebsgebiet vor Peru (Meteor M91-Fahrt)**

Zur Erlangung des Grades  
Bachelor of Science (B. Sc.)  
im Studiengang Chemie  
an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät  
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von  
**Helge Wieck**

---

Referenten:

Prof. Dr. Hermann Bange

Dr. Cathleen Zindler

Eingereicht am: 29.07.2014



# Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Alle Stellen dieser Arbeit, die wortwörtlich oder sinngemäß aus anderen Quellen übernommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde weder in gleicher noch in ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Kiel, den 29.07.2014

**Unterschrift** \_\_\_\_\_

Helge Wieck, Matrikelnummer 4239



# Danksagung

*Hiermit möchte ich Herrn Prof. Dr. Hermann Bange danken, für die Überlassung des interessanten Themas und der Möglichkeit in die Arbeitswelt des GEOMAR einzutauchen. Mein besonderer Dank gilt auch Frau Dr. Cathleen Zindler, die mir während der Arbeit mit Rat und Tat zur Seite stand.*

*Meiner Familie möchte ich dafür danken, dass sie mir während des Studiums jederzeit finanziellen und geistigen Rückhalt bot und ich darauf vertrauen kann, dass sie mir in schwierigen Zeiten auch weiterhin helfen wird.*

*Meinem Schatz und meinen Freunden möchte ich ebenfalls danken, mit ihnen fällt es mir nie schwer mich abzulenken und einfach die Zeit zu genießen.*



# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Abstract und Zusammenfassung</b> .....	1
<b>2 Hintergrund</b> .....	2
2.1 CLAW-Hypothese.....	2
2.2 Biogene Schwefelverbindungen im Oberflächenwasser der Ozeane.....	4
2.3 Funktionen von DMSP, DMSO und DMS in Phytoplanktonzellen.....	5
2.4 Biogeochemische Reaktionswege der Schwefelverbindungen.....	6
2.5 Auftriebsgebiet Peru.....	8
<b>3 Methoden</b> .....	10
3.1 Probennahme.....	10
3.2 Probenvorbereitung.....	10
3.3 Analyse von DMS.....	11
3.4 Konzentrationsbestimmung der Proben.....	12
<b>4 Ergebnisse</b> .....	14
4.1 Temperatur und Chlorophyll a - Abgrenzung des Auftriebsgebietes.....	14
4.2 Oberflächendaten von DMSO und DMSP.....	16
4.3 Sektionen I & Ia – Tiefenprofile.....	19
4.4 Tiefenprofile DMSO, DMSP , Nährstoffe.....	23
4.5 Korrelationen der Schwefelverbindungen.....	28
<b>5 Diskussion</b> .....	29
5.1 Diskussion der Ergebnisse.....	29
5.2 Fehlerbetrachtung.....	31
<b>6 Fazit und Ausblick</b> .....	32
<b>7 Literaturverzeichnis</b> .....	34
<b>8 Anhang</b> .....	36
8.1 Kalibrationen.....	36
8.2 Messwerte.....	36

# 1. Astract und Zusammenfassung

## **Abstract**

The aim of this bachelor thesis was the measurement of water samples from the Meteor cruise M91 (1.12.12 – 26.12.12) and the investigation of possible connections between dimethylsulfide (DMS), dimethylsulfoxide (DMSO) and dimethylsulfoniopropionate (DMSP). In the timelimit of the bachelor thesis a third of all samples could be measured and analysed.

The upwelling off the peruvian coast leads to strong production of phytoplankton, which is interesting for research of plankton prduced DMSO/DMSP. The compounds and their connections with the DMS production, as well as a possible influence on the climate are poorly understood.

The measured maximum values are  $6,75 \text{ nmol L}^{-1}$  (DMS, Median 2,06),  $131 \text{ nmol L}^{-1}$  (DMSO<sub>p</sub>, Median 34,32) und  $289 \text{ nmol L}^{-1}$  (DMSP<sub>p</sub>, Median 103,96). The maximum values appeared close to the surface (10-20 m) and dropped to their minimum in a depth of ca. 100 m. In deeper regions the concentrations remained nearly constant. A scatterplot of the DMSO<sub>p</sub> concentration against the chlorophyll a concentration showed a strong connection between these two, which lead to the assumption that the planktonspecies are specialised in DMSO production. The measured depth-profiles showed that DMSO and DMSP concentrations drop with the oxygen concentration.

## **Zusammenfassung**

Das Ziel dieser Bachelorarbeit war es die Meerwasserproben der Meteorausfahrt M91 (1.12.12 - 26.12.12) zu messen und mögliche Zusammenhänge zwischen Dimethylsulfid (DMS), Dimethylsulfoxid (DMSO) und Dimethylsulfoniumpropionat (DMSP) auszuwerten. Im Zeitrahmen der Bachelorarbeit konnte etwa ein Drittel der Proben gemessen und ausgewertet werden.

Das Auftriebsgebiet vor Perus Küste führt zu einer starken Phytoplanktonproduktion, die das Gebiet interessant für Forschungen über von Plankton gebildete DMSO/DMSP machen. Die Verbindungen und deren Zusammenhänge mit der DMS Produktion, sowie ein eventueller Einfluss auf das Klima sind nur schlecht erforscht.

Die gemessenen Höchstwerte sind  $6,75 \text{ nmol L}^{-1}$  (DMS, Median 2,06),  $131 \text{ nmol L}^{-1}$  ( $\text{DMSO}_p$ , Median 34,32) und  $289 \text{ nmol L}^{-1}$  ( $\text{DMSP}_p$ , Median 103,96). Die Höchstwerte traten dicht unter der Oberfläche (10-20 m) des Wassers auf, die Konzentrationen sanken auf ihr Minimum in ca. 100 m Tiefe und blieben ab dieser Tiefe konstant. Ein Streudiagramm der  $\text{DMSO}_p$ -Konzentration gegen die Chlorophyll a-Konzentration konnte einen starken Zusammenhang zwischen diesen zeigen, der vermuten lässt, dass die Phytoplanktonarten in dieser Region auf die DMSO Produktion spezialisiert sind. Gemessene Tiefenprofile zeigten, dass die DMSO- sowie  $\text{DMSP}_p$ -Konzentrationen mit der Sauerstoffkonzentration abnahmen.

## **2. Hintergrund**

Die wichtigste biogene Schwefelquelle für die Atmosphäre ist das leicht flüchtige Gas Dimethylsulfid (DMS). Als Gas ist es auch die wichtigste Transportverbindung für Schwefel vom Meer über die Atmosphäre zum Land. Seit den siebziger Jahren werden DMS und andere schwefelhaltige Verbindungen im Meer erforscht, da die DMS Emissionen die Lücke im globalen Schwefelbudget schließen könnte (Lovelock *et al.*, 1972). Mit der von Charlson *et al.* in den späten achtziger Jahren postulierten CLAW-Hypothese wurde das Interesse an diesen Schwefelverbindungen sogar noch verstärkt.

### **2.1 CLAW-Hypothese**

In den siebziger Jahren wurde die Gaia-Hypothese von Margulis und Lovelock entwickelt, die besagt, dass die Erde als ein großer selbstregulierender Organismus angesehen werden kann, Gaia, bei dem alle Bestandteile, ob lebend oder nicht lebend, dazu beitragen, dass lebensfördernde Bedingungen geschaffen werden (Margulis und Lovelock, 1974). Es wurde postuliert, dass verschiedenste selbstregulierende Kreisläufe die Homöostase der Erde aufrechterhalten.

Als ein Beispiel eines solchen Gaia-Regulierungsmechanismus wurde die CLAW-Hypothese (Charlson *et al.*, 1987) postuliert, benannt nach den Autoren des Originalartikels: Charlson, Lovelock, Andreae und Warren. Sie beschreibt eine negative Feedback-Schleife zur Regulierung der Sonneneinstrahlung durch das Phytoplankton. In Abb. 2.1.1 ist die CLAW-Hypothese schematisch dargestellt.

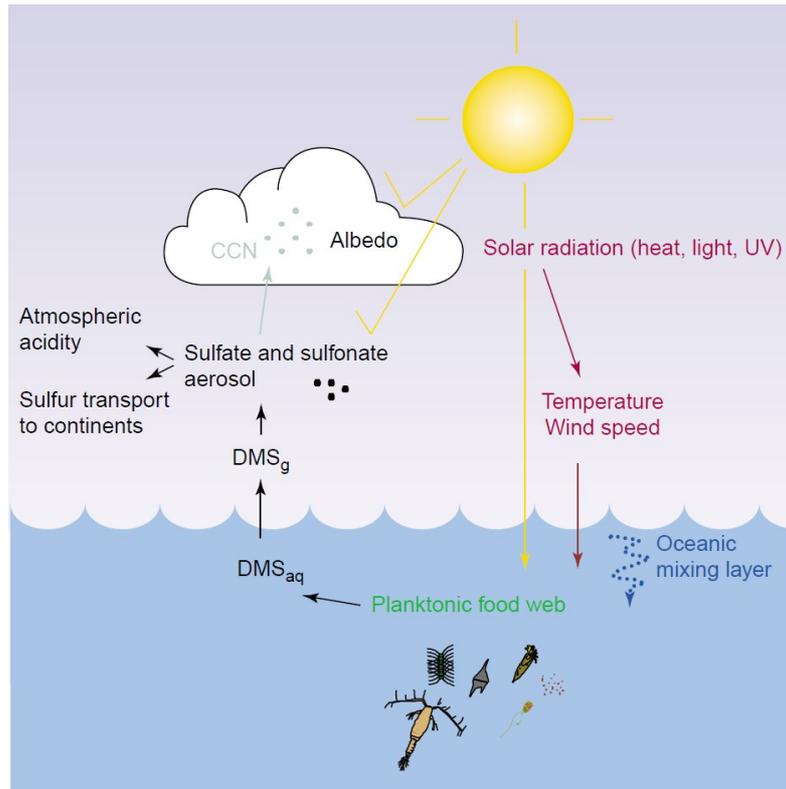


Abb. 2.1.1: Schematischer Kreislauf der CLAW-Hypothese. Aus der Planktonproduktion entstandenes gelöstes Dimethylsulfid ( $DMS_{aq}$ ) gelangt in die Atmosphäre und trägt als Kondensationskeim (CCN: cloud condensation nuclei) zur Wolkenbildung bei. Die Wolken beeinflussen die Sonneneinstrahlung, die auf das Meer trifft wodurch wiederum die Planktonproduktion beeinflusst wird. (Simó, 2001).

Nach der CLAW-Hypothese bildet Plankton das leicht flüchtige DMS unter intensiver und für das Plankton schädlicher Sonneneinstrahlung, welches aus dem Oberflächenwasser in die Atmosphäre ausgasst. In der Atmosphäre wird dieses wiederum zu Sulfonaten und anderen schwefelhaltigen Aerosolen oxidiert. Die Aerosol-Partikel wirken als Kondensationskeime für Wolken (*engl.*: cloud condensation nuclei, CCN) und führen zu verstärkter Wolkenbildung. Die Sonneneinstrahlung wird durch die gebildeten Wolken abgeschwächt, wodurch das Plankton weniger gestresst ist und weniger DMS bildet. Das Plankton reguliert die Intensität der Sonneneinstrahlung auf die Meeresoberfläche somit selbst über die DMS-Produktion.

Seit die CLAW-Hypothese formuliert wurde, wurden viele verschiedene Aspekte des DMS Kreislaufs untersucht. Es konnte z. B. ein inverser Zusammenhang zwischen der DMS-Konzentration und der Tiefe der winddurchmischten Wasserschicht festgestellt werden (Simó, 2004), was durchaus als ein Hinweis auf ein lokales Wirken der CLAW-Hypothese aufgefasst

werden kann. Andere Forschungen zeigen (Quinn und Bates, 2011), dass die CNN-Produktion von vielen verschiedenen Partikeln (organischen Verbindungen, Meersalz, Fragmente von Microorganismen) abhängt. Bei diesen sehr komplexen Prozessen spielt DMS jedoch nur eine geringe Rolle. Die CLAW-Hypothese bildete als Anstoß eine gute Grundlage, es zeigte sich jedoch, dass viele Dinge von der Hypothese nicht berücksichtigt werden. DMS kann in der Atmosphäre sehr schnell vom Wind weitertransportiert werden und nimmt damit keinen Einfluss mehr auf das Phytoplankton. Bakterien die das DMS als Schwefelquelle verwenden oder andere Verbindungen wie Dimethylsulfoniumpropionat (DMSP), die vom Plankton gebildet werden und von Bakterien zu DMS umgewandelt werden können, werden von der CLAW-Hypothese nicht einbezogen. Die kontroversen Forschungsergebnisse über den DMS Kreislauf konnten bisher die CLAW-Hypothese weder zweifelsfrei beweisen noch widerlegen und zeigen nur, dass der Kreislauf selbst viel komplizierter ist als von Charlson *et al.* postuliert.

## 2.2 Biogene Schwefelverbindungen im Oberflächenwasser der Ozeane

Die drei Schwefelverbindungen, um die es in dieser Arbeit geht, sind DMS, DMSP und Dimethylsulfoxid (DMSO). DMS ist ein leicht flüchtiges Gas, welches im Nahrungsnetz von Phytoplankton, Zooplankton und Bakterien aus der Vorläuferverbindung DMSP gebildet wird. Des Weiteren kann DMS durch Oxidation in DMSO überführt werden. Im Durchschnitt betragen die Konzentrationen der Verbindungen im Ozean einige  $\text{nmol L}^{-1}$  (DMS ca.  $2\text{-}3 \text{ nmol L}^{-1}$ , DMSP ca.  $7 \text{ nmol L}^{-1}$ , DMSO  $10 \text{ nmol L}^{-1}$ ) und im allgemeinen ist partikuläres und gelöstes DMSO bzw. DMSP sehr viel höher konzentriert als DMS. DMSP wird von spezialisierten Phytoplanktongruppen gebildet, als Hauptproduzenten sind Haptophyten, darunter Coccolithophoriden wie *Emiliania huxleyi*, sowie Dinoflagellaten zu nennen (Vogt und Liss, 2009 und enthaltene Quellen). Die Phytoplankton-Produktion unterliegt einem starken saisonalen Zyklus, die DMS-Konzentration steigt mit der Chlorophyll a-Konzentration im Frühling und Herbst an. Es wurde jedoch festgestellt, dass auch im späten Sommer (August) die DMS-Konzentration ein wenig ansteigt, zu der Zeit in der die Chlorophyll a-Konzentration am geringsten ist. Dieses Phänomen wird als das „Sommerparadoxon“ bezeichnet. Der saisonale Zyklus ist auf der Nord- und Südhalbkugel verschoben, der Sommer auf der Nordhalbkugel ist von Juni-September, der Sommer auf der Südhalbkugel von Dezember-Februar. Insgesamt ist der saisonale Zyklus an den Polen sehr viel ausgeprägter als in der Nähe des Äquators, die Konzentrationen der Schwefelverbindungen nehmen von den Polen zum Äquator ab (Lana *et al.*, 2011).

### 2.3 Funktionen von DMSP, DMSO und DMS in Phytoplanktonzellen

Obwohl noch nicht vollständig geklärt ist welche Rolle die verschiedenen Verbindungen für die Organismen einnehmen, gibt es einige Hypothesen zu diesem Thema. Eine dieser Hypothesen ist die des Osmoregulators. Für das Wachstum des Phytoplanktons ist es wichtig einen Gradienten zwischen dem Salzgehalt im inneren der Zelle und dem des umgebenden Meerwassers zu verhindern. Die Zelle produziert DMSP und andere kleine Moleküle um sich an dem umgebenden Salzgehalt anzupassen. Besonders in küstennahen Regionen ist dies von Bedeutung, da die Zellen in der Lage sein müssen sich an schnell schwankende Umgebungsbedingungen anzupassen (Vogt und Liss, 2009 und enthaltene Quellen). Verursacht werden diese Schwankungen z. B. durch Einströmungen vom Festland (Regenfälle, Schmelzwasser) oder Auftrieb von Tiefenwasser.

Eine andere Hypothese führt DMSP und DMSO als Kälteschutzmittel an. Viele Osmoregulatoren funktionieren gleichzeitig als Schutz der Zelle vor extremer Kälte. Es wurde postuliert, dass eine 10 %-ige DMSO-Wasser-Lösung den Gefrierpunkt der Lösung auf  $-2\text{ °C}$  senkt ( $-9\text{ °C}$  für 25 % DMSO-Wasser,  $-51\text{ °C}$  für 50 % DMSO-Wasser). Es konnte Ionen-Diffusion bei einem Elektrolyt-System aus DMSO und  $\text{H}_2\text{O}$  festgestellt werden bei Temperaturen bei den Zellen normalerweise gefroren waren. Zudem wurde ein Zusammenhang zwischen der Temperatur des Umgebungswassers und der DMSO Produktion festgestellt. Diese Hinweise deuten darauf hin, dass DMSO als wirkungsvoller Schutz des Phytoplanktons vor extremer Kälte und damit verbundenen Zelltod gebildet wird (Lee *et al.*, 1999 und enthaltene Quellen).

Eine weitere Hypothese bezieht sich auf DMS, DMSO und DMSP als Antioxidant oder Radikalfänger. In Laborversuchen wurde herausgefunden, dass alle der Verbindungen sehr schnell mit freien Radikalen wie Hydroxyl-Radikalen reagieren. Über Hydroxyl-Radikale weiß man, dass sie eine Vielzahl an Schäden in der Zelle verursachen, bis hin zur Zerstörung der Zelle (Lee *et al.*, 1999 und enthaltene Quellen, Sunda *et al.*, 2002). DMS und Acrylat, aus der enzymatischen Spaltung von DMSP, erwiesen sich in Hinblick auf das Abfangen von Radikalen sogar als sehr viel effektiver als DMSP selbst. Bei der Reaktion von DMS mit diesen Radikalen kann es zu DMSO oxidiert werden. Die Funktionsweise des Radikalfängers erklärt ein Ansteigen der DMSP Konzentration unter höherer Sonneneinstrahlung und unterstützt damit das „Sommerparadoxon“. In dieser Zeit ist der Stress für das Phytoplankton durch die Sonneneinstrahlung am höchsten und es

können nur jene Phytoplankton-Arten überleben, die über ausreichend Radikalfänger verfügen (Vogt und Liss, 2009 und enthaltene Quellen, Simó, 2004).

Eine weitere Bedeutung des DMSP in Phytoplanktonzellen könnte die Nutzung als Overflow-Mechanismus sein (Stefels, 2000). In Nährstofflimitierten Gebieten kann die Schwefelaufnahme die Kapazitäten der Zelle übersteigen diesen Schwefel in Aminosäuren, Proteine und andere Schwefelverbindungen umzuwandeln. Um die Fortsetzung des Metabolismus zu gewährleisten könnte DMSP von der Zelle verwendet werden überschüssigen Schwefel und Energie abzugeben. DMSP kann ebenso als Methylgruppen Donor in anderen metabolischen Reaktionen verwendet werden (Kiene *et al.*, 1996) und somit zu einem späteren Zeitpunkt wieder verbraucht werden.

Das während der Phytoplankton-Blüten entstehende DMS könnte von Meeresvögeln gerochen und als Hinweis auf beutereiche Regionen verwendet werden (Nevitt *et al.*, 1995). Das DMS wird bei einer Phytoplankton-Blüte freigesetzt und dient möglicherweise als chemisches Signal für Bakterien, die organisches Material zersetzen, und für Zooplankton, die das Phytoplankton als Nahrung verwenden. Gleichzeitig werden Fische von dem Nahrungsangebot angezogen. Die Meeresvögel nutzen die Änderung im Geruch um eine Fischreiche Region ausfindig zu machen. Hinweise dafür lieferten Experimente bei Nacht mit Sturmvögeln und DMS als Lockstoff (Nevitt und Haberman, 2003).

## **2.4 Biogeochemische Reaktionswege der Schwefelverbindungen**

Wie in 2.2 bereits erklärt, wird DMSO und DMSP vom Phytoplankton gebildet. DMS wird hauptsächlich innerhalb des Nahrungsnetzes freigesetzt. In Abb. 2.4.1 ist der Verbrauch von DMSP im Nahrungsnetz und die Bildung von DMS dargestellt.

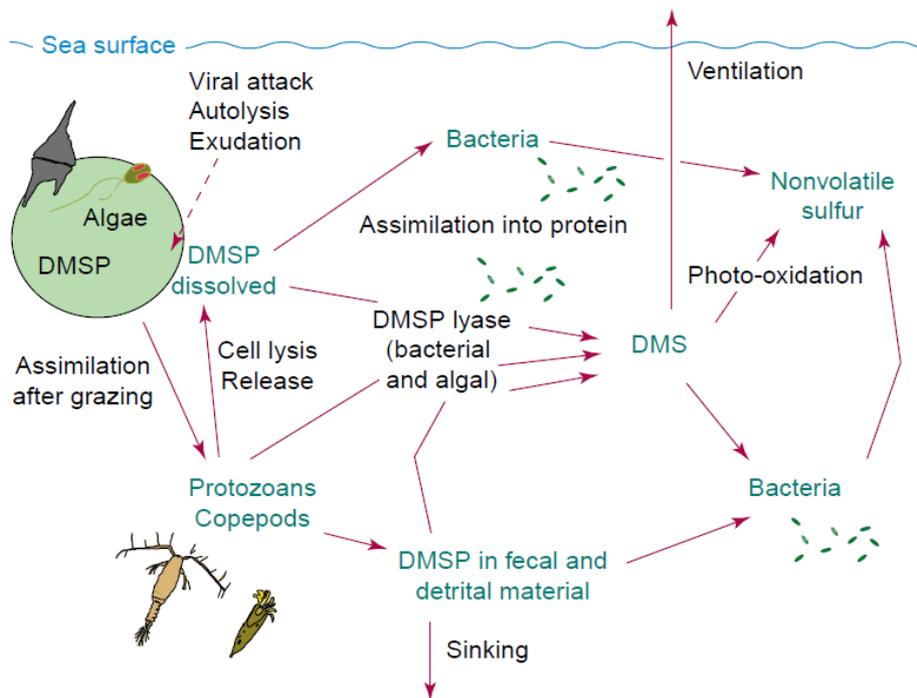


Abb. 2.4.1: Der Verbrauch von DMSP und die Entstehung von DMS im Nahrungsnetz des Planktons. DMSP wird durch virale Angriffe oder die Aufnahme von tierischen Einzellern in die Wassersäule abgegeben. Das gelöste DMSP wird durch Bakterien in DMS umgewandelt. Ein kleiner Teil gelangt dann in die Atmosphäre, der Großteil wird in nichtflüchtige Schwefelverbindungen überführt oder von Bakterien aufgenommen. (Simó, 2001).

Das partikuläre DMSP ( $DMSP_p$ ), enthalten in den Zellen des Phytoplanktons, wird in die Wassersäule des Ozeans abgegeben, entweder durch aktiven Transport oder wenn die Zellmembran zerstört wird. Dies kann durch virale Angriffe geschehen oder durch den Angriff von Zooplankton, die das Phytoplankton als Nahrung verwenden. Bei der Nahrungsaufnahme durch das Zooplankton wird nur ein Teil des  $DMSP_p$  direkt in der Wassersäule freigesetzt, der andere Teil wird ausgeschieden und gelangt als Sinkmaterial in tiefere Wasserschichten. Das gelöste DMSP ( $DMSP_d$ ) akkumuliert sich nicht sehr stark, da die Umsatzrate zwischen wenigen Stunden und ein bis zwei Tagen liegt (Simó, 2001). Einige Bakterien nehmen das  $DMSP_d$  in sich auf und verwenden es zum Aufbau von Biomasse, andere spalten es mittels DMSP Lyasen zu DMS und Acrylat, welches innerhalb weniger Tage weiterverbraucht wird (Simó, 2001). Bakterien und photochemische Oxidation können einen Teil des DMS in nichtflüchtige Schwefelverbindungen, wie DMSO oder Methanthiol überführen. Nur ein geringer Teil (ca. 10 %) wird über Gasaustausch an die Atmosphäre abgegeben. Bei zunehmendem Wind und den damit entstehenden Wellen und der Gischt, steigt auch der Gasfluss an.

## 2.5 Auftriebsgebiet Peru

Die Meteorausfahrt M91 von der die Proben in dieser Arbeit stammen fand vor der Küste Perus statt. In Abb. 2.5.1 ist der Fahrtverlauf der Meteor gezeigt.

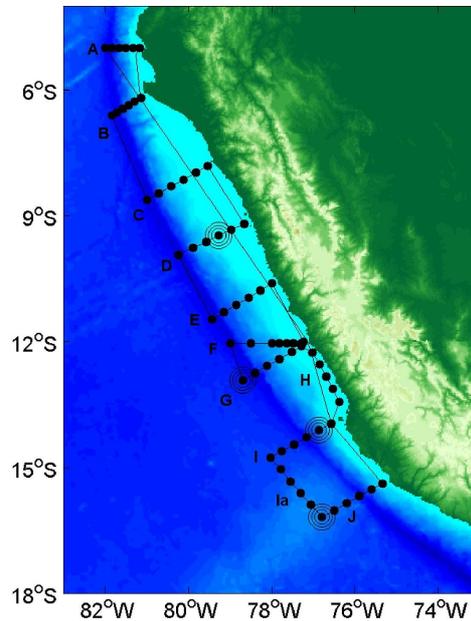


Abb. 2.5.1: Fahrtverlauf der Meteorausfahrt M91. Von Grün bis hellem Braun wird die Höhe des Landes angezeigt, wobei Grün Meeresspiegelhöhe und helles Braun die Berge darstellt. Helles bis dunkles Blau zeigt die Tiefe des Ozeans an. Startpunkt der Fahrt ist Callao am Kreuzungspunkt der Sektionen F,G und H. Die Sektionen wurden von A-J befahren, die schwarzen Punkte zeigen Stationen für Messungen an, die umringelten Punkte sind 24-Stunden Drift Stationen, an denen 24 Stunden gemessen wurde. (Kock et al.).

Das Küstengebiet vor Peru zeichnet sich durch reichhaltige biologische Aktivität aus. Grund für diese Reichhaltigkeit ist der Auftrieb von nährstoffreichem Tiefenwasser. Der Auftrieb wird durch die Süd-Ost-Passatwinde angetrieben. Reibt Wind über einen Wasserkörper führt das im Zusammenspiel mit der Coriolis-Kraft zu einem Nettotransport des Wassers, abgelenkt um 90° nach links der Windrichtung (auf der Südhalbkugel der Erde, analog nach rechts auf der Nordhalbkugel). Diesen Transport nennt man Ekman-Transport, benannt nach seinem Entdecker Vagn Walfrid Ekman. Vor Peru führt der Ekman-Transport dazu, dass Oberflächenwasser (10-30 m Tiefe) von der Küste weggedrückt wird. Um das Wasserdefizit aufzufüllen muss Wasser aus der Tiefe nachströmen. Ein Teil des Wassers kommt von küstenfernen Regionen, ein anderer von einem polwärts strömenden Gegenstrom in 50 bis 100 m Tiefe (Brink *et al.*, 1983). Dieser Gegenstrom enthält sauerstoffarmes äquatoriales Wasser, ein weiterer Strom umfließt das Gebiet weiter entfernt von der Küste und enthält Wasser aus der Antarktis (Fuenzalida *et al.*, 2009). Der Sauerstoffgehalt

im ursprünglich sauerstoffreichen Wasser der Antarktis sinkt mit der Entfernung zum Pol und ist schließlich in den Breitengraden Perus nur noch sehr arm an Sauerstoff. Die Wassermassen vor Peru sind somit umschlossen von sauerstoffarmen Wasserströmungen und unterliegt wenig horizontaler Ventilation. Aufgrund dieser schlechten Ventilation und der starken Verstoffwechslung von totem Material hat sich eine Sauerstoffminimumzone mit den niedrigsten gemessenen Werten im Südpazifik (Karstensen *et al.*, 2008) ausgebildet. Das Auftriebsgebiet lässt sich anhand der Chlorophyll Konzentration und Temperatur begrenzen. In Abb. 2.5.2 ist die Oberflächenkonzentration an Chlorophyll a (Chl a) vor Peru gezeigt.

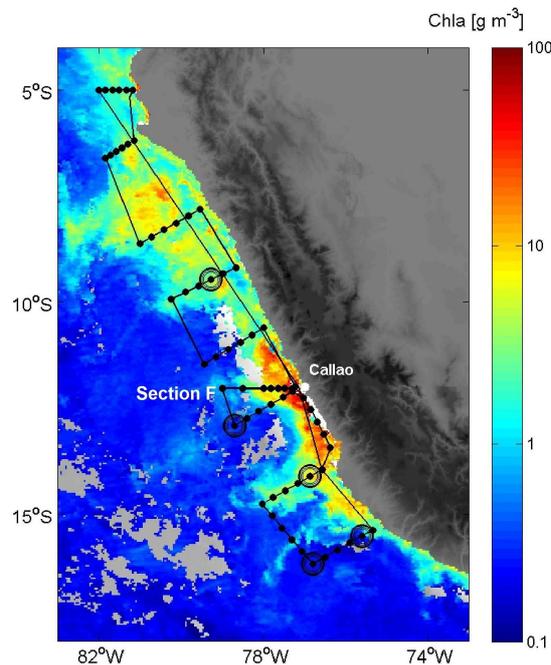


Abb. 2.5.2: Oberflächenkonzentration von Chlorophyll a (Chl a) im Auftriebsgebiet vor Peru. Niedrige Konzentrationen sind dunkelblau, hohe Konzentrationen in rot dargestellt. (Kock *et al.*)

Wie in der Abbildung zu sehen ist, findet Planktonproduktion und damit Auftrieb vor der gesamten Küste Perus statt. Das stärkste Auftriebsgebiet ist vor Callao zu finden.

## **3. Methoden**

### **3.1 Probennahme**

Während der Ausfahrt wurden die Oberflächenwasserproben aus der Deckschicht mit einer Pumpe des Schiffs entnommen. Aus tieferen Schichten wurden Proben mittels Niskin-Flaschen, die an einer Rosette befestigt waren und sich in verschiedenen Tiefen schlossen, genommen. An der Rosette war zusätzlich eine CTD-Sonde (conductivity, temperature, depth) befestigt, die die Leitfähigkeit, die Temperatur und die Tiefe der Wassersäule ermittelte.

### **3.2 Probenvorbereitung**

Die entnommenen Wasserproben wurden jeweils auf zwei verschiedene Probenflaschen aufgeteilt, in die eine Flasche kam die unfiltrierte Wasserprobe, in die andere die filtrierte bei der das DMS gemessen wurde. Aufgrund der Flüchtigkeit von DMS wurde es bereits während der Ausfahrt mittels eines Purge-Trap-Verfahren gemessen.

Sowohl die filtrierten als auch unfiltrierten Proben wurden mit Natriumhydroxid-Plätzchen (NaOH) basisch gemacht. Die entstandene Natronlauge spaltete das DMSP zu DMS. Das entstandene DMS konnte so stellvertretend für DMSP gemessen werden. Um die DMSO-Konzentration messen zu können wurde die Probe (DMSP bereits gemessen) mit Natriumborhydrid ( $\text{NaBH}_4$ ) versetzt. Das DMSO wurde zu DMS reduziert, welches dann ebenso gemessen werden konnte (Simó, 1998). Die Reaktionsgleichungen sind in Abb. 3.2.1 gezeigt.

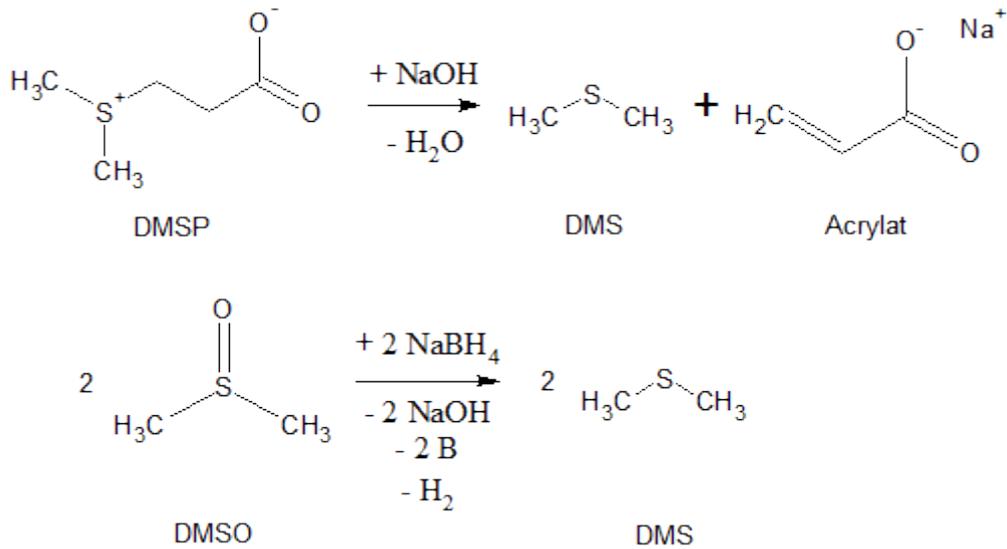


Abb. 3.2.1: Reaktionsgleichungen von DMSP und DMSO zu DMS. DMSP wird mit Natronlauge (NaOH) unter Bildung von Wasser zu DMS und Acrylat gespalten. DMSO wird durch Natriumborhydrid (NaBH<sub>4</sub>) unter Bildung von Bor und NaOH, sowie Freisetzung von Wasserstoff zu DMS reduziert.

### 3.3 Analyse von DMS

Für die Messungen der DMS-, DMSO-, DMSP-Konzentrationen wurde ein Gaschromatograph der Firma Agilent (Agilent 7820A) verwendet. In Abb. 3.3.1 ist der allgemeine Aufbau eines Purge-Trap-Systems gekoppelt an einen Gaschromatographen und einen Flammenphotometrischen Detektor gezeigt.

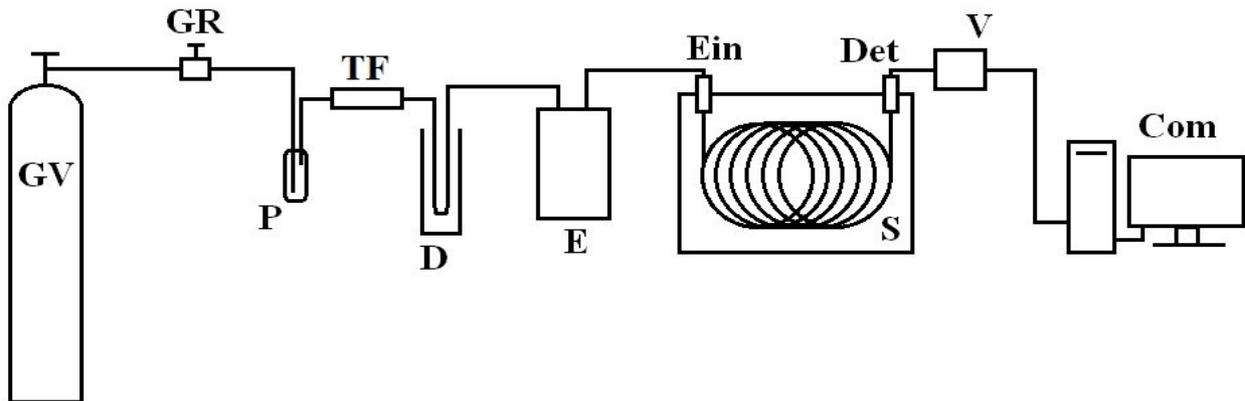


Abb. 3.3.1: Schematischer Aufbau eines Gaschromatographen mit Purge-and-Trap-Technik. GV: Gasversorgung des Trägergases, GR: Gasregler, P: Probenbehälter, TF: Trockenfalle, D: Dewar mit flüssigem Stickstoff, E: Erhitzer, Ein: Einlass des Chromatographen, S: Säule, Det: Flammenphotometrischer Detektor, V: (Signal-) Verstärker, Com: Computer zur Dateninterpretation.

Als Trägergas wurde Helium verwendet, welches über einen Gasregler (GR) auf einen Gasfluss von ca. 30 ml/min eingestellt wurde. Mit dem Trägergas wurde die Wasserprobe (P) durchspült, um die Gasprobe auszutreiben (säubern: *engl.*: purge), über eine Trockenfalle (TF), gefüllt mit Kaliumcarbonat, von Wasser zu befreien und in einer Kühlfalle mit flüssigem Stickstoff aufzufangen (fangen: *engl.*: trap). Durch Erhitzen mit kochendem Wasser (E) wurde die ausgefrorene Probe wieder in den gasförmigen Zustand überführt und über den Einlass (Ein) in die Säule (S) injiziert. Die Säule befand sich hierbei in einem Ofen und wurde auf konstante 120 °C erhitzt. Die Wechselwirkungen zwischen Säule und Probe trennte die verschiedenen Verbindungen auf und diese gelangten mit unterschiedlichen Retentionszeiten am Detektor (Det) an. Als Detektor wurde ein Flammenphotometrischer Detektor (FPD) verwendet. Dabei atomisierte eine Wasserstoffreiche Flamme (75 ml H<sub>2</sub>, 100 ml synthetische Luft) die Probe und regte die verschiedenen Atome an. Das Trägergas überführte die Atome in eine kältere Zone wo diese in ihren Grundzustand zurückfielen und für jedes Atom charakteristische Strahlung abgaben. Ein Bandbreitenfilter ließ nur Strahlung einer bestimmten Wellenlänge durch, um die charakteristische Strahlung für Schwefel herauszufiltern ( $\lambda = 393 \text{ nm}$ ). Die Strahlung traf schließlich auf einen Photomultiplier (V) um das Signal zu verstärken. Ein Computer (Com) stellte die Probenmenge mit der zugehörigen Zeit grafisch dar (Agilent Service Manual, 2011).

### 3.4 Konzentrationsbestimmung der Proben

Die Chromatogramme wurden mit dem Programm Open Lab (Agilent Technologies) ausgewertet. Für die Berechnung der Konzentrationen wurde alle 5-8 Messtage eine Kalibration des Chromatographen durchgeführt. Hierfür wurden drei verschiedene Messungen mit jeweils 10 ml MilliQ gemacht, versetzt mit drei unterschiedlichen Mengen eines DMS-Standards von bekannter Konzentration. Da die Integrale der gemessenen Peaks proportional zur in der Probe enthaltenen Stoffmenge sind, lässt sich über eine Regressionsgerade der Kalibration die Konzentration unbekannter Proben bestimmen. Für Bestimmung der Regressionsgeraden wurde eine doppeltlogarithmische Auftragung verwendet. In Abb. 3.4.1 gezeigt am Beispiel der Kalibration vom 20.03.14.

$$f(x) = 0,56483x - 3,76208$$

$$R^2 = 0,99829$$

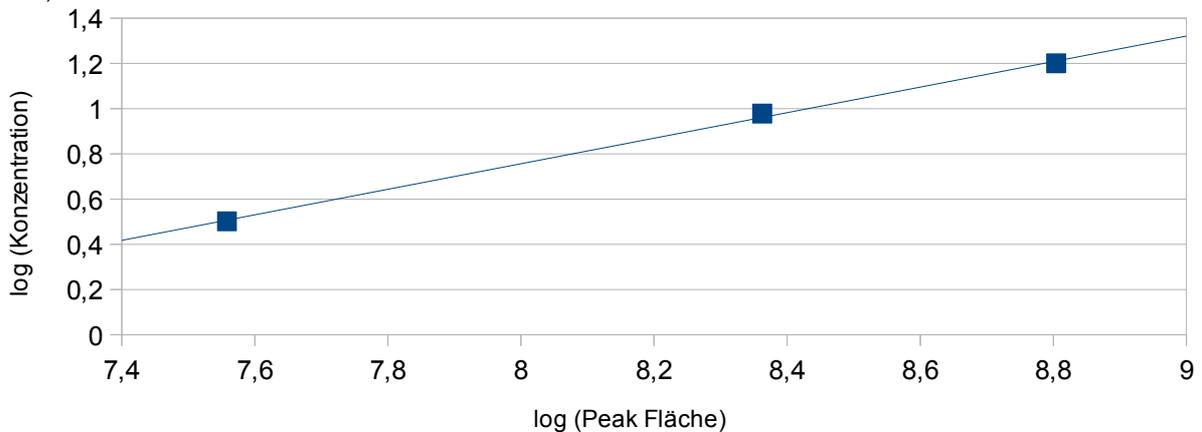


Abb. 3.4.1: Kalibration vom 20.03.2014.

Wie bereits in 3.2 beschrieben wurde DMS als leicht flüchtiges Gas bereits während der Fahrt gemessen. Durch die Zugabe von Natriumhydroxid-Plättchen wurde das in den Proben enthaltene DMSP zu DMS gespalten. In den unfiltrierten Proben war das DMS noch enthalten, aus den filtrierten Proben wurde das gelöste DMSP ( $\text{DMSP}_d$ ) gemessen. Es ergibt sich also zur Berechnung der Konzentration des partikulären DMSP ( $\text{DMSP}_p$ ):

$$[\text{DMSP}_p] = [\text{DMS} + \text{DMSP}_t] - [\text{DMS}] - [\text{DMSP}_d]$$

Nachdem das DMSP gemessen war, wurden die Proben mit Natriumborhydrid ( $\text{NaBH}_4$ ) versetzt um das enthaltene DMSO zu reduzieren. Analog zur DMSP-Messung ist in der unfiltrierten Probe das totale DMSO ( $\text{DMSO}_t$ ) und in der filtrierten Probe das gelöste DMSO ( $\text{DMSO}_d$ ) enthalten. Zur Berechnung von partikulärem DMSO ( $\text{DMSO}_p$ ) ergibt sich:

$$[\text{DMSO}_p] = [\text{DMSO}_t] - [\text{DMSO}_d]$$

Aus der Gleichung der Kalibrationsgeraden ließ sich nun über das Einsetzen der jeweiligen Peak-Flächen die Konzentrationen der Proben bestimmen.

## 4. Ergebnisse

Bis zum Zeitpunkt der Fertigstellung dieser Arbeit konnten nicht alle Proben der Fahrt gemessen werden, zusätzlich waren nicht bei allen Proben Messwerte von DMS vorhanden, daher ergeben sich je nach Parametern Lücken in den Datensätzen. Es sind Daten zweier Messstationen in der Sektion A vorhanden, diese werden aufgrund ihrer Abgeschiedenheit zu den bereits gemessenen Proben erst im Abschnitt 4.4 aufgegriffen. In Abb. 4.1 sind die Orte der gemessenen Proben aufgetragen.

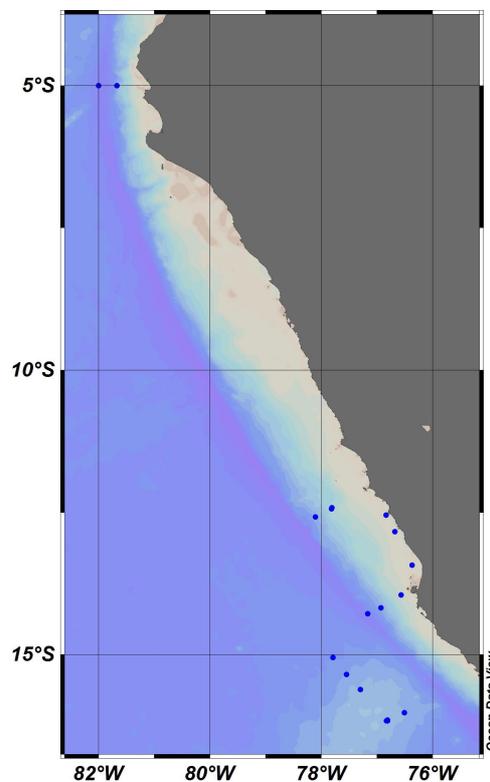


Abb. 4.1: Die Orte der gemessenen Proben auf der M91-Fahrt.

Die gemessenen Proben befinden sich in den Sektionen A, G, H, I, Ia und J (s. Abb. 2.5.1).

### 4.1 Temperatur und Chlorophyll a - Abgrenzung des Auftriebsgebietes

Anhand der Temperatur sowie der Chlorophyll a Konzentration lässt sich das Auftriebsgebiet eingrenzen. In Abb. 4.1.1 ist die Oberflächentemperatur, in Abb. 4.1.2 die totale Chlorophyll a (tChl a) Konzentration gezeigt. Als Messwerte wurden die der Oberfläche am nächsten liegenden Werte innerhalb der Deckschicht (0-15 m) verwendet.

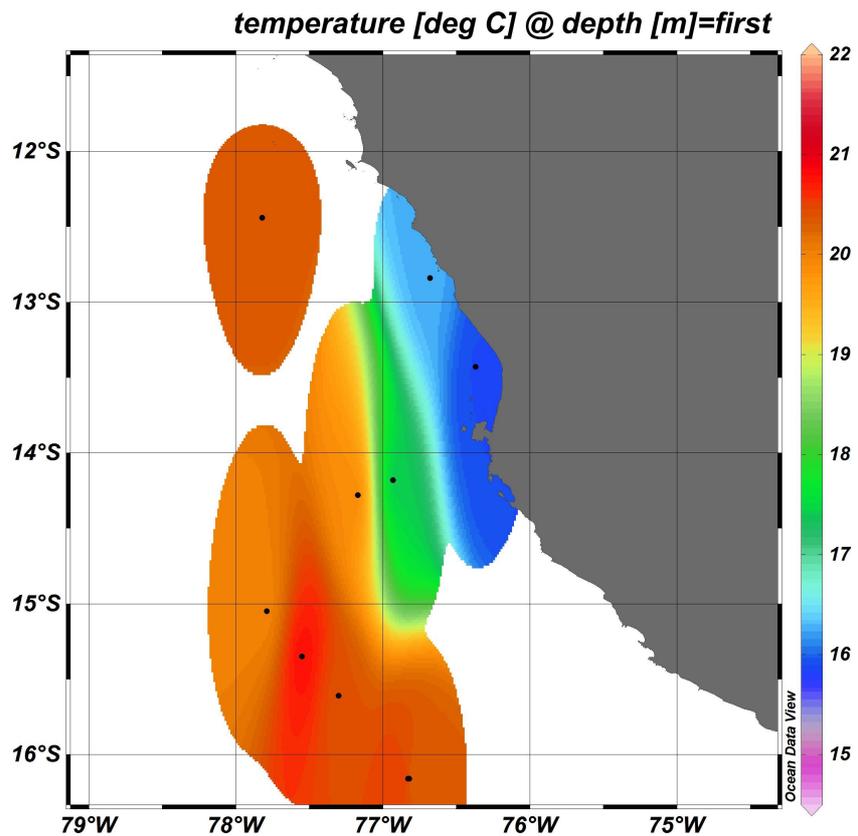


Abb. 4.1.1: Oberflächentemperatur im Auftriebsgebiet. Als Messpunkte wurden die der Oberfläche am nächsten liegenden Messwerte innerhalb von 0-15 m Tiefe verwendet.

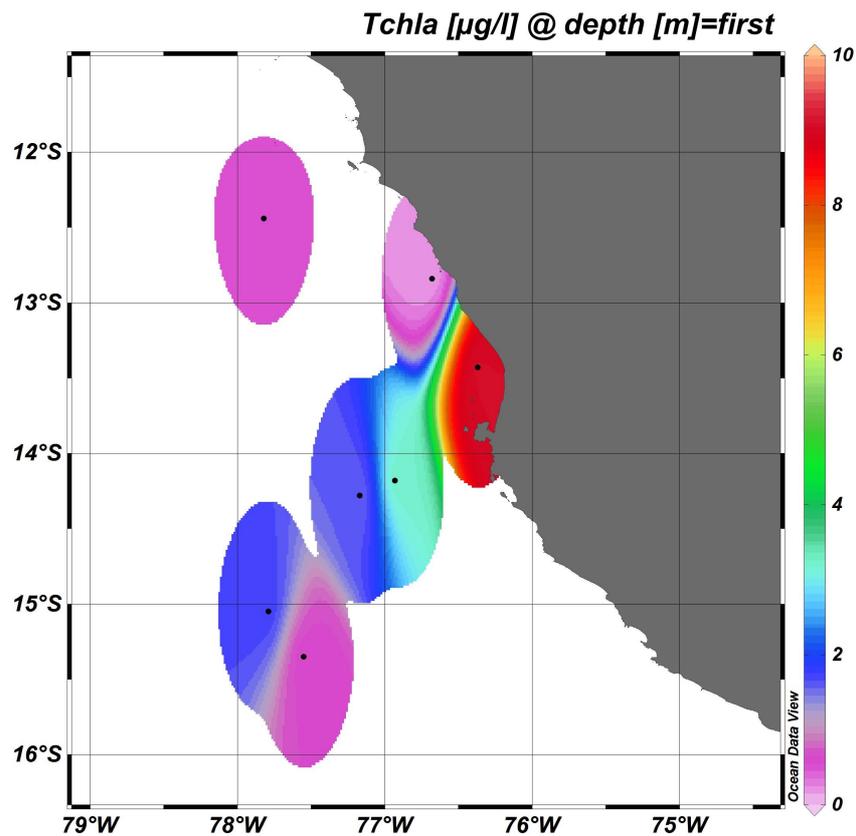


Abb. 4.1.2: Oberflächenkonzentration von *tChl a* im Auftriebsgebiet. Als Messpunkte wurden die der Oberfläche am nächsten liegenden Messwerte innerhalb von 0-15 m Tiefe verwendet.

Wie in Abb. 4.1.1 zu sehen ist, nimmt die Oberflächentemperatur von der Küste zum offenen Ozean hin zu. Die Temperatur beträgt dabei zwischen 16 °C und 21 °C. Die Chlorophyll a Konzentration (Abb. 4.1.2) ist dort am höchsten, wo die Temperatur am niedrigsten ist und nimmt von der Küste weggehend ab. Das direkte Auftriebsgebiet lässt sich somit auf einen Bereich bis ca. 25-50 km vor der Küste begrenzen.

#### 4.2 Oberflächendaten von DMSO und DMSP

Im Folgenden sind die Oberflächendaten von DMSO und DMSP zu sehen. Als Messpunkte werden die am nächsten zur Oberfläche liegenden Werte, innerhalb der Deckschicht (0-15 m) angezeigt. In Abb. 4.2.1 sind die Messwerte für  $\text{DMSO}_d$  und  $\text{DMSO}_p$  zu sehen in Abb. 4.2.2 die Werte für  $\text{DMSP}_d$  und  $\text{DMSP}_p$ .

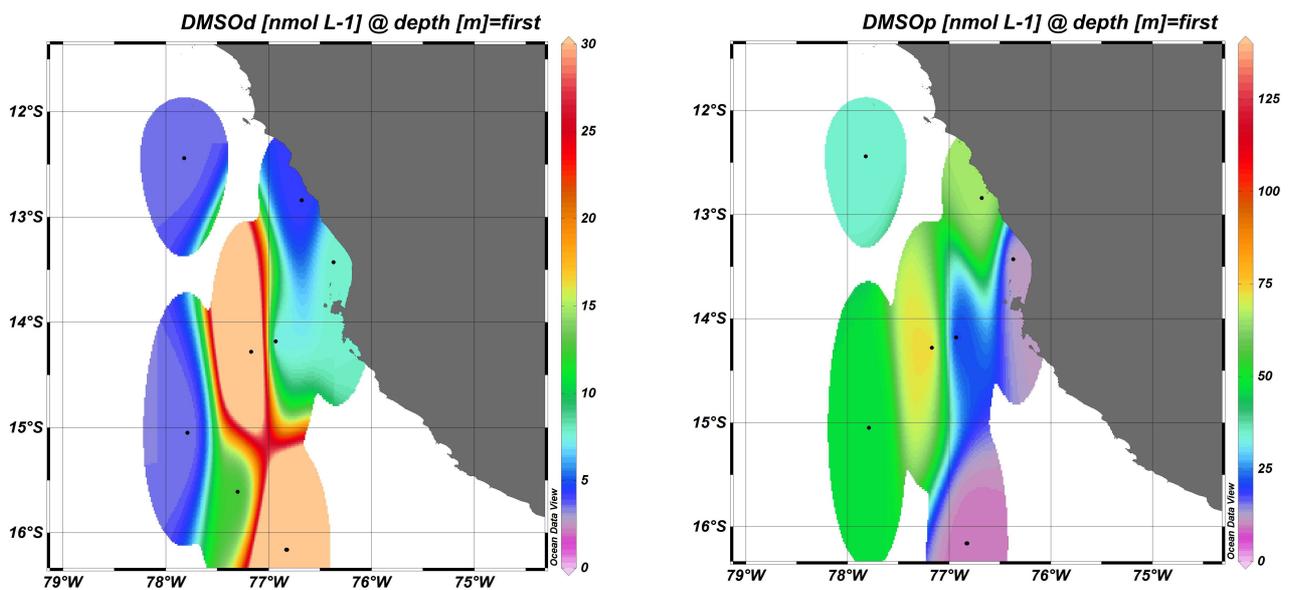


Abb. 4.2.1: Oberflächenkonzentration von  $\text{DMSO}_d$  (links) und  $\text{DMSO}_p$  (rechts) im Auftriebsgebiet. Als Messpunkte wurden die der Oberfläche am nächsten liegenden Messwerte innerhalb von 0-15 m Tiefe verwendet.

Die in Abb. 4.2.1 gezeigten Konzentrationen an  $\text{DMSO}_d$  reichen von  $1,27 \text{ nmol L}^{-1}$  bis  $27,10 \text{ nmol L}^{-1}$ . Die Konzentrationen nehmen von der Küste zum offenen Ozean hin zu, bis sie ca. 75 km vor der Küste ihre Höchstwerte erreichen und wieder abnehmen. Die Oberflächenkonzentrationen von  $\text{DMSO}_p$  liegen zwischen  $2,02 \text{ nmol L}^{-1}$  und  $130,52 \text{ nmol L}^{-1}$ . Auffällig ist, dass sich die höchsten Konzentrationen auf einer geraden Linie in süd-westlicher Richtung von der Mitte der Sektion H bis zum Ende der Sektion I hin befinden, während süd-östlich dieser Linie die Konzentrationen stark abnehmen.

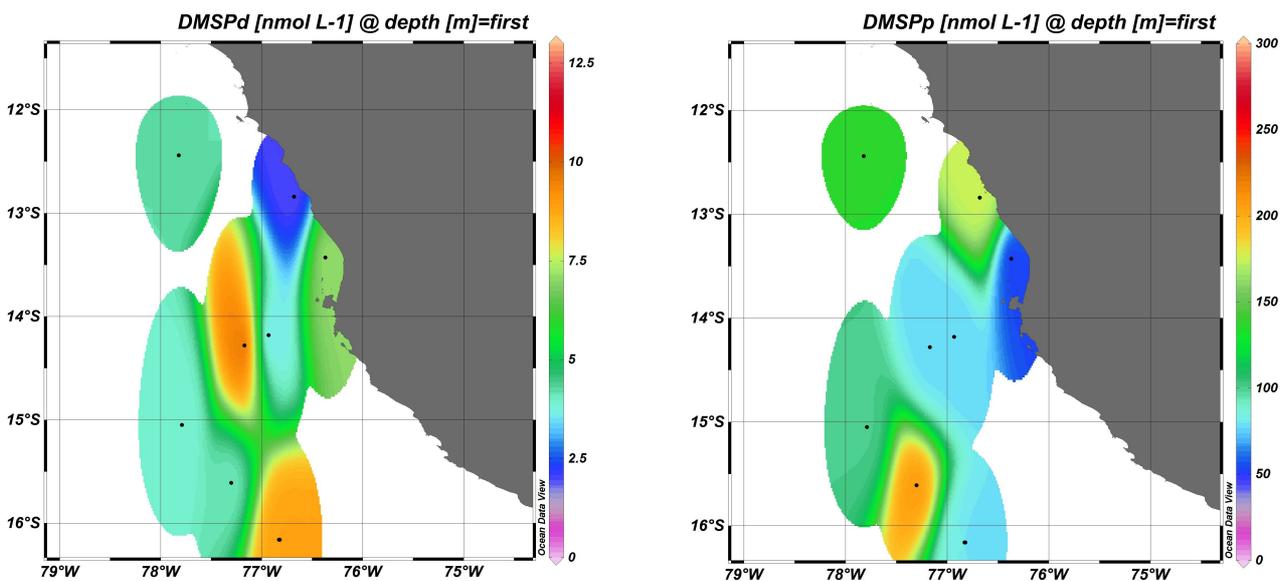


Abb. 4.2.2: Oberflächenkonzentration von  $DMSP_d$  (links) und  $DMSP_p$  (rechts) im Auftriebsgebiet. Als Messpunkte wurden die der Oberfläche am nächsten liegenden Messwerte innerhalb von 0-15 m Tiefe verwendet.

Wie schon beim gelösten DMSO befindet sich die höchste  $DMSP_d$ -Konzentration ca. 75 km entfernt von der Küste, jedoch sind die umliegenden Konzentrationen in etwa gleich hoch. Der niedrigste Messwert liegt direkt an der Küste. Die Konzentrationen liegen zwischen  $0,81 \text{ nmol L}^{-1}$  und  $11,55 \text{ nmol L}^{-1}$ . Ebenso zeigen auch die  $DMSP_p$ -Konzentrationen die gleiche Verteilung wie bereits das partikuläre DMSO. Die höchsten Konzentrationen sind auf einer Linie in süd-westlicher Richtung von der Mitte der Sektion H zum Ende der Sektion I. Um diese Linie herum nehmen die Konzentrationen ab. Die Konzentrationen reichen von  $9,26 \text{ nmol L}^{-1}$  bis  $288,91 \text{ nmol L}^{-1}$ , der höchste Messwert ist direkt an der Küste zu finden. In Tabelle 4.2.1 sind die Oberflächenkonzentrationen zusammengefasst.

Tabelle 4.2.1: Bereiche und Mediane der Konzentrationen an DMS, DMSO, DMSP und Chl a im Oberflächenwasser.

Verbindung	Bereich [ $\text{nmol L}^{-1}$ ]	Median [ $\text{nmol L}^{-1}$ ]
$DMSO_d$	1,27-27,10	4,15
$DMSO_p$	2,02-130,52	34,32
$DMSP_d$	0,81-11,55	3,99
$DMSP_p$	9,26-288,91	103,96
DMS	1,06-6,75	2,06
Chl a	0,11-9,04	1,49

### 4.3 Sektionen I & Ia – Tiefenprofile

Die folgenden Abbildungen 4.3.1 bis 4.3.4 stellen die Messwerte der Sektionen I und Ia als Tiefenprofile grafisch dar.

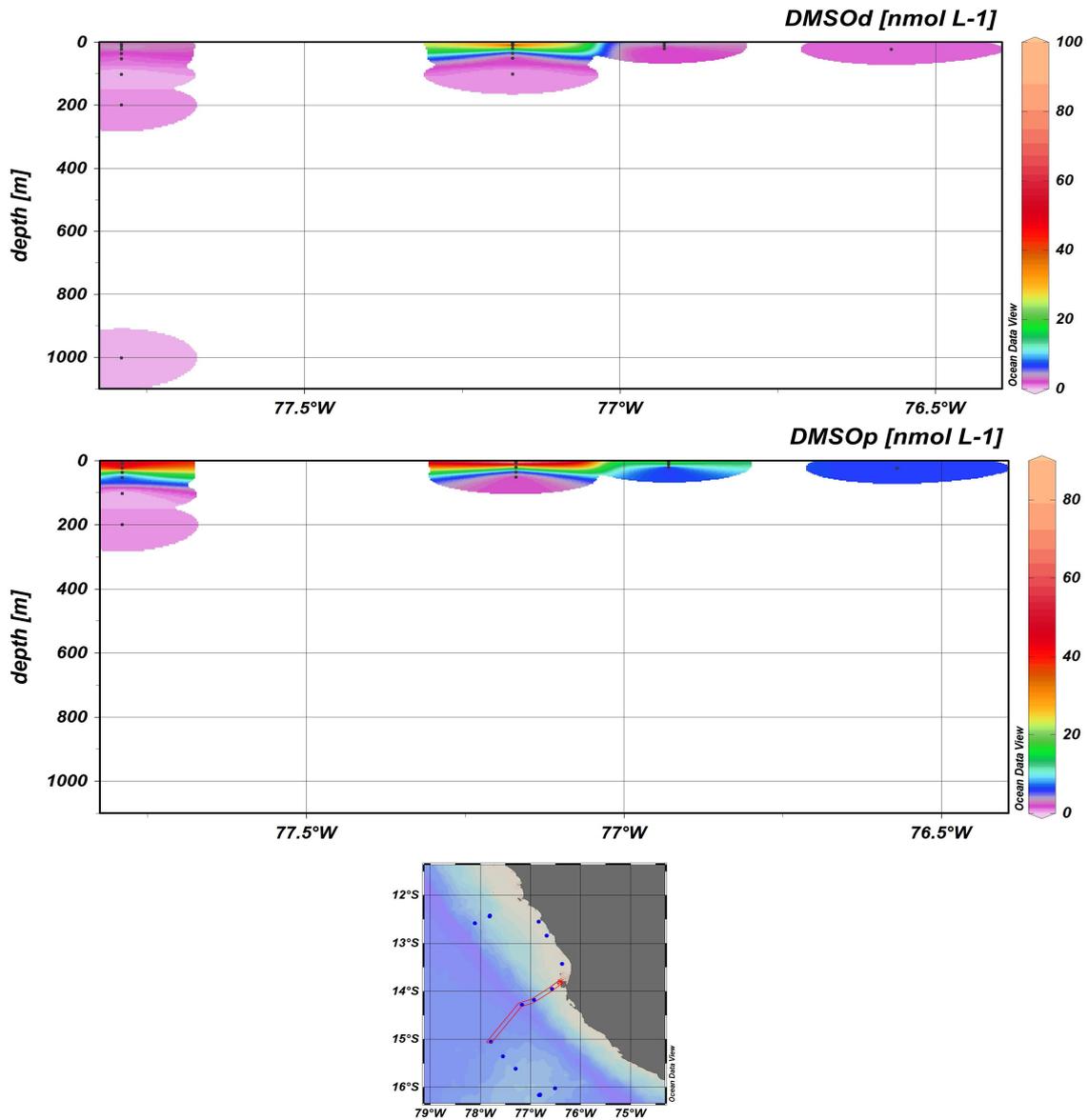


Abb. 4.3.1: Unten: Karte der Messstationen, dunkelblaue Punkte markieren die Messstationen, rote Umrandung markiert die Sektion I. Oben und Mitte: Grafische Darstellung der Messwerte von  $DMSO_d$  und  $DMSO_p$ , aufgetragen ist die Tiefe gegen den Längengrad.

Schwefelverbindungen im Peruanischen Auftriebsgebiet

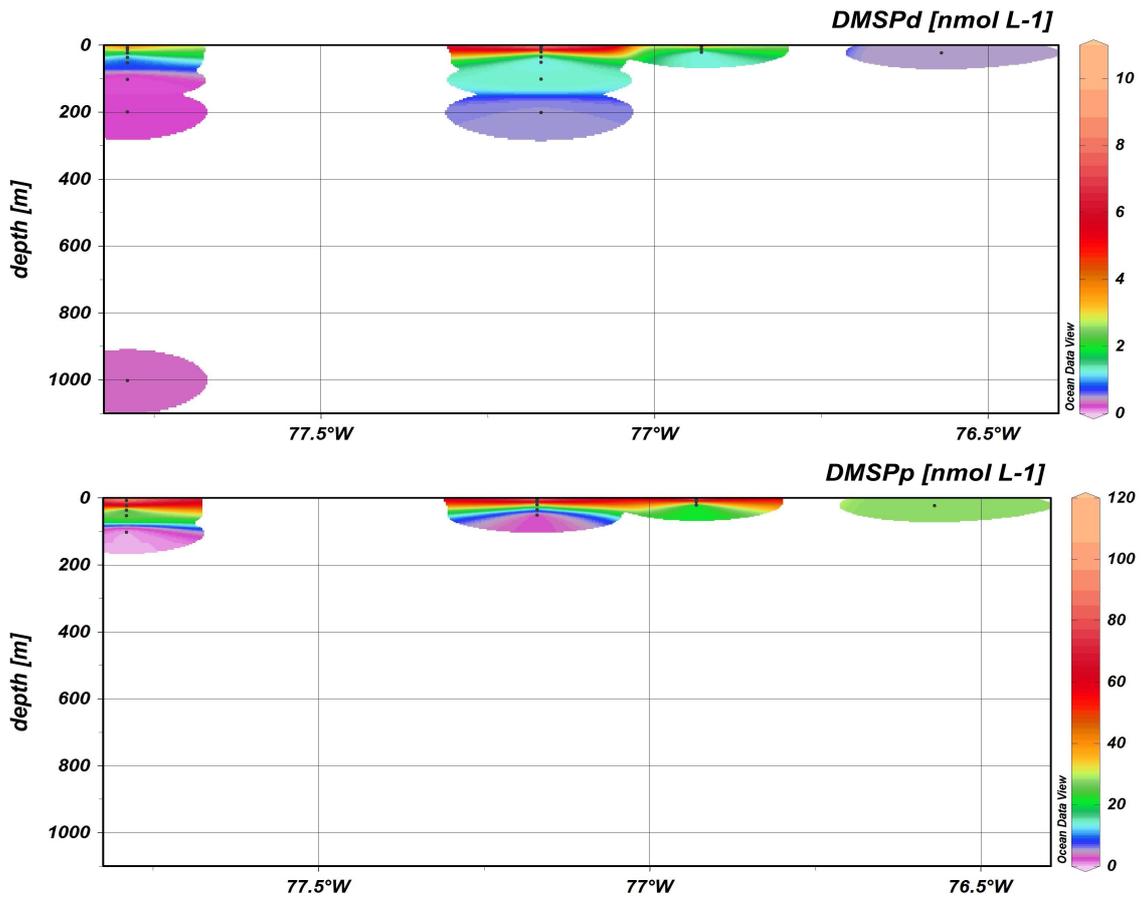


Abb. 4.3.2: Grafische Darstellung der Messwerte von  $DMSP_d$  und  $DMSP_p$  aus der Sektion I, aufgetragen ist die Tiefe gegen den Längengrad.

Wie man in den Abbildungen sehen kann, sind die Konzentrationen der verschiedenen Verbindungen in der Deckschicht am höchsten und nehmen dann innerhalb von 100 m Tiefe stark ab.

Schwefelverbindungen im Peruanischen Auftriebsgebiet

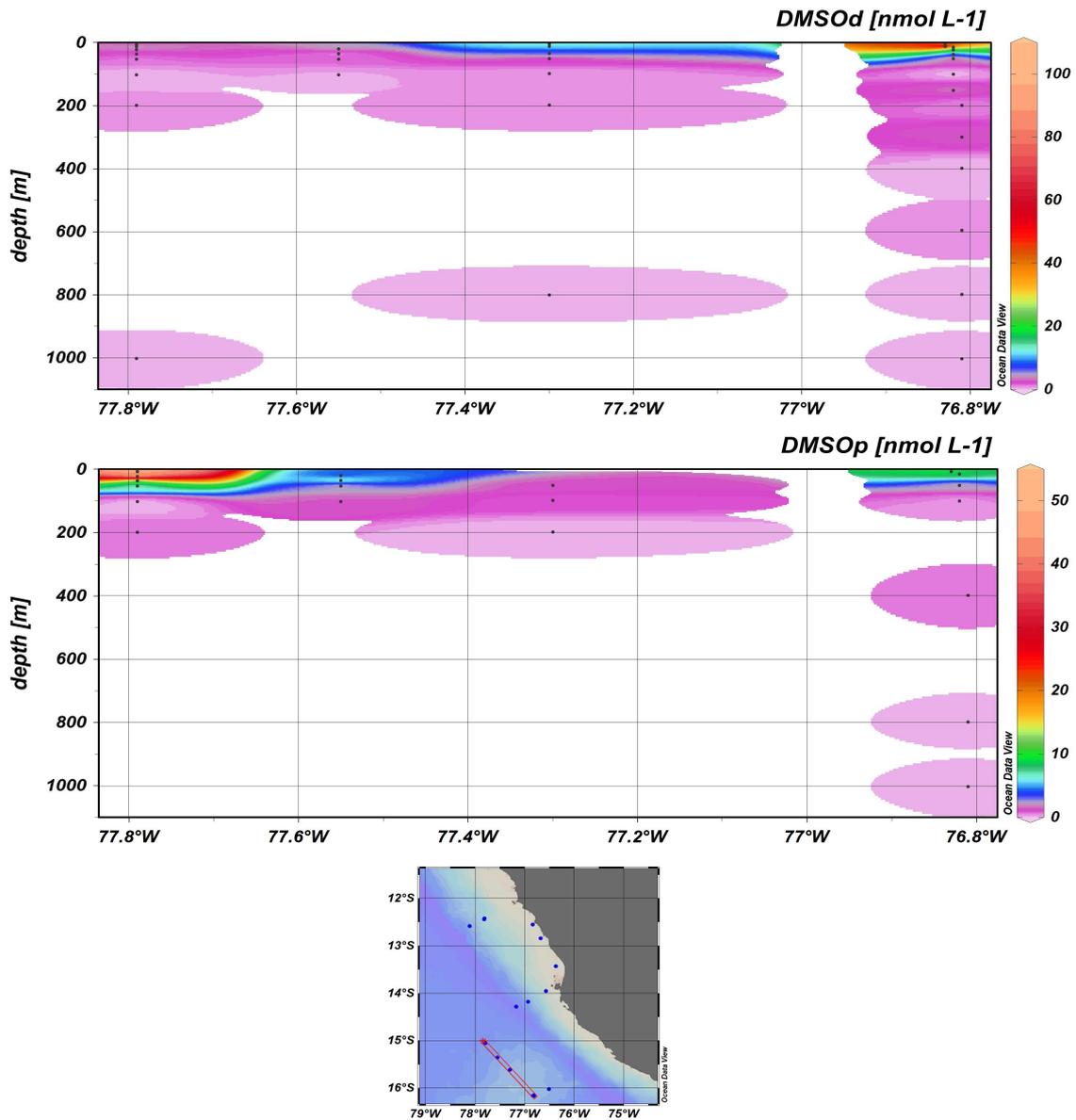


Abb. 4.3.3: Unten: Karte der Messstationen, dunkelblaue Punkte markieren die Messstationen, rote Umrandung markiert die Sektion Ia. Oben und Mitte: Grafische Darstellung der Messwerte von  $DMSO_d$  und  $DMSO_p$ , aufgetragen ist die Tiefe gegen den Längengrad.

Schwefelverbindungen im Peruanischen Auftriebsgebiet

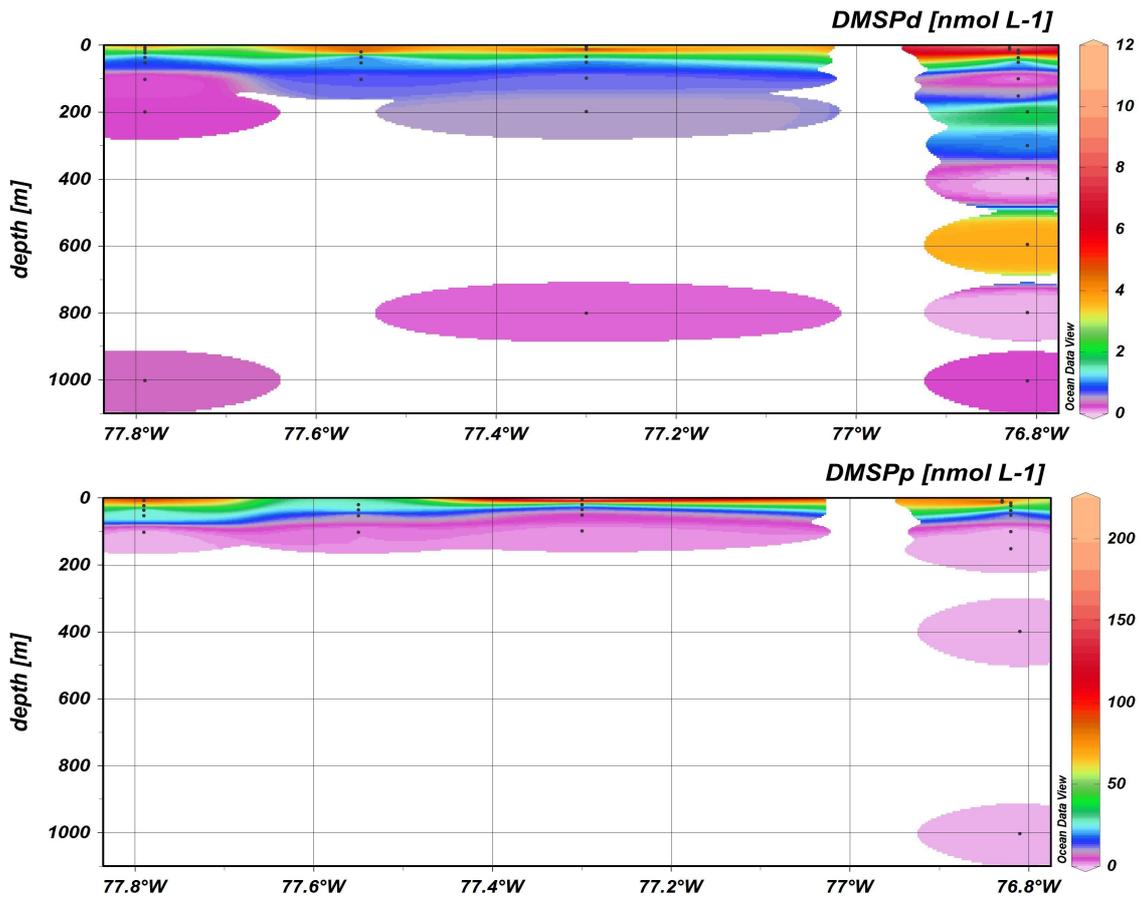


Abb. 4.3.4: Grafische Darstellung der Messwerte von  $DMSP_d$  und  $DMSP_p$  aus der Sektion Ia, aufgetragen ist die Tiefe gegen den Längengrad.

Wie schon in Sektion I ist auch in Sektion Ia die Konzentration in der Deckschicht am höchsten und fällt innerhalb 100 m Tiefe stark ab. Auffällig ist, dass das gelöste DMSP (s. Abb. 4.3.4) in ca. 200 m sowie 600 m Tiefe wieder ein wenig ansteigt.

#### 4.4 Tiefenprofile DMSO, DMSP, Nährstoffe

In Abb. 4.4.1 sind die Messstationen aufgezeigt von denen genügend Daten vorhanden sind um Tiefenprofile der Schwefelverbindungen und der Nährstoffe anzufertigen.

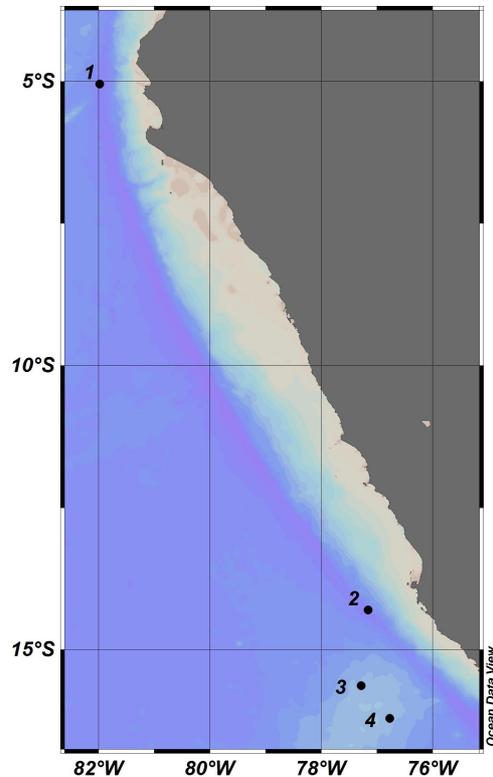


Abb. 4.4.1: Messstationen der Tiefenprofile. Die schwarzen Punkte mit Nummerierung markieren die Orte der Messstationen.

In den Abbildungen 4.4.2-4.4.5 sind die Tiefenprofile von  $\text{DMSO}_t$  und  $\text{DMSP}_t$  mit den dazugehörigen Nährstoffen aufgetragen.

### Schwefelverbindungen im Peruanischen Auftriebsgebiet

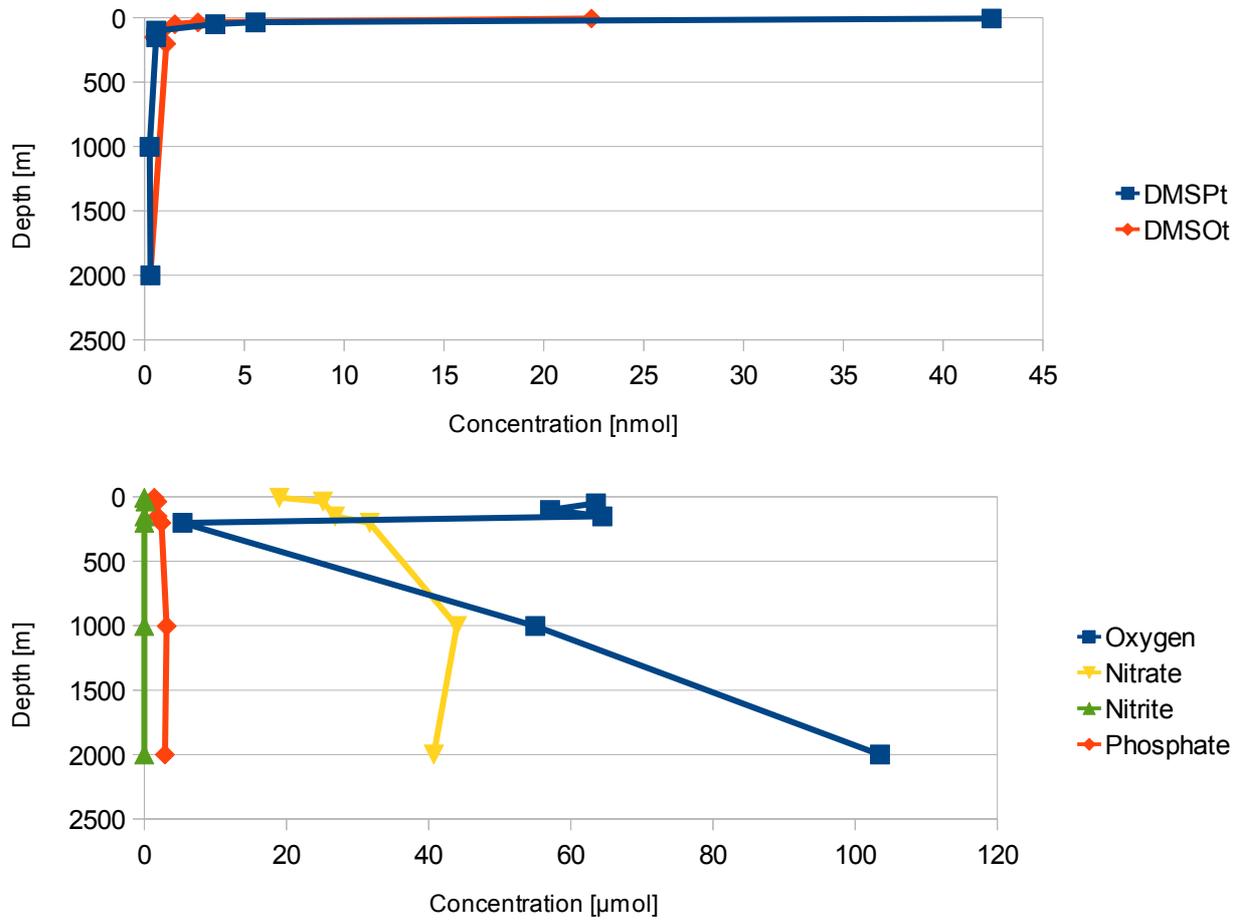


Abb. 4.4.2: Tiefenprofile der Station 1. Oben: Tiefenprofil der Verbindungen DMSO (Rot) und DMSP (Blau). Unten: Tiefenprofil der Nährstoffe. Aufgetragen sind die Konzentrationen gegen die Tiefe.

Schwefelverbindungen im Peruanischen Auftriebsgebiet

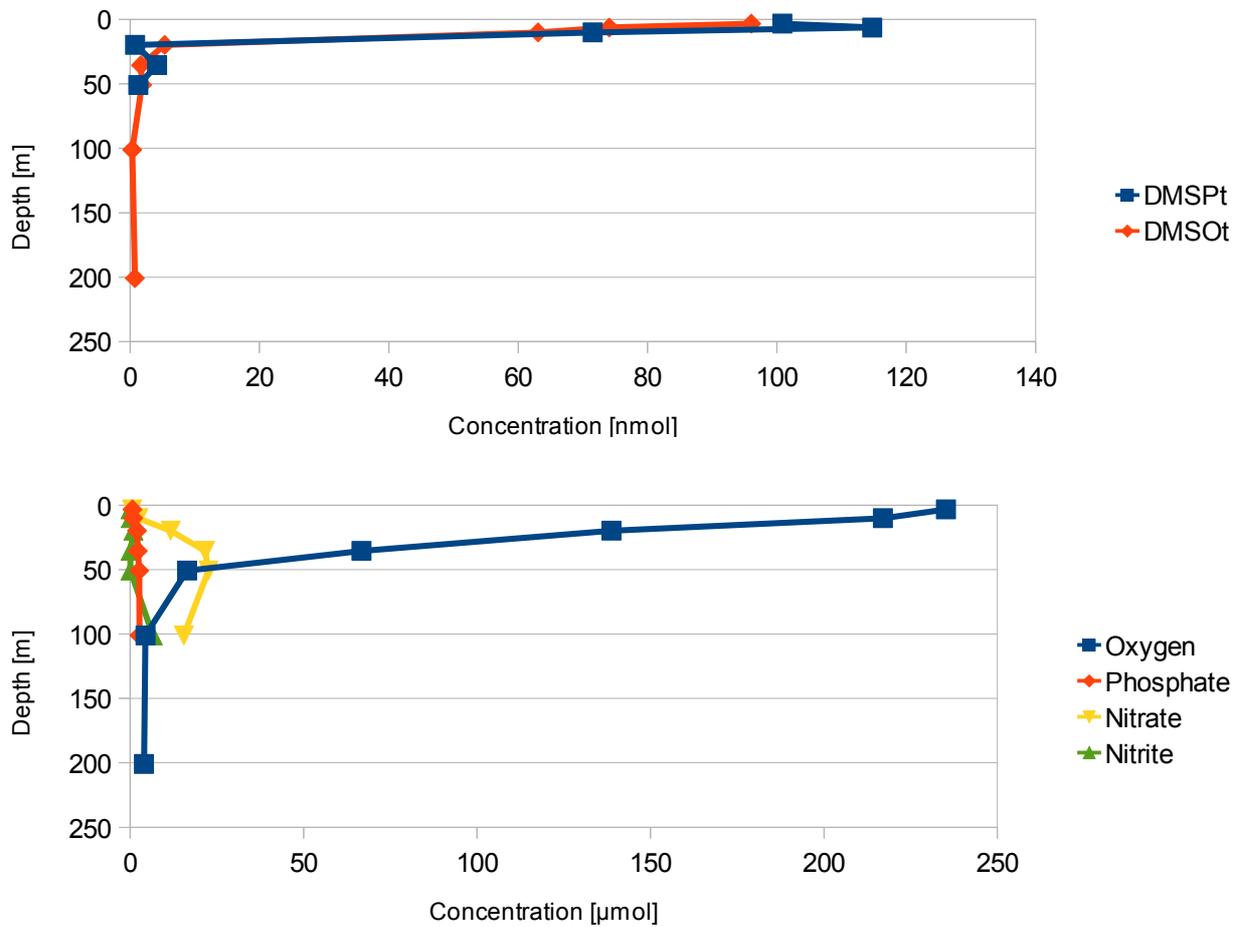


Abb. 4.4.3: Tiefenprofile der Station 2. Oben: Tiefenprofil der Verbindungen DMSO (Rot) und DMSP (Blau). Unten: Tiefenprofil der Nährstoffe. Aufgetragen sind die Konzentrationen gegen die Tiefe.

Schwefelverbindungen im Peruanischen Auftriebsgebiet

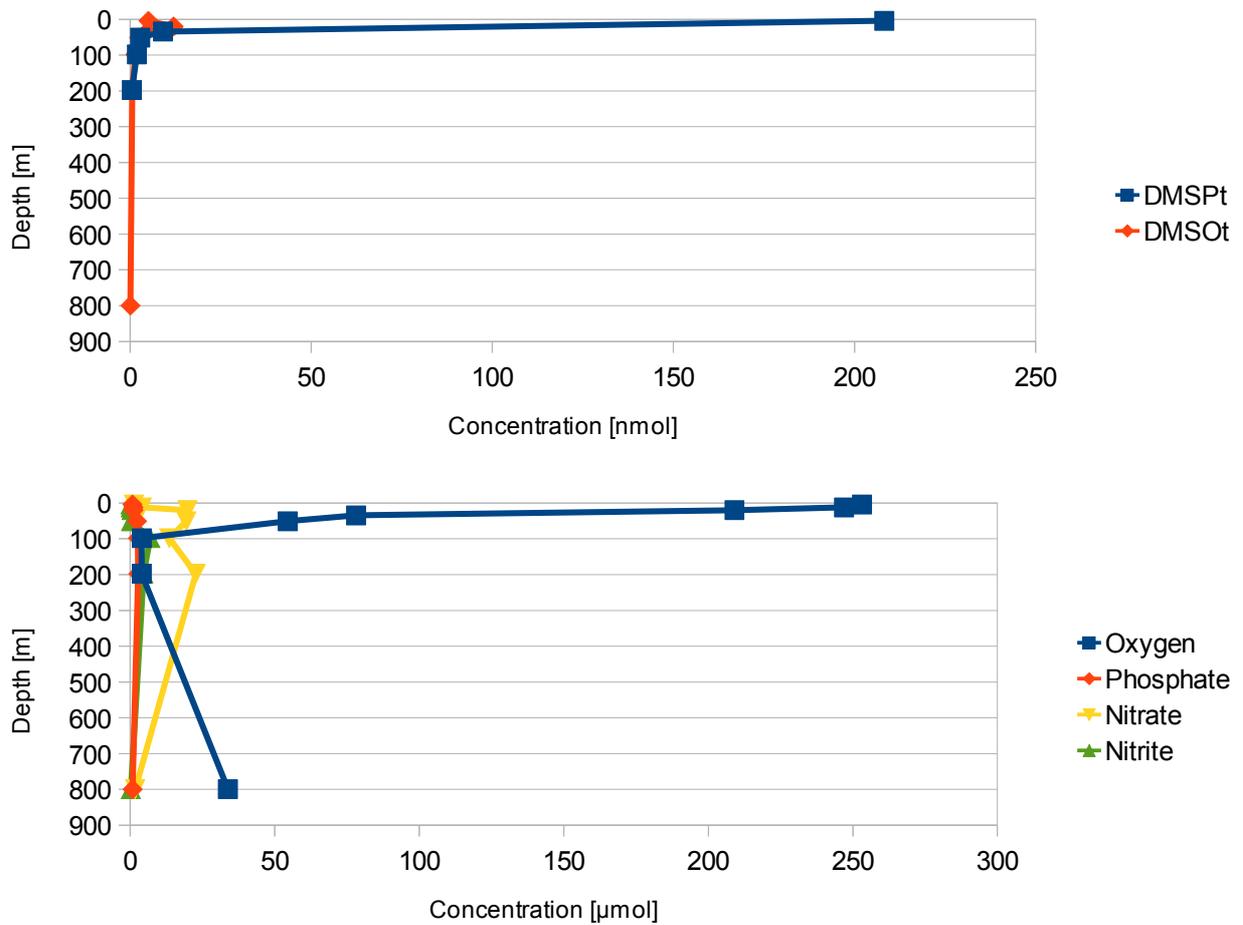


Abb. 4.4.4: Tiefenprofile der Station 3. Oben: Tiefenprofil der Verbindungen DMSO (Rot) und DMSP (Blau). Unten: Tiefenprofil der Nährstoffe. Aufgetragen sind die Konzentrationen gegen die Tiefe.

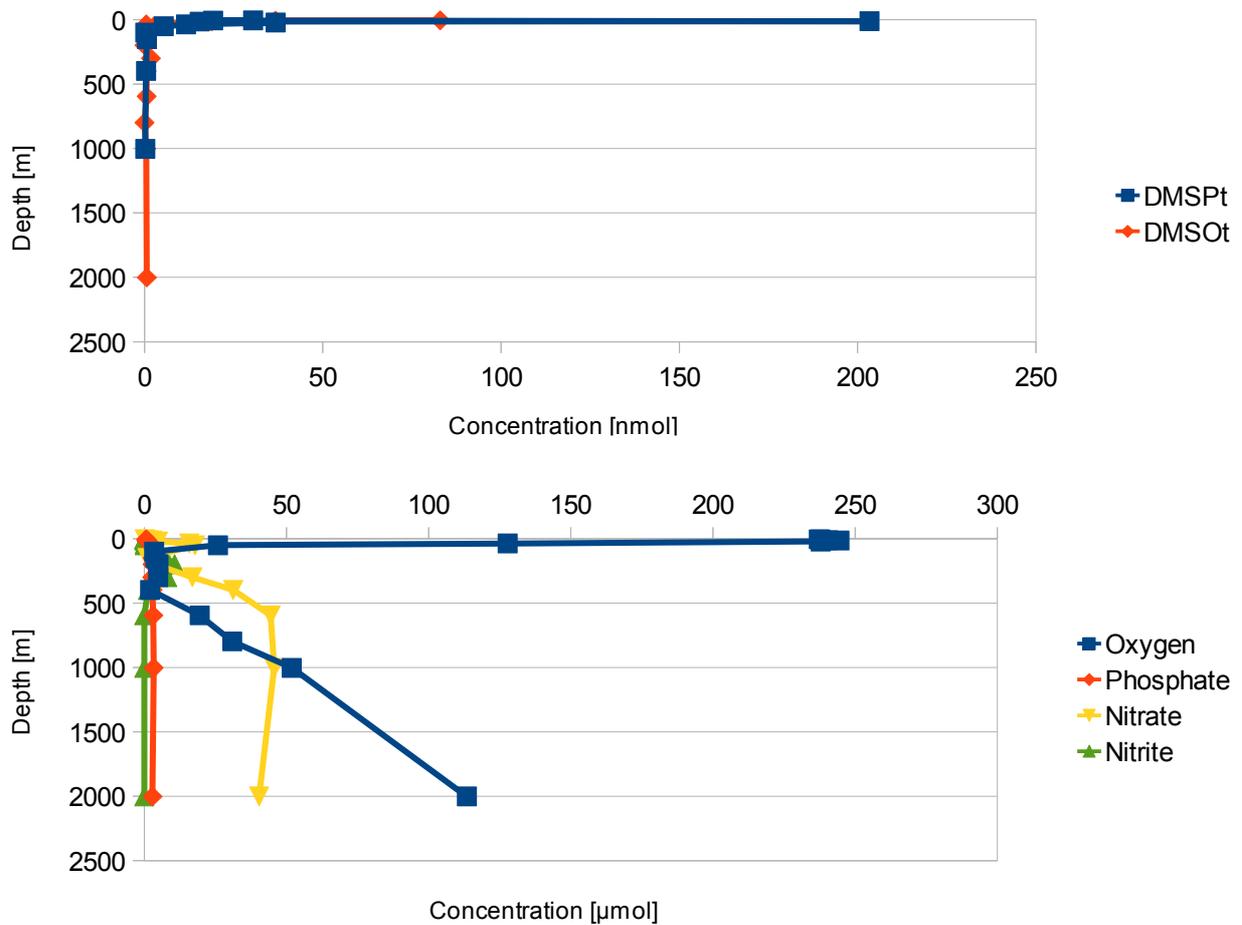


Abb. 4.4.5: Tiefenprofile der Station 4. Oben: Tiefenprofil der Verbindungen DMSO (Rot) und DMSP (Blau). Unten: Tiefenprofil der Nährstoffe. Aufgetragen sind die Konzentrationen gegen die Tiefe.

Wie man in den Abbildungen sehen kann ist die Konzentration von DMSP sehr viel höher als die des DMSO. Beide Konzentrationen nehmen innerhalb der ersten ca. 20 m stark zu und sinken dann bis ca. 100 m Tiefe wieder ab. Ab dieser Tiefe ist die Konzentration nahezu konstant. Die gezeigten Nährstoffe Phosphat und Nitrit schwanken über alle Tiefen nur sehr gering und können als konstant angesehen werden. Die Nitratkonzentration schwankt in den verschiedenen Tiefen und über die verschiedenen Messstationen zwar teilweise stark, es ließ sich jedoch kein Zusammenhang zwischen diesen Schwankungen und den Schwefelverbindungen herstellen. Die Sauerstoffkonzentration hingegen scheint in einem Zusammenhang mit den Konzentrationen an DMSO und DMSP zu stehen. Innerhalb der ersten 100 m nimmt die Sauerstoffkonzentration mit der Konzentration von DMSO und DMSP ab. Es folgt eine Zone (bis ca. 200 m) in der die

Schwefelverbindungen im Peruanischen Auftriebsgebiet

Sauerstoffkonzentration sehr niedrig ist. In Tiefen unterhalb von 200 m nimmt die Sauerstoffkonzentration wieder zu. Die Konzentrationen von  $\text{DMSP}_i$  sind in der Oberflächen nahen Wasserschicht zwischen ca. 42-208  $\text{nmol L}^{-1}$ . Die  $\text{DMSO}_i$ -Konzentrationen schwanken ebenfalls stark zwischen ca. 25-132  $\text{nmol L}^{-1}$ .

#### **4.5 Korrelationen der Schwefelverbindungen**

Um einen möglichen Zusammenhang zwischen den Schwefelverbindungen und der Phytoplankton-Produktion festzustellen, wurden DMS, DMSO sowie DMSP gegen verschiedene Pigmente aufgetragen. Als Pigmente wurden das gesamte Chlorophyll a (tChl a), Peridinin (enthalten in Dinoflagelaten), 19'-Butanoyloxyfucoxanthin (19-But, enthalten in verschiedenen Chrysophyten) sowie 19'-Hexanoylfucoxanthin (19-Hex, enthalten in Haptophyten). Außerdem wurden die Schwefelverbindungen gegeneinander aufgetragen um einen möglichen Zusammenhang zwischen diesen herauszufinden.

Es ließ sich keine Korrelation zwischen den Konzentrationen der Schwefelverbindungen feststellen. DMS sowie DMSP wiesen des Weiteren auch keine erkennbaren Zusammenhänge mit den verschiedenen Pigmenten auf. In Abb. 4.5.1 ist die Auftragung der Chlorophyll a-Konzentration gegen die  $\text{DMSO}_p$ -Konzentration zu sehen.

$$f(x) = 28,04x + 3,81$$
$$R^2 = 0,62$$

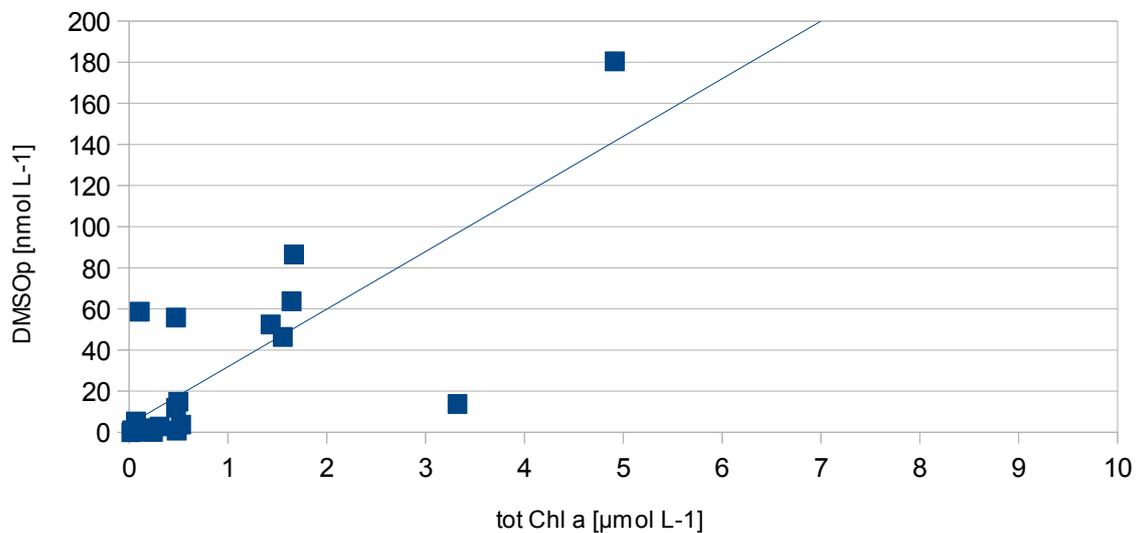


Abb. 4.5.1: Auftragung der gesamten Chlorophyll a-Konzentration (tChl a) gegen die DMSO<sub>p</sub>-Konzentration.

Wie in der Abbildung zu sehen ist beträgt der Korrelationskoeffizient  $R^2 = 0,62$ . Es ist also anzunehmen, dass die DMSO<sub>p</sub>-Konzentration linear mit der tChl a-Konzentration zusammenhängt. Eine Auftragung der 19-Hex-Konzentration gegen die DMSO<sub>p</sub>-Konzentration ergab einen Korrelationskoeffizienten von  $R^2 = 0,46$ . Es ist somit auch möglich, dass dort ein Zusammenhang besteht, kann aufgrund der Datenmenge jedoch nicht eindeutig bestätigt werden. Weitere Korrelationen mit DMSO und den verschiedenen Pigmenten konnten nicht festgestellt werden.

## 5. Diskussion

### 5.1 Diskussion der Ergebnisse

Die Temperatur und Chlorophyll Diagramme (Abb. 4.1.1 und Abb. 4.1.2) zeigen wie erwartet an, dass sich das Auftriebsgebiet direkt an der Küste befindet. Der Auftrieb von tieferem kalten Wasser senkt die Oberflächentemperatur ab. Die Nährstoffe, die so an die Oberfläche gelangen, führen zu einer erhöhten biologischen Produktion, erkennbar an der erhöhten Chlorophyll a-Konzentration.

Mit der Zeit werden die Nährstoffe aufgebraucht und die Produktion verringert sich allmählich. Die Chl a-Konzentration nimmt damit mit zunehmender Entfernung zum Auftriebsgebiet wieder ab.

Die gemessenen Konzentrationen an DMS, DMSO und DMSP waren mit Höchstwerten von  $6,75 \text{ nmol L}^{-1}$  (DMS),  $131 \text{ nmol L}^{-1}$  ( $\text{DMSO}_p$ ) und  $289 \text{ nmol L}^{-1}$  ( $\text{DMSP}_p$ ) innerhalb der erwarteten Grenzen. In Tabelle 5.1.1 sind zum Vergleich Konzentrationen aus verschiedenen Regionen aufgetragen.

Tabelle 5.1.1: Übersicht der Konzentrationen an DMS, DMSO und DMSP in verschiedenen Regionen.

Region	Jahr	Monat	DMS Range (min-max) [nmol L <sup>-1</sup> ]	DMSO <sub>p</sub> Range (min-max) [nmol L <sup>-1</sup> ]	DMSP <sub>p</sub> Range (min-max)	Referenz
Nordsee	1996	Jun	n. gem.	n. geg.-40	n. geg.-340	Simó <i>et al.</i> , 1998
Peru	2000	Aug-Sep	n. gem.	n. geg.-21,5	n. geg.-27,3	Riseman und Di Tullio, 2004
Peru	2012	Dez	2,1 1,1-6,8	34,3 2,0-130,5	104,0 9,3-288,9	Diese Arbeit
Chile	2010	Jan	n. geg-22*	n. gem.	n. gem	Lana <i>et al.</i> , 2011
Mauritanien	2008	Feb	0,2-10	n. gem.	1,4-990	Zindler <i>et al.</i> , 2012

*n. gem. und n. geg. steht für nicht gemessen und nicht gegeben, \* Zusammenfassung verschiedener Datenbanken*

Die generelle Verteilung zeigt auf, dass die partikulären Anteile an DMSO und DMSP analog zur Chl a-Konzentration mit der Entfernung zum Auftriebsgebiet abnehmen. Dies war zu erwarten, da DMSO und DMSP vom Phytoplankton gebildet wird. Die Verteilung der gelösten Komponenten hingegen zeigt, dass die Höchstwerte parallel zur Küste auftreten. Möglicherweise ist dies ein Hinweis auf die Hypothese des Overflow-Mechanismus. Die vermehrte Produktion von DMSO und DMSP sowie deren Abgabe in die Wassersäule finden erst nach dem Wachstum des Planktons statt, also zu einem Zeitpunkt an dem das Plankton bereits von der Strömung an den Rand des Auftriebsgebietes transportiert wurde. Die Anreicherung in der Wassersäule findet sich somit etwas außerhalb des direkten Auftriebsgebietes wieder. Ein Einfluss von außen ist ebenso möglich.

Eddies, die in dieser Region häufiger auftreten, können eine Region horizontal und vertikal durchmischen und dadurch die gemessene Konzentrationsverteilung beeinflussen. Eddies könnten auch eine Erklärung für das plötzliche Ansteigen von  $\text{DMSP}_d$  in ca. 200 m und 600 m Tiefe (Abb. 4.3.4) sein.

Die Tiefenprofile zeigen eine zu erwartende Verteilung auf, die Konzentrationen sind nahe der Oberfläche (5-15 m) am höchsten und nehmen dann bis 100 m Tiefe ab. Zurückzuführen ist dies auf die Lichtabhängigkeit des Phytoplanktons. Um Photosynthese zu betreiben benötigt das Plankton genügend Licht, mit zunehmender Tiefe nimmt die Stärke des Lichts jedoch ab und das Planktonwachstum kann nur noch eingeschränkt oder gar nicht mehr stattfinden. In Tiefen unter 200 m kann man sehen, dass die  $\text{DMSO}$ -Konzentration gleich oder etwas höher ist als die  $\text{DMSP}$ -Konzentration. Gleiches wurde bereits von Hatton (1998) berichtet. In den Tiefenprofilen kann man auch sehen, dass die Konzentration des  $\text{DMSP}$  und  $\text{DMSO}$  mit der Konzentration des Sauerstoffs zunimmt (bis 100 m Tiefe, s. Abb. 4.4.2-4.4.5). Das Phytoplankton produziert bei der Photosynthese Sauerstoff, der an die Wassersäule abgegeben wird. Je höher die Plankton-Konzentration ist, desto höher ist somit auch die Sauerstoffkonzentration.

Die Auftragungen der Schwefelverbindungen gegeneinander, sowie der Verbindungen gegen verschiedene Pigmente zeigen nur eine Korrelation zwischen  $\text{DMSO}_p$  und  $t\text{Chl } a$  an. Dies zeigt jedoch, dass die Planktonzusammensetzung hauptsächlich aus solchen Planktonarten besteht, die  $\text{DMSO}$  produzieren. Aufgrund der hohen Sonneneinstrahlung in diesen Breiten könnte es sein, dass Phytoplanktonblüten mit Arten entstehen, die sich auf  $\text{DMSO}$  spezialisiert haben, um den lichtverursachten Stress zu minimieren und/oder überschüssige Energie abzugeben.

## 5.2 Fehlerbetrachtung

Das komplexe System des Meeres und die Interaktionen der Komponenten untereinander machen vermutlich den größten Fehler aus, dieser ist jedoch zu komplex um genau bestimmt zu werden. Während des Abfüllens kann ein kleiner Teil des  $\text{DMS}$  entweichen, die gemessene Konzentration ist somit geringer als sie sein sollte. Dieser Fehler ist jedoch aufgrund der sehr viel größeren Fehler beim Messen zu vernachlässigen.

Ein zu hoher Druck beim Filtrieren konnte dazu führen, dass die Zellen des Planktons beschädigt wurden. Das so entweichende  $\text{DMSO}$  und  $\text{DMSP}$  konnte von Bakterien zu  $\text{DMS}$  umgewandelt

werden, wodurch eine zu hohe DMS-Konzentration gemessen wurde. Bei der Berechnung der DMSP-Konzentrationen führte dies teilweise zu negativen Werten.

Bei der Apparatur konnten mehrere Fehler auftreten. Ein Fehler tritt auf, wenn die Apparatur nicht absolut gasdicht ist. Es kann etwas der Probe entweichen, wodurch die Messwerte verfälscht werden. Es trat des Öfteren auf, dass eine Kanüle oder ein Gasfluss-Messgerät verstopft war, der somit unterschiedliche Gasstrom führte ebenfalls zu verfälschten Messungen. Die mittlere Standardabweichung der Messungen betrug deshalb 29,9 %.

Ein weiterer Fehler kommt durch das Übertragen der Messwerte zustande. Da die Messwerte nicht digital gespeichert werden konnten, mussten diese vom Laborbuch in eine Tabelle überführt werden. Das Auftreten von Ablese- und Tippfehlern ist damit nicht auszuschließen, wird jedoch durch die hohe Standardabweichung miteinbezogen. Die Genauigkeit der Messwerte erschwert zwar eine exakte Abbildung der Konzentrationen innerhalb der Region, die Ergebnisse können jedoch als ein richtungsweisender Überblick verwendet werden.

## **6. Fazit und Ausblick**

Die Messungen und Auswertung des südlichen Abschnitts der M91-Ausfahrt verliefen erfolgreich und können einen ersten richtungsweisenden Einblick in die gesamte Fahrt bieten. Die Auswertungen ergaben hohe Konzentrationen von DMSP<sub>p</sub> (289 nmol L<sup>-1</sup>) und insbesondere DMSO<sub>p</sub> (131 nmol L<sup>-1</sup>). Es ließ sich ein Zusammenhang zwischen der DMSO-Konzentration und der Chl a-Konzentration aufzeigen sowie der Sauerstoffkonzentration. Dies lässt vermuten, dass es im Auftriebsgebiet vor Peru hauptsächlich auf DMSO spezialisierte Phytoplanktonarten gibt. Die Strahlungsbelastung durch die Sonne in diesen Breiten lässt nur solche Planktonarten ungehindert wachsen, die über Radikalfänger wie DMSO verfügen.

## Schwefelverbindungen im Peruanischen Auftriebsgebiet

Eine Auswertung der übrigen Proben von der M91-Fahrt könnte Aufschluss darüber geben, ob die erhöhte DMSO-Konzentration vor der gesamten Küste Perus auftritt. Sollte dabei eine ähnliche Verteilung festgestellt werden, könnte damit gezeigt werden, dass Peru eine Region ist, in der verstärkt DMSO produziert wird. Damit wäre Peru eine äußerst interessante Region, um den Zusammenhang zwischen DMS und DMSO sowie den Einfluss der Sonne auf die Bildung verschiedener Verbindungen detaillierter zu untersuchen.

## **7. Literaturverzeichnis**

- Brink, K. H., D. Halpern, et al.: The physical environment of the Peruvian upwelling system, *Progress in Oceanography*, 12(3), 285-305, **1983**.
- Charlson, R. J., J. E. Lovelock, et al.: Oceanic phytoplankton, atmospheric sulphur, cloud albedo and climate, *Nature*, 326(6114), 655-661, **1987**.
- Fuenzalida, R., W. Schneider, et al.: Vertical and horizontal extension of the oxygen minimum zone in the eastern South Pacific Ocean, *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 56(16), 992-1003, **2009**.
- Hatton, A. D., S. M. Turner, et al.: Dimethylsulphoxide and other biogenic sulphur compounds in the Galapagos Plume, *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 45(6), 1043-1053, **1998**.
- Karstensen, J., L. Stramma, et al.: Oxygen minimum zones in the eastern tropical Atlantic and Pacific oceans, *Progress in Oceanography*, 77(4), 331-350, **2008**.
- Kiene, R. P., et al., Biological and Environmental Chemistry of DMSP and Related Sulfonium Compounds, *Plenum Press*, **1996**.
- Lana, A., T. G. Bell, et al.: An updated climatology of surface dimethylsulfide concentrations and emission fluxes in the global ocean, *Global Biogeochemical Cycles*, 25(1), GB1004, **2011**.
- Lee, P. A. and S. J. De Mora: Intracellular dimethylsulfoxide (DMSO) in unicellular marine algae: speculations on its origin and possible biological role, *Journal of Phycology*, 35(1), 8-18, **1999**.
- Lovelock, J. E., R. J. Maggs, et al.: Atmospheric Dimethyl Sulphide and the Natural Sulphur Cycle, *Nature*, 237(5356), 452-453, **1972**.
- Margulis, L. and J. E. Lovelock: Biological modulation of the Earth's atmosphere, *Icarus*, 21(4), 471-489, **1974**.
- Nevitt, G. A., et al.: Dimethyl sulphide as a foraging cue for Antarctic Procellariiform seabirds, *Nature*, 376 (6542), 680-682, **1995**.
- Nevitt, G. A. and K. Haberman: Behavioral attraction of Leach's storm-petrels (*Oceanodroma leucorhoa*) to dimethyl sulfide, *Journal of Experimental Biology*, 206(9), 1497-1501, **2003**.
- Quinn, P. K. and T. S. Bates: The case against climate regulation via oceanic phytoplankton sulphur emissions, *Nature*, 480(7375), 51-56, **2011**.

- Riseman, S. F. and G. R. DiTullio: Particulate dimethylsulfoniopropionate and dimethylsulfoxide in relation to iron availability and algal community structure in the Peru Upwelling System, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 61(5), 721-735, **2004**.
- Simó, R., A. D. Hatton, et al.: Particulate dimethyl sulphoxide in seawater: production by microplankton, *Marine Ecology Progress Series*, 167, 291-296, **1998**.
- Simó, R.: Trace chromatographic analysis of dimethyl sulfoxide and related methylated sulfur compounds in natural waters, *Journal of Chromatography A*, 807(2), 151-164, **1998**.
- Simó, R.: Production of atmospheric sulfur by oceanic plankton: biogeochemical, ecological and evolutionary links, *Trends in Ecology & Evolution*, 16(6), 287-294, **2001**.
- Simó, R.: From cells to globe: approaching the dynamics of DMS(P) in the ocean at multiple scales, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 61(5), 673-684, **2004**.
- Stefels, J.: Physiological aspects of the production and conversion of DMSP in marine algae and higher plants, *Journal of Sea Research*, 43(3-4), 183-197, **2000**.
- Sunda, W., D. J. Kieber, et al.: An antioxidant function for DMSP and DMS in marine algae, *Nature*, 418(6895), 317-320, **2002**.
- Vogt, M. and Liss, P.S.: Dimethylsulfide and climate, *Surface Ocean – Lower Atmosphere Processes*, edited by: Le Quéré, C., and Saltzman, E.S., American Geophysical Union, Washington, DC, 197-232, **2009**.
- Zindler, C., I. Peeken, et al.: Environmental control on the variability of DMS and DMSP in the Mauritanian upwelling region, *Biogeosciences*, 9(3), 1041-1051, **2012**.

## 8. Anhang

### 8.1 Kalibrationen

Die durchgeführten Kalibrationen des Gaschromatographen sind in Tabelle 8.1.1 zusammengefasst.

Tabelle 8.1.1: Kalibrationsdaten

Kalibrationsdatum	Konzentration des Std. [ $\mu\text{mol L}^{-1}$ ]	Menge des Std. [ $\mu\text{l}$ ]	Gleichung der Regressionsgeraden	Korrelationskoeffizient
27.01.14	13,0396	5; 3; 1	$f(x) = 0,55033x - 3,47865$	$R^2 = 0,98098$
03.02.14	13,0396	5; 3; 1	$f(x) = 0,89914x - 6,84682$	$R^2 = 0,96858$
17.02.14	13,0396	5; 3; 1	$f(x) = 0,48401x - 2,88461$	$R^2 = 0,97062$
20.03.14	3,1702	5; 3; 1	$f(x) = 0,56483x - 3,76208$	$R^2 = 0,99829$
09.04.14	3,1702	7; 5; 3; 1	$f(x) = 1,58917x - 13,42793$	$R^2 = 0,99994$
24.04.14	4,2921	5; 3; 1	$f(x) = 0,81573x - 5,80788$	$R^2 = 0,91003$
29.04.14	4,2921	5; 3; 1	$f(x) = 0,78538x - 5,63209$	$R^2 = 0,99453$
12.05.14	3,4878	5; 3; 1	$f(x) = 0,89133x - 6,47339$	$R^2 = 0,98087$
27.05.14	3,4878	5; 3; 1	$f(x) = 0,90147x - 6,23674$	$R^2 = 0,97973$
04.06.14	3,4878	5; 3; 1	$f(x) = 0,67039x - 4,89386$	$R^2 = 0,99979$

### 8.2 Messwerte

In den folgenden Tabellen 8.2.1-8.2.3 sind die Messerwerte von DMS, DMSO und DMSP dargestellt. Es wurden die Abkürzungen Lat. (Latitude), Long. (Longitude) und STD % für die prozentuale Standardabweichung verwendet. Standardabweichungen, die mit einem X markiert sind konnten nicht berechnet werden, da nur eine Messung gemacht wurde. Rot unterlegte Messwerte wurden in der Auswertung nicht berücksichtigt. Blau unterlegte DMS-Konzentrationen sind von DMS-Werten abgeleitet, die in der selben Messreihe liegen, um die Blau unterlegten DMSP<sub>t</sub>-Konzentrationen zu berechnen. Fehlende Werte sind auf noch nicht gemessene Proben oder Messfehler zurückzuführen, sodass keine Daten vorlagen.

Tabelle 8.2.1: Gemessene Konzentrationen von DMSP.

Bedford- Nummer	Tiefe [m]	Lat. [°N]	Long. [°E]	DMSP <sub>t</sub> [nmol L <sup>-1</sup> ]	DMSP <sub>d</sub> [nmol L <sup>-1</sup> ]	DMSP <sub>p</sub> [nmol L <sup>-1</sup> ]	STD % DMSP <sub>t</sub>	STD % DMSP <sub>d</sub>
211251	2000,4	-5	-82	0,3	0,35	-0,06	X	X
211255	1002,9	-5	-82	0,25	0,38	-0,13	X	X
211268	202,2	-5	-82				X	X
211271	151,6	-5	-82	0,58	1,06	-0,48	X	X
211281	101,3	-5	-82	0,58	0,69	-0,11	X	X
211284	50,9	-5	-82	3,54	0,32	3,22	X	X
211287	36,5	-5	-82	5,55	0,71	4,85	X	X
211296	6,5	-5	-82	42,43	4,89	37,54	X	X
211349	124	-5	-81,67				X	X
211350	100,4	-5	-81,67				X	X
211352	75,5	-5	-81,67	2,15	1,25	0,9	X	X
211353	51,4	-5	-81,67	6,48	0,76	5,72	X	X
211355	36,1	-5	-81,67	8,14	6,51	1,63	X	X
211358	21,1	-5	-81,67	27,35	4,18	23,17	X	X
211360	16	-5	-81,67	35,38	2,65	32,73	X	X
211361	11,4	-5	-81,67	38,33	1,4	36,94	X	X
211365	6,7	-5	-81,67	42,06	1,27	40,8	X	X
215288	101,6	-12,58	-78,11				32,66	12,7
215291	51,1	-12,58	-78,11	2,25	2,55	-0,3	6,8	75,05
215293	33,9	-12,58	-78,11	8,82	16,32	-7,5	6,12	24,36
215294	22,1	-12,58	-78,11	91,87	3,82	88,05	50,19	0,96
215303	998,8	-12,42	-77,81				52,95	78,52
215313	401,5	-12,42	-77,81	0,24	2,19	-1,95	16,81	37,15
215321	203	-12,42	-77,81	0,53	0,53	0,26	51,53	49,62
215328	100,4	-12,44	-77,82	0,45	0,27	0,18	35,22	18,45
215332	50,9	-12,44	-77,82				20,43	38,86
215334	37	-12,44	-77,82	2,16	0,71	1,45	0,05	1,57
215336	21,8	-12,44	-77,82	64,17	6,9	57,27	5,49	9,83
215340	11,5	-12,44	-77,82	266,08	3,82	262,26	11,6	5,49
215345	7,2	-12,44	-77,82	13,79	4,53	9,26	41,05	25,34
215412	98,8	-12,55	-76,84				25,68	44,65

Schwefelverbindungen im Peruanischen Auftriebsgebiet

215414	99	-12,55	-76,84	3,5	0,55	2,95	5,9	13,54
215417	76,3	-12,55	-76,84	0,66	0,54	0,13	24,82	56,02
215419	51,1	-12,55	-76,84	15,22	0,41	14,81	18,2	33,28
215445	36,9	-12,84	-76,68				11,61	23,93
215447	23,1	-12,84	-76,68				47,6	34,43
215451	12,7	-12,84	-76,68	233,46	2,33	231,13	4,14	46,07
215454	7,4	-12,84	-76,68	7,09	2,6	4,49	46,01	16,03
215457	4,2	-12,84	-76,68	289,72	0,81	288,91	25,56	34,34
215483	61,7	-13,43	-76,37	2,08			23,39	20,33
215486	52	-13,43	-76,37	3,03	3,09	-0,07	96,5	23,83
215489	37,4	-13,43	-76,37	1,79	0,34	1,45	24,75	11,76
215492	22,1	-13,43	-76,37	19,89	0,7	19,18	14,97	42,42
215493	17,5	-13,43	-76,37		0,81		34,18	34,18
215496	12,9	-13,43	-76,37	51,64	1,63	50	30,09	49,27
215500	7,4	-13,43	-76,37	1517,29	107,16	1410,13	28,67	17,42
215503	4,2	-13,43	-76,37		12,6		10,77	10,77
215504	246,6	-13,95	-76,57				4,9	54,43
215518	22,4	-13,95	-76,57	27,87	0,43	27,44	44,09	33,81
215591	20,8	-14,18	-76,93	2,08	0,56	1,52	0,21	41,2
215592	11	-14,18	-76,93	34,66	1,45	33,21	6,52	55,93
215593	6,7	-14,19	-76,93	905,98	45,15	860,83	48,86	30,89
215595	3,8	-14,18	-76,93	123,06	4,95	118,11	17,8	40,18
215626	200,8	-14,28	-77,17		0,5		19,86	43,12
215630	101,1	-14,28	-77,17		1,3		22,61	3,95
215634	50,8	-14,28	-77,17	1,26	1,15	0,11	84,66	15,37
215636	35,5	-14,28	-77,17	4,15	0,58	3,57	27,12	35,48
215637	19,8	-14,28	-77,17	0,74	0,17	0,57	23,06	111,31
215638	10,1	-14,28	-77,17	71,53	9,02	62,51	45,95	28,58
215640	6,3	-14,28	-77,17	114,75	6,24	108,51	22,53	48,54
215641	3,3	-14,28	-77,17	100,85	10,78	90,07	53,93	21,92
216774	1001,4	-15,05	-77,79			0,15	27,5	43,38
216781	199,4	-15,05	-77,79			0,89	31,74	28,32
216784	102,9	-15,05	-77,79			23,49	66,32	63,87
216785	102,6	-15,05	-77,79	0,16	0,16	0	13,18	35,27

## Schwefelverbindungen im Peruanischen Auftriebsgebiet

216788	53,1	-15,05	-77,79	27,06	0,75	26,31	38,6	20,68
216790	36,6	-15,05	-77,79	10,98	0,72	10,26	6,88	38,41
216792	22,6	-15,05	-77,79	66,8	1,02	65,78	51,18	21,31
216794	13,3	-15,05	-77,79		3,52			34,81
216796	7,6	-15,05	-77,79	103,57	4,16	99,41	10,62	8,1
216827	102	-15,35	-77,55	2,1	0,63	1,47	22,75	28,41
216830	52,6	-15,35	-77,55	6,08	1,07	5,01	14,27	12,77
216832	35,5	-15,35	-77,55	27,41	0,1	27,32	91,7	17,62
216833	19,7	-15,35	-77,55	31,75	5,47	26,28	3,85	3,37
216837	11,8	-15,35	-77,55				36	22,33
216842	4,7	-15,35	-77,55				14,7	42,2
216844	799,9	-15,61	-77,3		0,14		26,52	27,84
216851	197,8	-15,61	-77,3	0,48	0,49	-0,01	4,21	9,54
216855	98,2	-15,61	-77,3	1,84	0,6	1,25	30,86	11,28
216857	51,1	-15,61	-77,3	2,73	0,79	1,94	10,92	11,9
216858	34,5	-15,61	-77,3	9,07	1,41	7,65	36,56	4,28
216859	20,2	-15,61	-77,3				48,74	38,54
216861	12,3	-15,61	-77,3	6,74			2,84	2,84
216864	4,2	-15,61	-77,3	208,24	1,31	206,92	45,79	7,76
216889	2001	-16,16	-76,81	0,01	0,51	-0,5	32,78	22,76
216896	1002,9	-16,16	-76,81	0,42	0,24	0,18	53,39	19,88
216898	798,3	-16,16	-76,81			0,01	44,63	35,35
216902	595,4	-16,15	-76,81	0,27	3,64	-3,37	19,11	16,15
216905	398,4	-16,15	-76,81	0,42	0	0,41	7,44	38,4
216907	299,4	-16,15	-76,81	0,73	1	-0,26	15,32	6
216910	198,8	-16,15	-76,81	1,93	1,93	0,02	10,45	10,73
216913	151,3	-16,16	-76,82	1,1	0,47	0,62	7,52	3,53
216917	100,5	-16,16	-76,82	0,25	0,08	0,17	47,8	57,06
216920	51,1	-16,16	-76,82	5,77	0,37	5,4	17,99	5,44
216923	37	-16,16	-76,82	13,29	1,62	11,67	103,22	16,91
216925	22,8	-16,16	-76,82	41,68	4,93	36,75	5,67	34,37
216927	14,7	-16,16	-76,82	25,01	9,54	15,48	87,85	13,24
216928	12,4	-16,16	-76,83	208,65	5,31	203,33	52,02	17,2
216930	7	-16,16	-76,83	30,8	11,55	19,24	33,19	10,7

## Schwefelverbindungen im Peruanischen Auftriebsgebiet

216933	5,2	-16,16	-76,83	31,18	0,72	30,47	51,58	62,76
216961	1001,4	-16,02	-76,51	0,38	0,38	0,64	26,26	88,91

Tabelle 8.2.2: Gemessene Konzentrationen von DMSO.

Bedford- Nummer	Tiefe [m]	Lat. [°N]	Long. [°E]	DMSO <sub>t</sub> [nmol L <sup>-1</sup> ]	DMSO <sub>d</sub> [nmol L <sup>-1</sup> ]	DMSO <sub>p</sub> [nmol L <sup>-1</sup> ]	STD % DMSO <sub>t</sub>	STD % DMSO <sub>d</sub>
211251	2000,4	-5	-82	0,28			X	X
211255	1002,9	-5	-82				X	X
211268	202,2	-5	-82	1,09	0,83	0,26	X	X
211271	151,6	-5	-82	0,47	0,79	-0,31	X	X
211281	101,3	-5	-82	0,88			X	X
211284	50,9	-5	-82	1,52			X	X
211287	36,5	-5	-82	2,68	1,17	1,51	X	X
211296	6,5	-5	-82	22,38	6,17	16,21	X	X
211349	124	-5	-81,67	0,46	0,47	-0,01	X	X
211350	100,4	-5	-81,67	0,39			X	X
211352	75,5	-5	-81,67	1,02	1,41	-0,39	X	X
211353	51,4	-5	-81,67	1,89	1,04	0,85	X	X
211355	36,1	-5	-81,67	3,43	11,82	-8,39	X	X
211358	21,1	-5	-81,67	15,56	6,68	8,88	X	X
211360	16	-5	-81,67	14,94	4,1	10,84	X	X
211361	11,4	-5	-81,67	19,16	5,54	13,62	X	X
211365	6,7	-5	-81,67	4,48	2,46	2,02	X	X
215288	101,6	-12,58	-78,11	0,48			12,7	
215291	51,1	-12,58	-78,11	1,14	2,17	-1,03	17,73	59,55
215293	33,9	-12,58	-78,11	3,07	3,81	-0,74	38,99	35,56
215294	22,1	-12,58	-78,11	23,65	2,08	21,56	40,26	16,34
215303	998,8	-12,42	-77,81	0,35			78,52	
215313	401,5	-12,42	-77,81	0,53	1,15	-0,62	6,09	18,22
215321	203	-12,42	-77,81	0,26	0,53	-0,27	42,3	39,64
215328	100,4	-12,44	-77,82	0,46	0,24	0,22	11,37	1,11
215332	50,9	-12,44	-77,82	0,99			38,86	
215334	37	-12,44	-77,82	2,12	1,16	0,96	40,83	6,05

## Schwefelverbindungen im Peruanischen Auftriebsgebiet

215336	21,8	-12,44	-77,82	20,66	5,87	14,79	25,5	71,71
215340	11,5	-12,44	-77,82	59,93	4,15	55,78	35,41	3,46
215345	7,2	-12,44	-77,82	14,78	2,94	11,84	38,94	34,97
215412	98,8	-12,55	-76,84	0,56			44,65	
215414	99	-12,55	-76,84	0,95	0,29	0,66	9,8	30,06
215417	76,3	-12,55	-76,84	0,47	0,22	0,25	30,69	28,69
215419	51,1	-12,55	-76,84	1,92	0,55	1,36	2,45	20,71
215445	36,9	-12,84	-76,68	0,57			23,93	
215447	23,1	-12,84	-76,68	3,27			34,43	19,34
215451	12,7	-12,84	-76,68	65,15	6,53	58,62	21,66	56,7
215454	7,4	-12,84	-76,68	12,19	3,29	8,89	30,25	24,19
215457	4,2	-12,84	-76,68	132,89	2,37	130,52	64,36	10,57
215483	61,7	-13,43	-76,37	0,81			20,33	
215486	52	-13,43	-76,37	1,08	1,17	-0,08	51,79	35,63
215489	37,4	-13,43	-76,37	0,47	0,31	0,16	31	14,6
215492	22,1	-13,43	-76,37	2,61	0,74	1,87	7,64	22,97
215493	17,5	-13,43	-76,37		0,98		21,53	21,53
215496	12,9	-13,43	-76,37	11,14	1,54	9,6	63,77	42,13
215500	7,4	-13,43	-76,37	44,89	44,47	0,42	0,65	14,8
215503	4,2	-13,43	-76,37		14,16		7,17	7,17
215504	246,6	-13,95	-76,57	0,33			54,43	
215518	22,4	-13,95	-76,57	7,1	1,11	6	58,76	8,07
215591	20,8	-14,18	-76,93	1,67	0,96	0,7	24,71	14,87
215592	11	-14,18	-76,93	15,13	1,46	13,67	26,4	65,04
215593	6,7	-14,19	-76,93	213,45	33	180,44	39,88	46,53
215595	3,8	-14,18	-76,93	29,76	7,45	22,31	28,9	19,62
215626	200,8	-14,28	-77,17	0,74			23,06	
215630	101,1	-14,28	-77,17	0,32	0,45	-0,13	13,79	22,01
215634	50,8	-14,28	-77,17	1,83	1	0,82	45,03	108,79
215636	35,5	-14,28	-77,17	1,65	0,8	0,85	20,26	22,06
215637	19,8	-14,28	-77,17	5,33	0,19	5,14	57,26	60,88
215638	10,1	-14,28	-77,17	63,06	93,62	-30,56	14,27	25,19
215640	6,3	-14,28	-77,17	74,07	10,35	63,72	75,09	23,77
215641	3,3	-14,28	-77,17	96,03	9,51	86,53	66,47	2,61

Schwefelverbindungen im Peruanischen Auftriebsgebiet

216774	1001,4	-15,05	-77,79	0,15	0,27	-0,11	14,46	60,05
216781	199,4	-15,05	-77,79	0,89	0,44	0,44	34,63	41,7
216784	102,9	-15,05	-77,79	23,49			63,87	
216785	102,6	-15,05	-77,79	0,23	0,21	0,01	61,74	84,18
216788	53,1	-15,05	-77,79	6,01	0,84	5,17	5,82	34,04
216790	36,6	-15,05	-77,79	3,97	1,19	2,78	25,45	13,24
216792	22,6	-15,05	-77,79	55,74	3,37	52,37	52,65	26,26
216794	13,3	-15,05	-77,79	5,39	5,39	1,22	0,53	0,53
216796	7,6	-15,05	-77,79	47,59	1,27	46,32	19,87	60,87
216827	102	-15,35	-77,55	1,62	0,32	1,3	45,57	7,04
216830	52,6	-15,35	-77,55	2,79	1,36	1,42	10,03	2,35
216832	35,5	-15,35	-77,55	7,25	0,27	6,98	46,67	23,03
216833	19,7	-15,35	-77,55	8,28	4,6	3,68	12,32	28,44
216837	11,8	-15,35	-77,55	49,37			22,33	9,47
216842	4,7	-15,35	-77,55	27,86			42,2	8,45
216844	799,9	-15,61	-77,3	0,1	0,18	-0,08	54,41	15,94
216851	197,8	-15,61	-77,3	0,58	0,46	0,12	12,07	2,58
216855	98,2	-15,61	-77,3	1,39	0,5	0,89	43,16	5,32
216857	51,1	-15,61	-77,3	2,48	1,28	1,2	3,53	52,18
216858	34,5	-15,61	-77,3	4,65	6,23	-1,58	36,29	12,01
216859	20,2	-15,61	-77,3	12,02			38,54	
216861	12,3	-15,61	-77,3	10,91	10,91	5,09	6,79	6,79
216864	4,2	-15,61	-77,3	5,04	13,23	-8,19	119,91	17,61
216889	2001	-16,16	-76,81	0,63	0,71	-0,08	6,03	6,75
216896	1002,9	-16,16	-76,81	0,43	0,25	0,18	7,55	4,85
216898	798,3	-16,16	-76,81		0,01		25,03	59,05
216902	595,4	-16,15	-76,81	0,57	0,75	-0,18	10,76	77,76
216905	398,4	-16,15	-76,81	0,6	0,03	0,58	5,73	30,32
216907	299,4	-16,15	-76,81	1,79	2,55	-0,76	47,48	3,26
216910	198,8	-16,15	-76,81	0,02	0,77	-0,75	40,43	55,55
216913	151,3	-16,16	-76,82		2,98		5,24	5,24
216917	100,5	-16,16	-76,82	0,43	0,13	0,3	20,16	57,31
216920	51,1	-16,16	-76,82	2,69	0,75	1,94	54,62	45,42
216923	37	-16,16	-76,82	0,51	2,92	-2,41	37,06	32,73

## Schwefelverbindungen im Peruanischen Auftriebsgebiet

216925	22,8	-16,16	-76,82		4,77		33,91	32,82
216927	14,7	-16,16	-76,82	18,81	10,87	7,94	40,31	6,43
216928	12,4	-16,16	-76,83	36,67	109,02	-72,35	63,44	14,25
216930	7	-16,16	-76,83	36,7	27,1	9,6	22,69	3,32
216933	5,2	-16,16	-76,83	82,94	190,58	-107,64	31,27	22,99
216961	1001,4	-16,02	-76,51	0,64	2,02		2,19	10,46

Tabelle 8.2.3: Gemessene Konzentrationen von DMS.

Bedford- Nummer	Tiefe [m]	Lat. [°N]	Long. [°E]	DMS [nmol L <sup>-1</sup> ]	STD % DMS
211251	2000,4	-5	-82	0,04	
211255	1002,9	-5	-82	0,04	
211268	202,2	-5	-82	0,04	
211271	151,6	-5	-82	0,04	
211281	101,3	-5	-82	0,04	
211284	50,9	-5	-82	0,04	16,38
211287	36,5	-5	-82	0,06	18,1
211296	6,5	-5	-82	0,49	47,41
211349	124	-5	-81,67	0,02	
211350	100,4	-5	-81,67	0,02	
211352	75,5	-5	-81,67	0,02	29,07
211353	51,4	-5	-81,67	0,03	19,15
211355	36,1	-5	-81,67	0,11	22,97
211358	21,1	-5	-81,67	0,46	23,47
211360	16	-5	-81,67	0,5	16,87
211361	11,4	-5	-81,67	0,43	7
211365	6,7	-5	-81,67	0,32	21,44
215288	101,6	-12,58	-78,11	1,36	
215291	51,1	-12,58	-78,11	1,36	
215293	33,9	-12,58	-78,11	1,36	134,98
215294	22,1	-12,58	-78,11	1,38	32,33
215303	998,8	-12,42	-77,81	0,41	
215313	401,5	-12,42	-77,81	0,41	

## Schwefelverbindungen im Peruanischen Auftriebsgebiet

215321	203	-12,42	-77,81	0,41	
215328	100,4	-12,44	-77,82	0,41	
215332	50,9	-12,44	-77,82	0,41	
215334	37	-12,44	-77,82	0,41	14,84
215336	21,8	-12,44	-77,82	1,04	2,8
215340	11,5	-12,44	-77,82	2,63	4,1
215345	7,2	-12,44	-77,82	1,72	3,36
215412	98,8	-12,55	-76,84	1,13	
215414	99	-12,55	-76,84	1,13	
215417	76,3	-12,55	-76,84	1,13	
215419	51,1	-12,55	-76,84	1,13	
215445	36,9	-12,84	-76,68	1,13	
215447	23,1	-12,84	-76,68	1,13	19,34
215451	12,7	-12,84	-76,68	1,56	19,89
215454	7,4	-12,84	-76,68	1,73	
215457	4,2	-12,84	-76,68	1,89	38,36
215483	61,7	-13,43	-76,37	0,77	
215486	52	-13,43	-76,37	0,77	
215489	37,4	-13,43	-76,37	0,77	
215492	22,1	-13,43	-76,37	0,77	36,32
215493	17,5	-13,43	-76,37	0,78	
215496	12,9	-13,43	-76,37	1,75	89,67
215500	7,4	-13,43	-76,37	2,77	80,61
215503	4,2	-13,43	-76,37	2,97	72,43
215504	246,6	-13,95	-76,57	4,9	
215518	22,4	-13,95	-76,57	1,62	13,62
215591	20,8	-14,18	-76,93	1,03	9,22
215592	11	-14,18	-76,93	2,23	5,41
215593	6,7	-14,19	-76,93	2,47	27,78
215595	3,8	-14,18	-76,93	2,61	50,61
215626	200,8	-14,28	-77,17	0,73	
215630	101,1	-14,28	-77,17	0,73	
215634	50,8	-14,28	-77,17	0,73	
215636	35,5	-14,28	-77,17	0,73	

Schwefelverbindungen im Peruanischen Auftriebsgebiet

215637	19,8	-14,28	-77,17	0,73	17,08
215638	10,1	-14,28	-77,17	1,54	26,92
215640	6,3	-14,28	-77,17	1,06	28,24
215641	3,3	-14,28	-77,17	1,07	21,98
216774	1001,4	-15,05	-77,79	0,46	
216781	199,4	-15,05	-77,79	0,46	
216784	102,9	-15,05	-77,79	0,46	
216785	102,6	-15,05	-77,79	0,46	
216788	53,1	-15,05	-77,79	0,46	
216790	36,6	-15,05	-77,79	0,46	
216792	22,6	-15,05	-77,79	0,46	39,38
216794	13,3	-15,05	-77,79	1,22	33,47
216796	7,6	-15,05	-77,79	1,51	28,28
216827	102	-15,35	-77,55	0,34	
216830	52,6	-15,35	-77,55	0,34	
216832	35,5	-15,35	-77,55	0,34	9,04
216833	19,7	-15,35	-77,55	1,12	22,19
216837	11,8	-15,35	-77,55	4,19	9,47
216842	4,7	-15,35	-77,55	4,55	8,45
216844	799,9	-15,61	-77,3	0,36	
216851	197,8	-15,61	-77,3	0,36	
216855	98,2	-15,61	-77,3	0,36	
216857	51,1	-15,61	-77,3	0,36	10,51
216858	34,5	-15,61	-77,3	0,64	23,63
216859	20,2	-15,61	-77,3	2,87	
216861	12,3	-15,61	-77,3	5,09	75,36
216864	4,2	-15,61	-77,3	5,67	52,55
216889	2001	-16,16	-76,81	0,22	
216896	1002,9	-16,16	-76,81	0,22	
216898	798,3	-16,16	-76,81	0,22	
216902	595,4	-16,15	-76,81	0,22	
216905	398,4	-16,15	-76,81	0,22	
216907	299,4	-16,15	-76,81	0,22	
216910	198,8	-16,15	-76,81	0,22	

Schwefelverbindungen im Peruanischen Auftriebsgebiet

216913	151,3	-16,16	-76,82	0,22	
216917	100,5	-16,16	-76,82	0,22	
216920	51,1	-16,16	-76,82	0,22	14,85
216923	37	-16,16	-76,82	0,51	14,14
216925	22,8	-16,16	-76,82	0,82	15,68
216927	14,7	-16,16	-76,82	1,08	16,87
216928	12,4	-16,16	-76,83	2,94	50,64
216930	7	-16,16	-76,83	6,75	20,39
216933	5,2	-16,16	-76,83	4,96	79,69
216961	1001,4	-16,02	-76,51	26,26	