

1. Wochenbericht SO 259-3

Die Überfahrt des Forschungsschiffs R.V. Sonne von Emden nach Buenos Aires (in Argentinien) ermöglicht es atmosphärische Daten über Ozeanen zu sammeln, um Herleitungen mit Fernerkundungs-Daten aus dem All und Resultate von (Klima-) Modellen zu beurteilen und zu verbessern. Fünf Wissenschaftler (der Max-Planck Institute für Meteorologie und Luft-Chemie und des holländischen KNMI Instituts) sammeln atmosphärische Eigenschaften von Wolken, Aerosolen und Spurengasen mit drei Sonnen-Photometern, zwei MAX-DOAS Instrumenten und einer (Wärme-) Kamera für Wolken. Zwei andere Wissenschaftler (der HCU Universität, Hamburg) untersuchen die laufend gemessenen Daten von Ozeantiefenstrukturen und zwei weitere Wissenschaftler (der Universität Oldenburg) stellen (nur in den nächsten drei Tagen) sicher, dass die Sensoren beim Durchfluss am Schiffsrumpf einwandfrei messen.

Alle installierten atmosphärischen Instrumente arbeiten wie erhofft. Die MPI-M Wolken Kamera und das von der NASA zur Verfügung gestellte Sonne-Photometer sind in Abbildung 1 dargestellt.



Abbildung 1. Die MPI-Met Wolken-Kamera (links) mit zwei Sensoren, einem Froschauge für die Gesamtbedeckung (hinten) und einer geeichten Wärme-Kamera für Wolkenuntergrenzen (vorne). Das Sonnen-Photometer mit einem GPS (rechts) leitet aus Verringerungen der direkten Sonnenstrahlung durch die Atmosphäre (Säulen-) Eigenschaften von Aerosol und Wasserdampf ab.

Mit der geeichten abbildenden Wärme-Kamera lassen sich die Untergrenze und die Struktur von Wolken bestimmen. Das Sonnen-Photometer kann, solange die Sonne nicht durch Wolken gestört ist, Säuleneigenschaften von Aerosol und Wasserdampf bestimmen. So zeigten die ersten Daten während der Abreise in Emden bei kalten nördlichen Winden die erwarteten niedrigen Werte von 0.5 cm/atm für Wasserdampf und 0.05 für die Aerosol Optische Dichte (AOD) im Sichtbaren (bei 550 nm), so wie sie bei polarer Luft im Winter erwartet werden.

Die anderen zwei atmosphärischen Instrumente sind MAX-DOAS Geräte des KNMI und des MPI für Luftchemie. Die Messungen des ersten Tages waren erfolgreich sind noch nicht analysiert. Beide Geräte sind in Abbildung 2 gezeigt.



Abbildung 2. MAX-DOAS Geräte des KNMI (left) und des MPI-Luftchemie (right). Beide Instrumente messen die Streustrahlung der Sonne bei verschiedenen Winkeln zum Horizont und dann bei bestimmten Wellenlängen mit und ohne Absorption, um so Säulenwerte und bodennahe Profile von Spurengasen und Aerosolen herzuleiten.

Während SO259-3 werden hydroakustische Daten verschiedener Echolote aufgezeichnet, prozessiert, visualisiert und analysiert. Das Hauptaugenmerk liegt auf den Fächerecholoten (Kongsberg EM122 und EM710) die den Ozeanboden kartieren. Sie senden in einem Fächer angeordnete akustische Signale vertikal nach unten. Die von dem Meeresboden reflektierten Signale werden wieder empfangen und aus ihrer Laufzeit die Wassertiefe berechnet. Der Fächeröffnungswinkel beträgt bis zu 140° und somit kann ein Streifen des Meeresbodens von einer Breite bis zu dem 5.5-fachen der Wassertiefe erfasst werden. Die prozessierten Fächerecholotdaten werden einer globale Datenbank zugeführt, die zur Erstellung eines weltweiten Geländemodells des Ozeanbodens beiträgt (Seabed 2030 Initiative). Zusätzlich zu der Kartierung wird das Sedimentecholot (Teledyne Atlas Parasound DS P-70) zur Visualisierung der oberen Sedimentschichten eingesetzt. Dieses System hat eine Eindringtiefe in den Meeresboden von bis zu 200 m (in Abhängigkeit der Sedimente). Die Wassersäulendaten des Forschungsecholots (Kongsberg Simrad EK60) werden aufgezeichnet, um sie auf die Detektierbarkeit von Fischschwärmen und der vertikalen Wanderung von Zooplankton in der Wassersäule hin zu überprüfen.

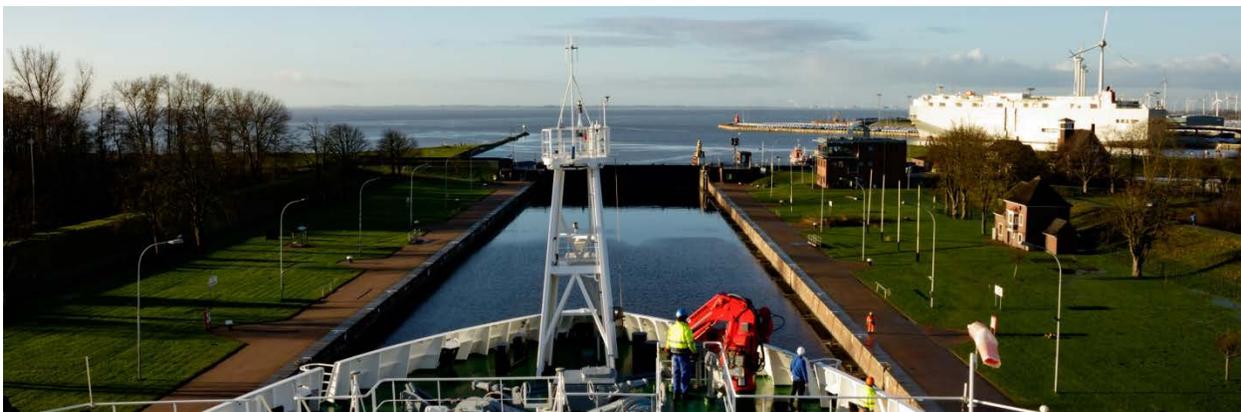


Abbildung 3 RV SONNE vor dem Einlaufen in die Schleuse beim Verlassen von Emden am 17. Dezember, 2017.

2. Wochenbericht SO 259-3

Nach dem Test der Neuinstallationen zu Maschine und Schiff auf der Nordsee erreichte das Forschungsschiff Sonne nach drei Tagen den französischen Hafen Brest. Hier verließen uns die Techniker, aber dafür erhielten wir drei ARGO Floats. Romain Cancouet und seine Kollegen überbrachten die Instrumente und erklärten die Inbetriebnahme und das Aussetzen.



Abbildung 1 Übernahme von drei ARGO Floats im französischen Hafen von Brest. Die Abbildung zeigt das Forschungsschiff Sonne in Brest (links), den französischen Euro-ARGO Float Typ (15kg, 1.8m, Mitte) und die Überbringer (rechts) mit Romain Cancouet (in rechten Bild ganz rechts), der die Einweisung.

ARGO Floats sind Roboter, die selbstständig Profile von Temperatur und Salzgehalt im Ozean von der Wasseroberfläche bis zu einer Tiefe von 2000m erfassen. Die Profil-Daten werden zeitnah über Satellit zu einer frei zugänglichen Datenbank übertragen. Die Daten werden benötigt, um die Rolle des Ozeans im Klimasystem besser zu verstehen - auch in Bezug auf Wetter- und Klimavorhersagen. Da die ARGO Floats eine beschränkte Lebensdauer haben (die Batterie fällt nach etwa 2 Jahren aus) werden etwa 1000 Floats jedes Jahr über nationale Programme in Ozeanen ausgesetzt, um so eine minimale Abdeckung von Profil-Messungen in Ozeanen sicherzustellen. Die Verteilung der ARGO Floats im Atlantik zum Zeitpunkt des 18. Dezember 2017 ist in Abbildung 2 gezeigt.

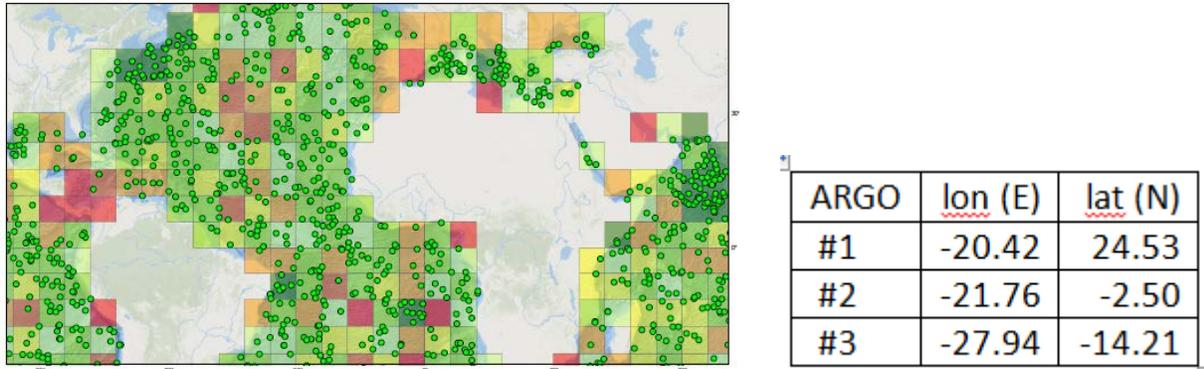


Figure 2 Orte operationeller ARGO Floats (grüne Punkte) im Atlantik zum Zeitpunkt des 18. Dezember 2017. Orange und Rot sind Regionen, wo es an ARGO Floats fehlt. Zusätzlich sind rechts die Orte der geplanten ARGO Float Aussetzungen angezeigt, die allerdings außerhalb der EEZ erfolgen müssen

Das Aussetzen der ARGO Floats sollte bevorzugt in (orange oder roten) Gebieten stattfinden, wo die Float-Dichte relativ gering ist. Allerdings ist dabei zu beachten, dass ein Aussetzen nur außerhalb von nationalen 200 Meilen Zonen (oder EEZ für Economic Exclusive national Zone) erlaubt ist. Die Aussetzungsorte in Abbildung 2 zeigen auch auf, dass wir von der eigentlichen Fahrtroute abgewichen sind und nun zwischen den Kapverden und Afrika hindurchfahren. Dies erlaubt es, später außerhalb der EEZ von Brasilien, in einer relativ wenig untersuchten Ozean-Region bathymetrische Daten zu erfassen.

Erste bathymetrische Daten wurden in dieser Woche bereits mit dem Fächerecholot und dem Sedimentecholot im Bereich der Tiefseeebene der „Iberian Plain“ westlich von Spanien und Portugal erfasst. Zu diesem Zeitpunkt befand sich das FS Sonne außerhalb der EEZ. Tiefsee-Ebenen schließen sich im Allgemeinen seewärts an den Kontinentalschelf der Landmassen an und erstrecken sich bis in den Bereich der mittelozeanischen Rücken. Tiefsee-Ebenen machen ca. 50% der Fläche des Meeresbodens aus und liegen in Wassertiefen zwischen 3 und 6 km. Sie weisen im Vergleich zu mittelozeanischen Rücken eine relativ hohe Mächtigkeit an Sedimenten auf. In Abbildung 3 sieht man ein Echogramm des Sedimentecholots und die gleichmäßige Ablagerung der Sedimente bis zu einer Bodentiefe von 50 m.

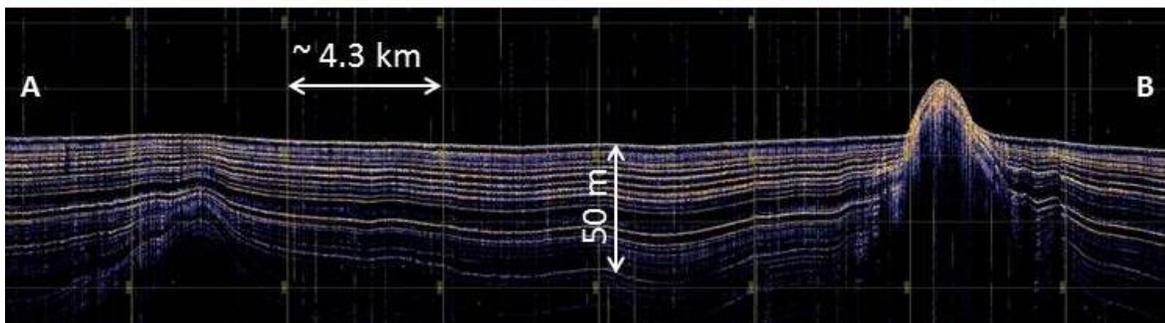


Abbildung 3 Übersicht der Lage des dargestellten Echogramms (oben) und das Echogramm von Sedimenten im Bereich der „Iberian Plain“ (unten).

Stefan Kinne
Harald Sternberg

Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg
Hafen City Universität, Hamburg

zusätzliche Abbildungen





Abbildung A1 Aufnahmen der RV Sonne im Hafen von Brest, Frankreich

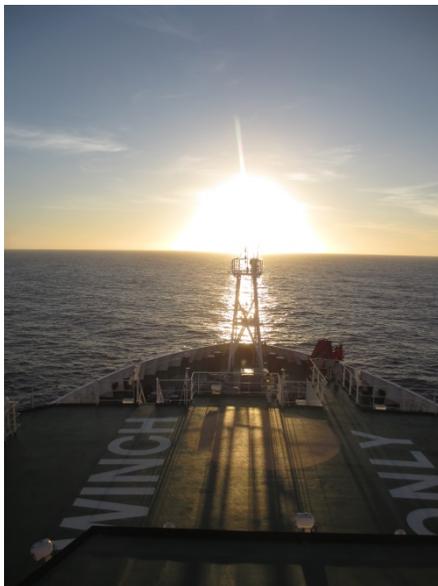




Abbildung A2 Das Forschungsschiff Sonne auf dem Weg nach Argentinien um Weihnachten 2017

3. Wochenbericht SO259-3

Kurz nachdem das Forschungsschiff SONNE die Kanarischen Inseln westlich in Richtung Süden passiert hatte, wurde die erste ARGO Float ausgesetzt, wie durch Abbildung 1 untermalt.

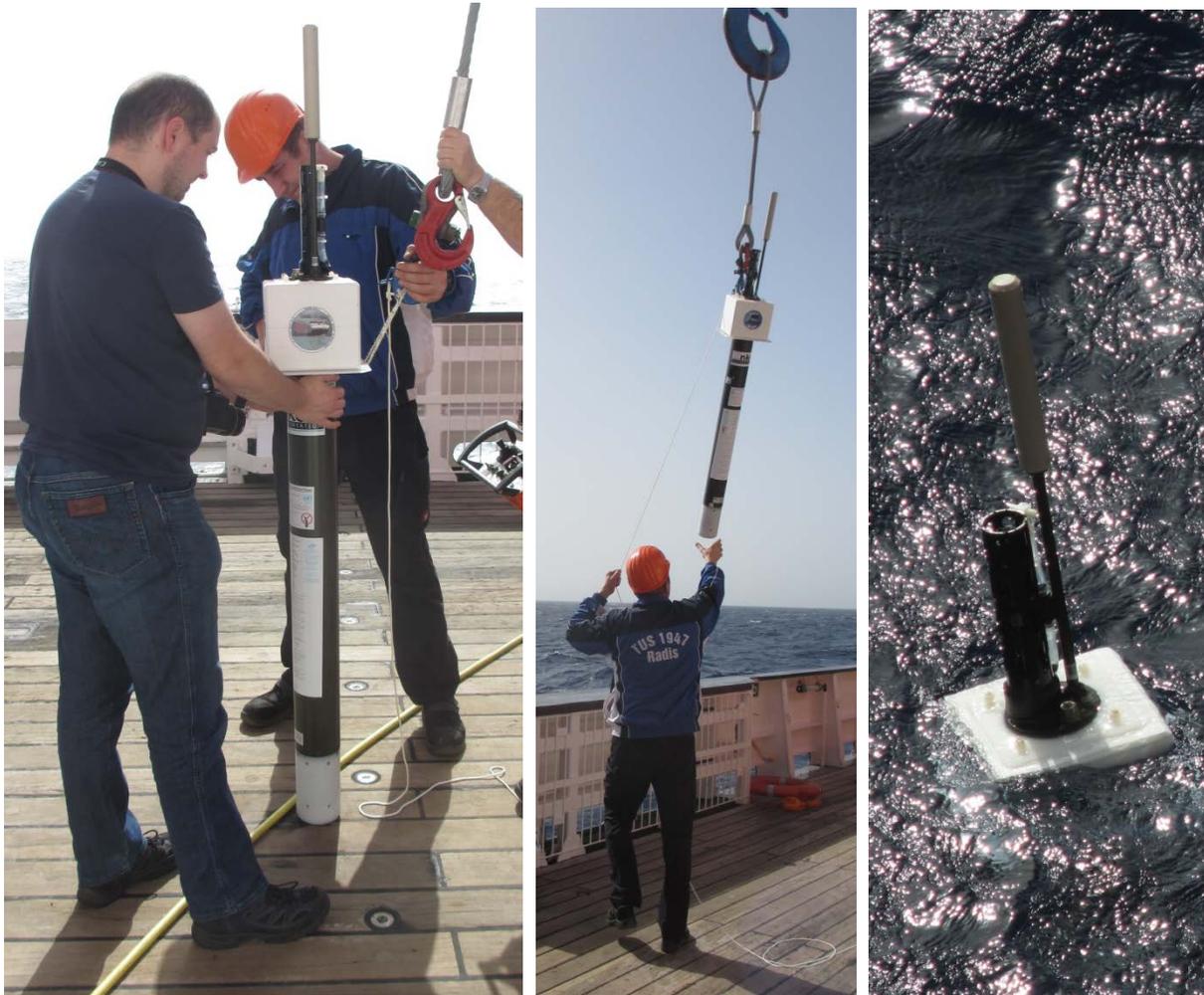


Abbildung 1 Aussetzen der ersten ARGO Float (bei 20W/25N) am Weihnachtstag 2017.

Dieser Weihnachtstag war für die nächsten 4 Tage der letzte Tag mit guter Sicht. Durch starke bodennahe Ostwinde wurden große Mengen von Mineralstaub der Sahara hinaus auf den Atlantik geweht und schränkten die Sichtweiten über dem Ozean, wie in Abbildung 2 dargestellt, erheblich ein. Das wurde auch durch die veränderten Farben der Sonne (weniger gelb) und des Himmels (weniger blau) vor allem beim verspäteten Sonnenaufgang und verfrühten Sonnenuntergang hoch über dem Horizont bestätigt. Auch hatte die Sonne oft eine geringe Intensität, ähnlich der eines Vollmondes. Zeitreihen der Messungen mit dem MICROTUPS Sonnenphotometer direkt vor (am 24. Dezember bei 30N) und an diesen Staubtagen (vom 25. Dezember bei 25N bis zum 29. Dezember nahe dem Äquator) sind in Abbildung 3 dargestellt.



Abbildung 2 Vergleich der Sichtweiten vom Peildeck des Forschungsschiffs SONNE während der Höhe der Sand-Aerosol Konzentrationen am 28. Dezember (links) und mit wenig Aerosol morgens am 25. Dezember (rechts).

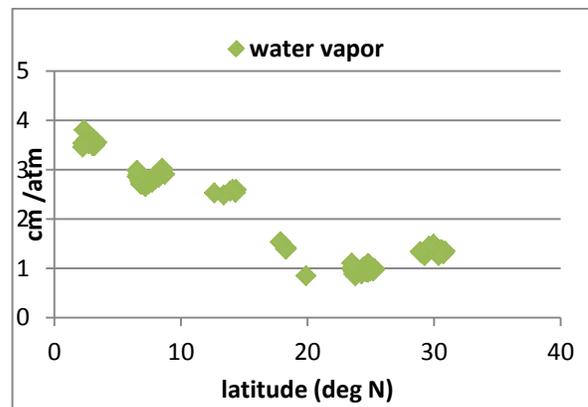
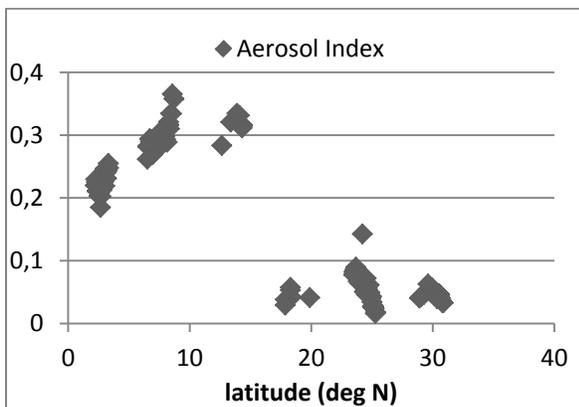
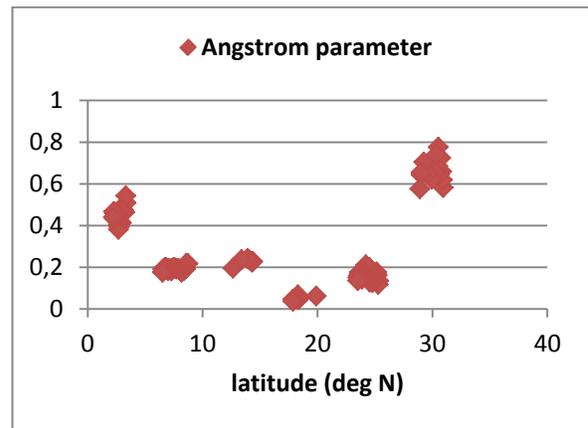
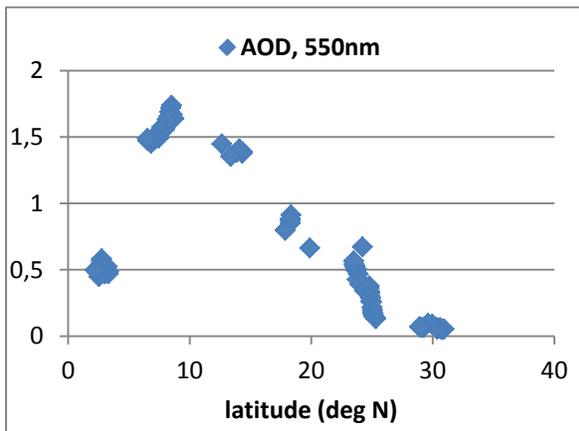


Abbildung 3 Eigenschaften von Aerosol und Wasserdampf durch Messungen mit dem Sonnenphotometer vom 24. bis zum 29. Dezember 2017 bei einer geographischen Länge von etwa 20W von Bord des Forschungsschiffs SONNE. Gezeigt sind (1) die Aerosol Säulenmenge (AOD bei 550nm, oben links), (2) die Aerosol Größe (Angstrom Parameter – ein kleiner Wert steht für relative große Aerosolteilchen, oben rechts), (3) den potentiellen Einfluss des Aerosols auf Wolken (über den Aerosol Index, unten links) und (4) die atmosphärische Wasserdampfmenge (unten rechts).

Am 24. Dezember (bei 30N) gab es noch niedrige Hintergrundwerte für das atmosphärische Aerosol mit AOD Werten um 0.1. Am Morgen des 25. Dezember begannen dann die AOD Werte anzusteigen und erreichten am 27. und 28. Dezember (zwischen 15N und 5N) AOD Werte um 1.5 –, also um mehr als das 10 fache. Der dazugehörige Angstrom Parameter lag bei niedrigen 0.2, der bei hohen optischen Dicken für Aerosol, wie an diesen beiden Tagen, auf Sand-Staub schließen lässt (und die starke Staubablagerung auf dem Schiff bestätigte dieses).

Dieses mehrtägige Staub-Ereignis ist ein guter Testfall, um Staubvorhersagen von Modellen zu beurteilen. Als Beispiel wurden Vorschläge des NAAPS Modells (<https://www.nrlmry.navy.mil/aerosol/>) untersucht. In Abbildung 4 sind Staub-AOD Karten für den östlichen tropischen Atlantik vom 25. bis zum 29. Dezember dieses Modells jeweils für 12 UTC gezeigt. Die Positionen des Forschungsschiffs SONNE zu diesen Zeitpunkten folgen dem 20 W Meridian von 25 N (am 25.12) bis nahe dem Äquator (am 29.12). Im Vergleich zu AOD Werten in Abbildung 3, hat das Modell das große Staub-Ereignis gut vorhergesagt. Allerdings wurde die Stärke der Staubmenge ab dem 27. Dezember zum Teil stark unterschätzt sowie die Ausdehnung der Staubwolke nach Süden nicht getroffen (da sogar noch südlich des Äquators am 30. Dezember nicht unerhebliche Staub-AOD Werte registriert wurden). Mehr Analysen werden folgen.

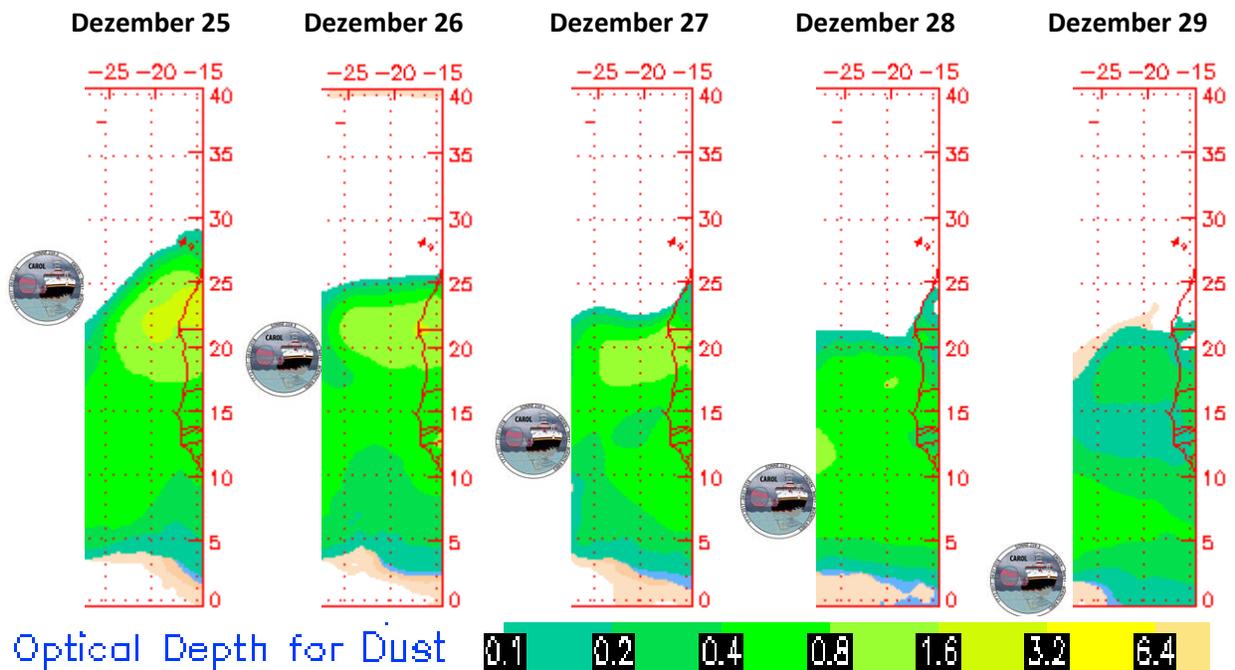


Abbildung 4 Vorhergesagte Aerosoloptische Dicken von Staub (bei 550nm) mit den NAAPS NRL (Navy Research Lab) models für den östlichen tropischen Atlantik vom 25. Dezember (links) bis zum 29. Dezember (rechts) 2017, jeweils für 12 UTC. Der Ort des FS SONNE zu diesen Zeitpunkten ist bei etwa 20 W in geographischer Länge und einer geographischen Breite, die durch das jeweilige Bild links von der Staub-AOD Karte angezeigt ist.

4. Wochenbericht SO 259-3

Der Äquator wurde am 29. Dezember erreicht und in den Folgetagen wurden die anderen beiden ARGO Floats im Atlantik abgesetzt. Alle drei Floats kurz nach ihrem Absetzen sind in Abbildung 1 gezeigt.

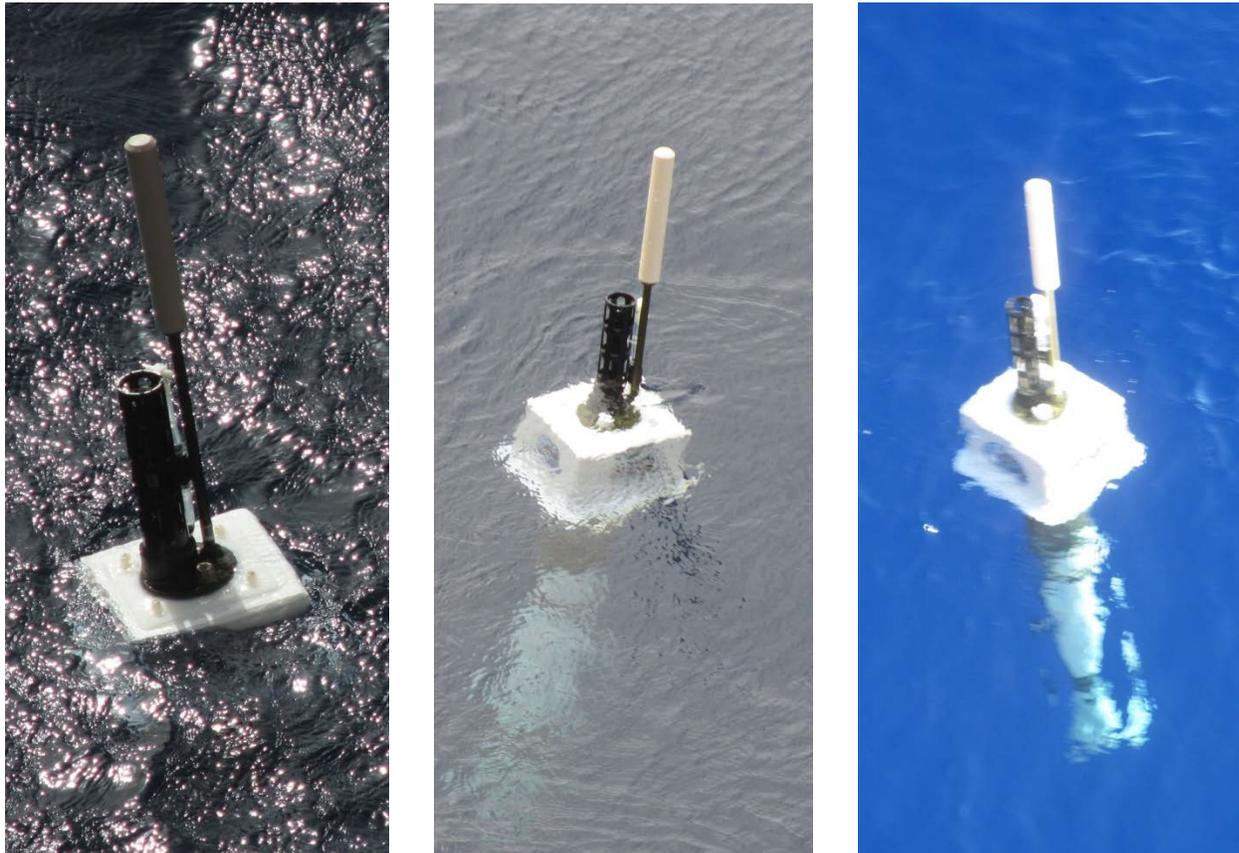


Abbildung 1 An der Wasseroberfläche schwimmende ARGO Floats kurz nach ihrem Absetzen. Die erste ARGO Float wurde bei 20W/25N am 25. Dezember, 2017 (links), der zweite ARGO Float wurde bei 22W/2S am 30. Dezember, 2017 (Mitte) und der dritte ARGO Float wurde bei 28W/14S am Jan 1, 2018 (rechts) in den Atlantik eingelassen.

Je weiter die Forschungsfahrt nach Süden ging, umso länger wurden die Tage. Nach dem Staub-Ereignis gegen Ende Dezember gingen dann Anfang Januar die Werte für Aerosol auf ozeanisches Hintergrundniveau zurück, mit AOD Werten zwischen 0.05 und 0.10. Bei diesen sauberen atmosphärischen Bedingungen haben beide MAX-DOAS Instrumente hin und wieder trotzdem eine leichte Luftverschmutzung festgestellt.

Von den Messungen mit dem MAX-DOAS Instrument vom KMNI gibt es nun schon erste Resultate für NO_2 Konzentrationen in der Atmosphäre. Das Instrument war vom Sonnenaufgang bis zum Sonnenuntergang durchgängig in Einsatz um Spurengas-Profile zu erstellen. Zur Analyse der Daten wurde das ‚mmd‘-Programm von Ankie Pieters (KNMI) in Verbindung mit der QDAS Software verwendet.

Abbildung 2 zeigt NO_2 Mengen für die gesamte Atmosphäre entlang verschiedener Erhebungswinkel an einem Tag mit und an einen Tag ohne erhebliche NO_2 Werte in der Troposphäre.

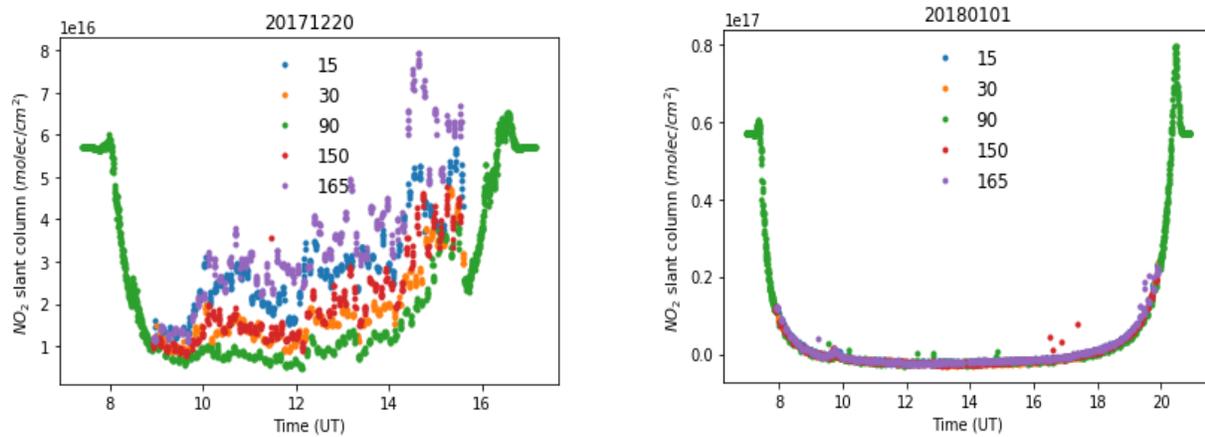


Abbildung 2 Atmosphärische NO_2 Mengen entlang verschiedener seitlicher Blickrichtungen (von Erhebungswinkeln von 15 (oder 165), 30 (oder 150) und 90 Grad über den Horizont – damit in zwei entgegengesetzte Richtungen). Resultate werden einmal gezeigt für einen Fall mit troposphärischer Luftverschmutzung am 20. Dezember, 2017 bei Brest, Frankreich (links) und einmal für einen Fall ohne wesentliche troposphärische Luftverschmutzung am 1. Januar, 2018 im südlichen tropischen Atlantik bei 25W/10S (rechts).

Am 20. Dezember 2017 (bei Brest) zeigen die NO_2 Werte für die gesamte Atmosphäre starke Veränderungen bei Messungen mit verschiedenen Erhebungswinkeln. Das zeigt an, dass es sowohl erhebliche NO_2 Mengen in der Troposphäre aber dass es auch Wolken gab. Im Gegensatz dazu sind die NO_2 Werte am 1. Januar (im südlichen Atlantik bei 25W/10S) bei verschiedenen Winkelmessungen sehr ähnlich und außerdem glatt. Das ist dadurch zu erklären, dass das Gebiet im südlichen Atlantik nahezu frei von Luftverschmutzung ist und man nur noch das weit höher gelegene und homogener verteilte stratosphärische NO_2 sieht. Die Zunahme am Abend und Morgen beruht auf einer Zunahme der Weglänge des Sonnenlichtes in der Stratosphäre, deren Streuung ja gemessen wird. Wenn man nun all MAX-DOAS Messungen mit dem KNMI Instrument anschaut, kann man die Messungen grob in zwei Gruppen unterteilen. Vom 17. bis zum 20. Dezember 2017 (auf dem Weg von Emden nach Brest) wurden erhöhte troposphärische NO_2 Werte gemessen. Und ab dem 21. Dezember (von der Biskaya in den südlichen Atlantik) wurde eigentlich nur noch das stratosphärische NO_2 gesehen. Eine genaue Analyse der Messungen wird nach Beendigung der Forschungsfahrt verfügbar sein.

Im Zusammenhang mit Niederschlag (wenn man den Sandstaub der Sahara nicht dazurechnet) war die Forschungsfahrt bislang enttäuschend. Auch als der Äquator mit seiner Konvektion gekreuzt wurde gab es höchstens ein paar vereinzelte Regentropfen. Das änderte sich dann aber gegen Ende der Reise als wir zweimal Konvektionslinien senkrecht zur Fahrtrichtung durchfahren (einmal vor Rio de Janeiro, Brasilien und einmal weiter südlich vor Punta del Diablo, Uruguay). Eindrücke direkt von vor dem Regenbeginn vor Brasilien (am Nachmittag des 4. Januar 2018) sind in Abbildung 3 festgehalten.

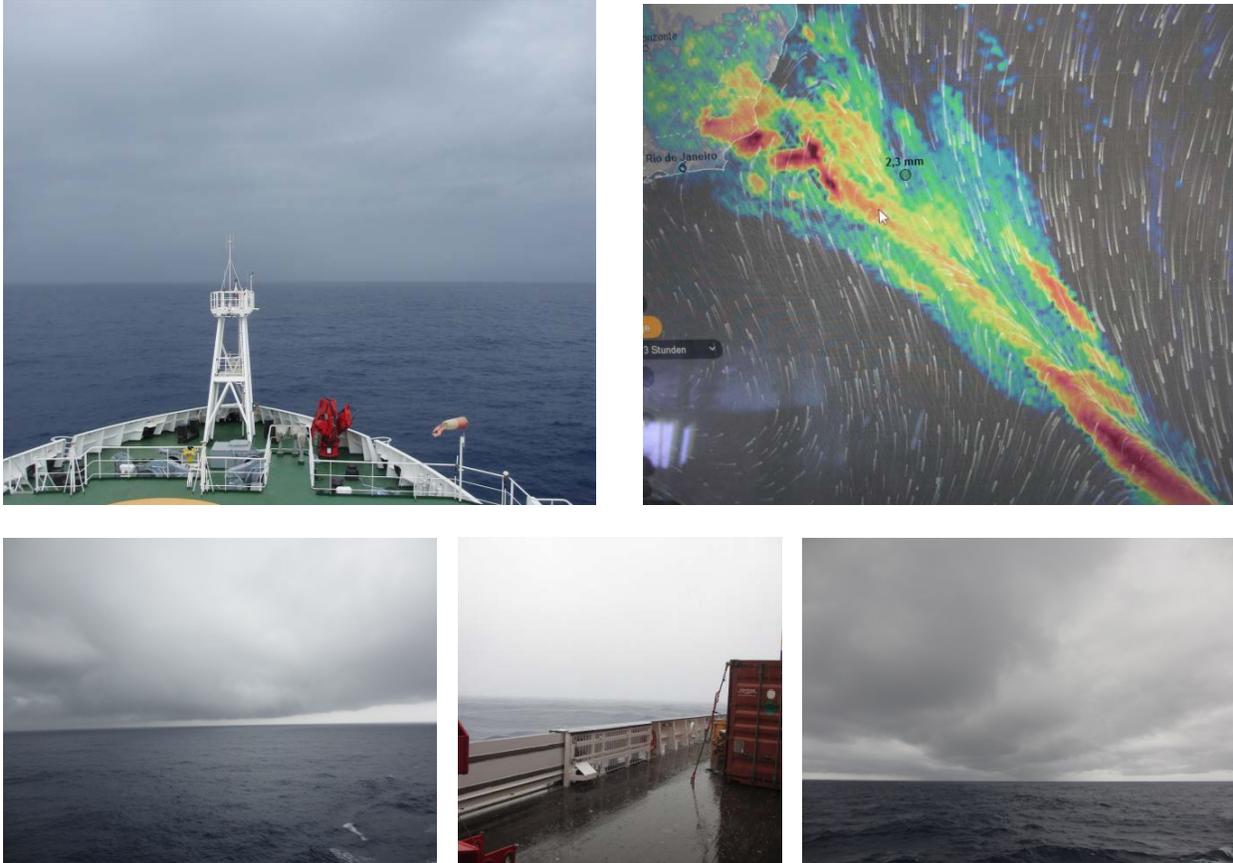


Abbildung 3 Bilder beim Annähern an ein starkes konvektives Band mit ordentlich Regen vor der Küste von Brasilien in der Höhe von Rio de Janeiro. Oben links ist ein Blick vom Schiff bei der Anfahrt auf die Regenfront. Oben rechts ist das dazugehörige Regenradar-Bild mit der Schiffsposition und Windvektoren, die das Aufeinandertreffen feuchter südlich strömender Luft von NO auf trockene nördlich strömende Luft von SW zeigt. Dadurch wurde eine weitreichende Konvektionszone erzeugt, die sich vom NW nach SW quer über den Atlantik zieht. Die Abbildungen unten in den Ecken zeigen die Wolken kurz bevor der Regen einsetzte und schließlich unten in der Mitte ist ein Bild vom beregneten Deck.

Die Forschungsfahrt SO 259-3 geht in den nächsten Tagen zu Ende. Daher scheint es angebracht die Aerosol und Wasserdampf Daten (der Sonnen-Photometer-Messungen) und die Wolken-Daten (von der Wärme-Kamera) über die Länge der Fahrt einmal zusammenzufassen. Denn ein wesentlicher Aspekt dieser Fahrt war ja das Erstellen von Breitengrad-Querschnitten atmosphärischer Eigenschaften. Breitengrad-Querschnitte für Eigenschaften des Aerosols und für Wasserdampf werden in Abbildung 4 gezeigt und die für Wolken werden in Abbildung 5 festgehalten.

In Abbildung 4 werden vier verschiedene Eigenschaften gezeigt: Die AOD bei einer Wellenlänge von 550nm (also bei sichtbarem Licht) beschreibt die Aerosol-Menge in der Atmosphäre. Dieser Wert wird häufig bei der Diagnose in der Modellierung und bei der Fernerkundung aus dem All verwendet. Der Angstrom Parameter gibt allgemeine Informationen über die einflussreichste Aerosolteilchengröße, dahin dass kleinere Werte (< 0.4) grössere Aerosol Teilchen anzeigen (wie man sie von Mineralstaub

aber auch von Seesalz erwartet). Schliesslich sind noch der Aerosol Index (AI = AOD*Angstrom) als Mass für den Aerosol Einfluss auf Wolken und der hergeleitete Wasserdampf in der Atmosphäre gezeigt.

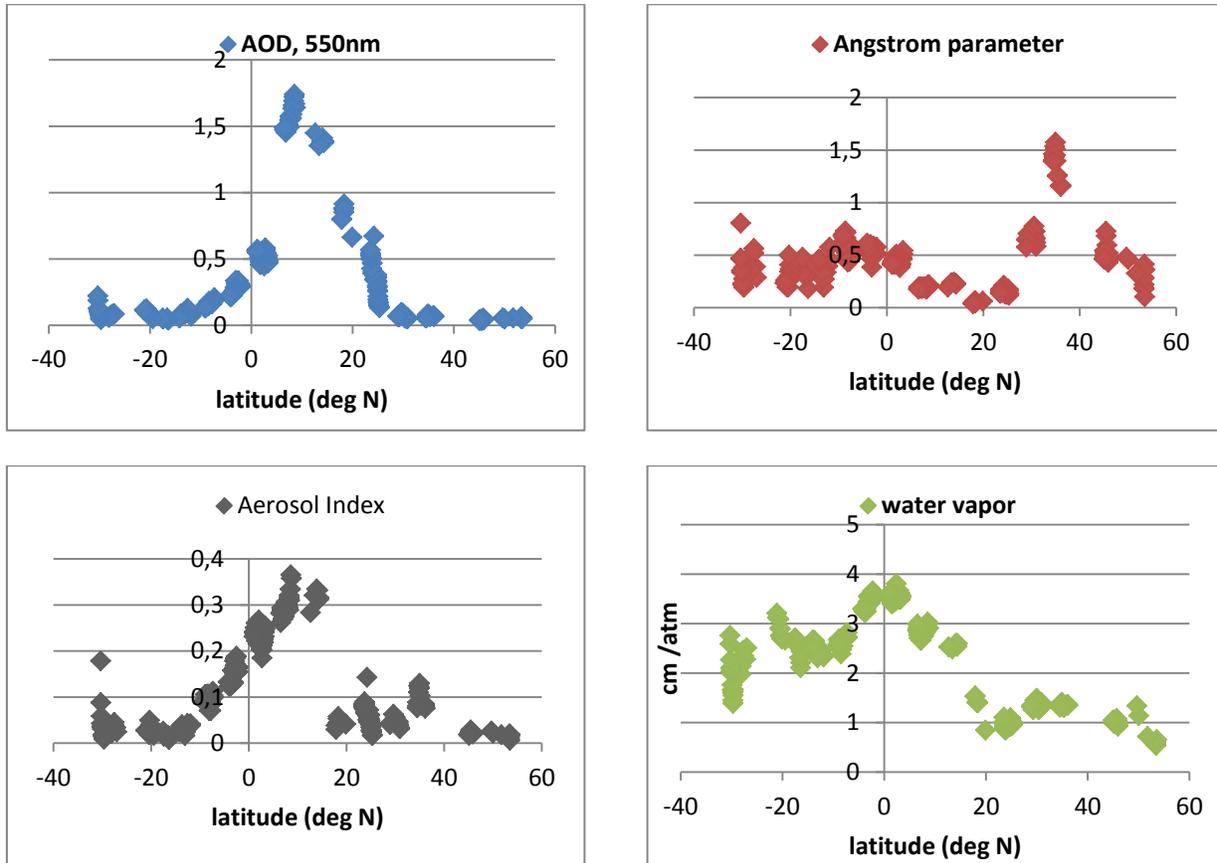


Abbildung 4 Eigenschaften von Aerosolen und Wasserdampf der Atmosphäre hergeleitet aus Sonnenphotometer-Daten während der SO 259-3 Fahrt. In einzelnen sind breitenabhängige Verteilungen von (1, oben links) Aerosol-Menge über die AOD, (2, oben rechts) Aerosolteilchen-Grösse über den Angstrom Parameter (kleinerer Angstrom = grössere Teilchen wie von Sandstaub oder Seesalz), (3, unten links) Aerosol Potential Wolken zu beeinflussen über den Aerosol-Index und (4, unten rechts) atmosphärischem Wasserdampf gezeigt.

Die Zeitreihe der Aerosolmenge ist dominiert von dem Staub-Ereignis nördlich des Äquators. Das es sich dabei um relative grobkörnige Sandstaub Aerosole handelte wird durch relative kleine Angstrom Parameter zu dieser Zeit bestätigt. Die Angstrom Parameter waren eigentlich nur noch in Gebieten mit erwarteter hoher Luftverschmutzung wie bei England und Frankreich relativ gross. Der atmosphärische Wasserdampf erreichte, wie erwartet, Maximal-Werte in Äquatornähe. Allerdings ist der Anstieg in der Wasserdampfmenge von niedrigen Breiten hin zu den Tropen oft nicht monoton und anscheinend stark vom Luftmassentransport in die Subtropen abhängig.

Die Wolkenbedeckung der gesamten Forschungsfahrt in Abhängigkeit von der Breite ist basierend auf stündlichen Mitteln der Wärmekamera-Messungen in Abbildung 5 zusammengefasst. Dabei sind Wolkenbedeckungen als Funktion der Wolkenuntergrenzhöhe angegeben, so wie seinem Beobachter vom Boden erscheinen. Das wurde dadurch erreicht, dass (um bestimmte Werte kältere als die Bodentemperatur) Trenn-Temperaturen vorgeschrieben wurden, um die Wolkenbedeckung in Höhen von etwa 0,5, 1, 1,5, 2, 3, 6 und 10km mit Wärmekamera-Temperaturen zu bestimmen. Durch eine Überlagerung der zunehmenden Wolkenbedeckung mit der Höhe in Abbildung 5 wird damit eine Höhenzuordnung der Wolkenbedeckung ablesbar. Die Gesamtbedeckung wird durch die Bedeckung bei der kältesten Trenn-Temperatur bestimmt.

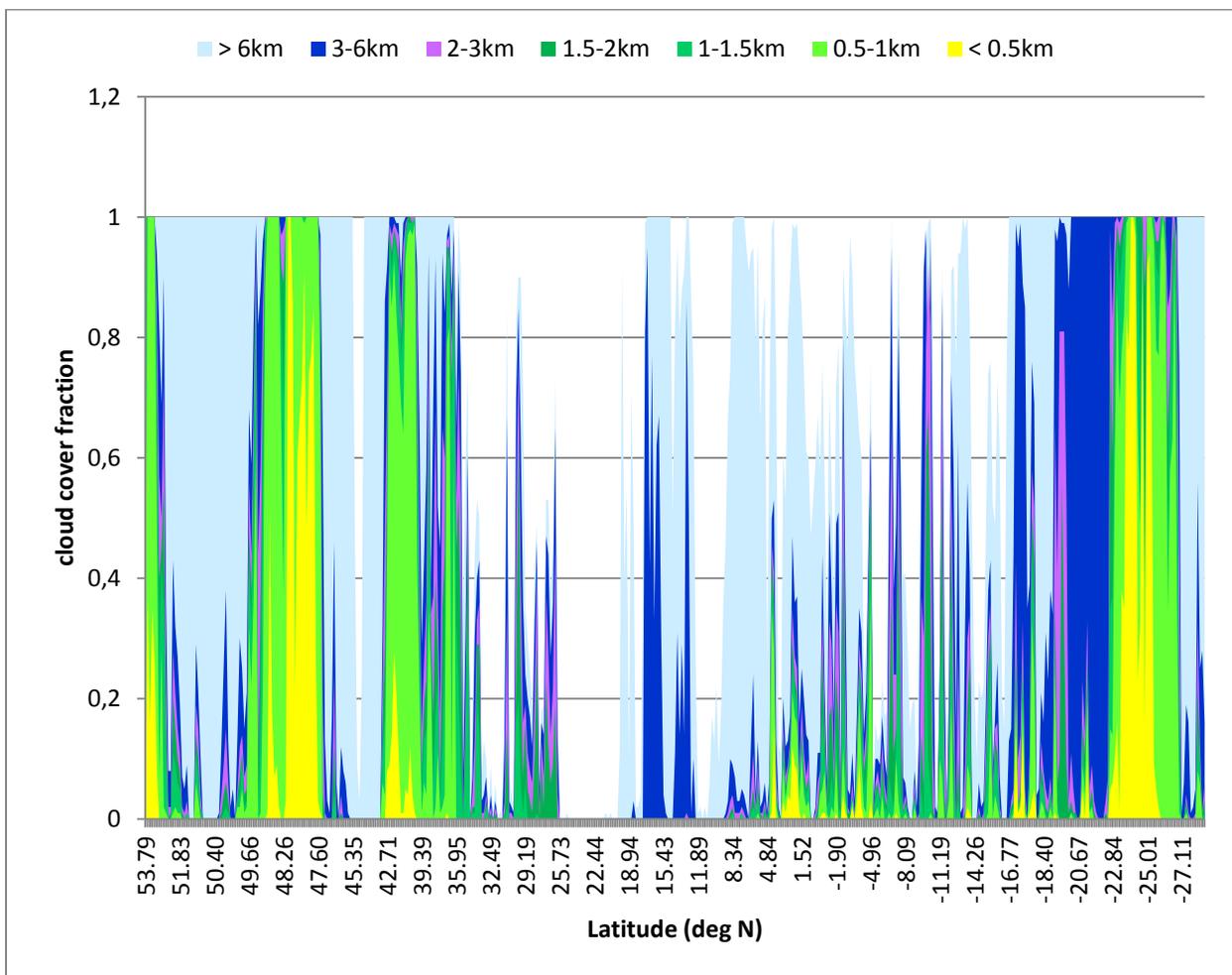


Abbildung 5 Wolkenbedeckung hergeleitet aus stündlichen Mitteln von Bildern mit der Wärmekamera während der SO 259-3 Fahrt. Wolkenhöhe wie sie von einem Wolkenbeobachter vom Boden registriert würden, zeigen den Anteil durch Wolken mit einer niedrigen Wolkenuntergrenze in grün (und wenn ganz niedrig in gelb), die mittelhohen Wolken in blau und die hohen Wolken in hellblau an. Die verbleibende weiße Farbe zeigt den wolkenlosen Anteil des Himmels an.

Die Wolkenbedeckungsdaten bestätigen die hohen Eiswolken und die Kondensstreifen über dem englischen Kanal. Bei dem grossen Staub-Ereignis bestätigen die Bedeckungsdaten anfangs (nahe 19N) die Gegenwart von hohen Wolken und später (17-12N) die Gegenwart von mittel-hohen Wolken, die jeweils die Aerosolmessungen erschwerten. Das Durchfahren der Konvektionslinie (nahe 24S) wird auch wegen des Regens durch sehr niedrige Wolkenuntergrenzen angezeigt.

Schliesslich, da dies der letzte der wöchentliche Berichte ist, noch ein paar Wolkenbilder zum Abschluss. In Abbildung 6 werden Beispiele der Vielfalt von Wolkenstrukturen gezeigt, die sich dann auch noch im Minutentakt verändern. Und dabei sind es eben diese Wolken die Wetter und Klima moderieren. Eine angemessene Beschreibung dieser Vielfalt in der Modellierung wird auch in Zukunft eine grosse Herausforderung darstellen, die wohl dann am ehesten erreicht werden kann, wenn wir die grundlegenden Prozesse der Wolkenbildung und ihres sich Auflösens besser verstehen. Dazu werden sicher auch die Messungen dieser Reise einen Beitrag leisten.

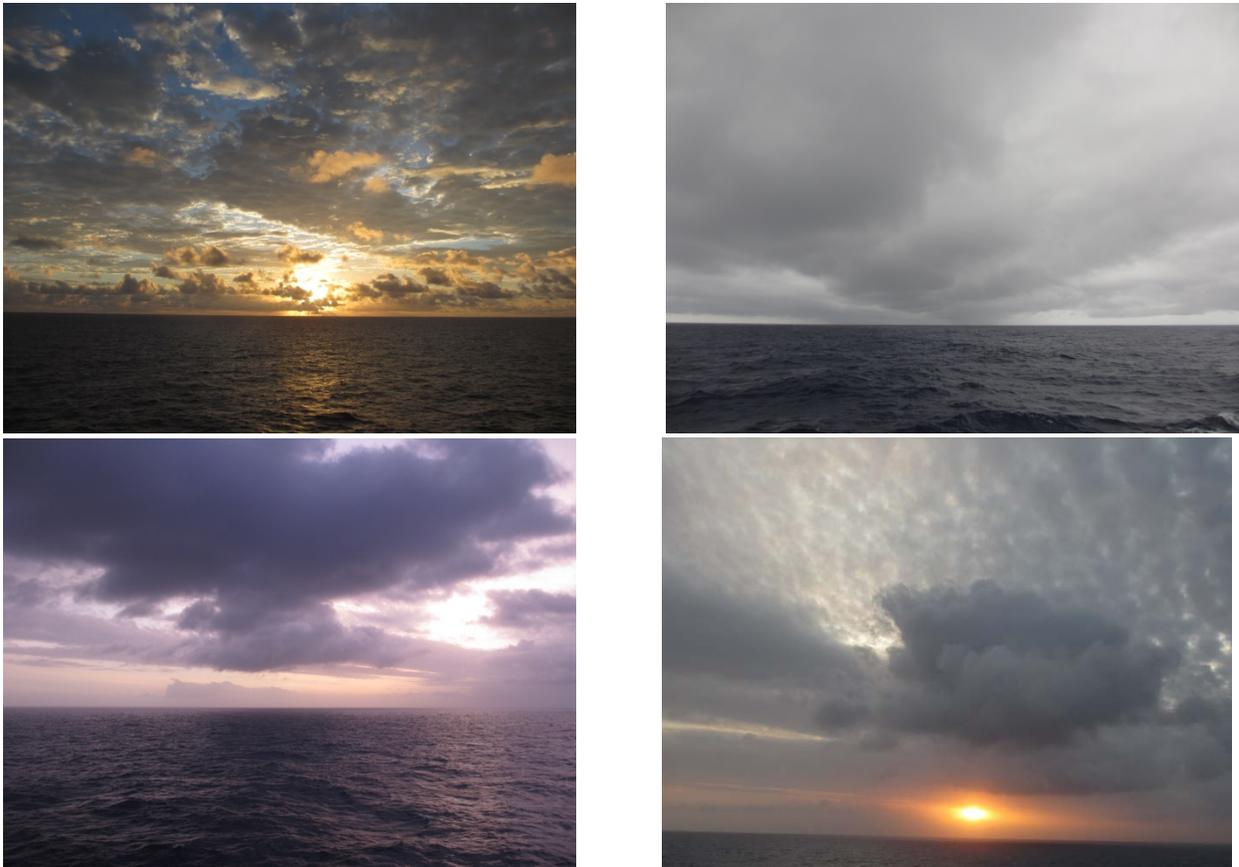


Abbildung 6 Bilder von Wolken im südlichen Atlantik geben einen Einblick in die Vielfalt von Wolkenstrukturen, die nur schwer durch Modelle zu beschreiben sind und eigentlich nur unzureichend durch unsere zusammenfassenden Eigenschaftenn von Wolkenbedeckung und Inhomogenität als Funktion der Höhe beschrieben werden können.

Anhang

Wolkenbedeckung entsprechend der Abbildung 5 von der SO 259-2 Fahrt (Kapstadt - Emden in Oct 17)

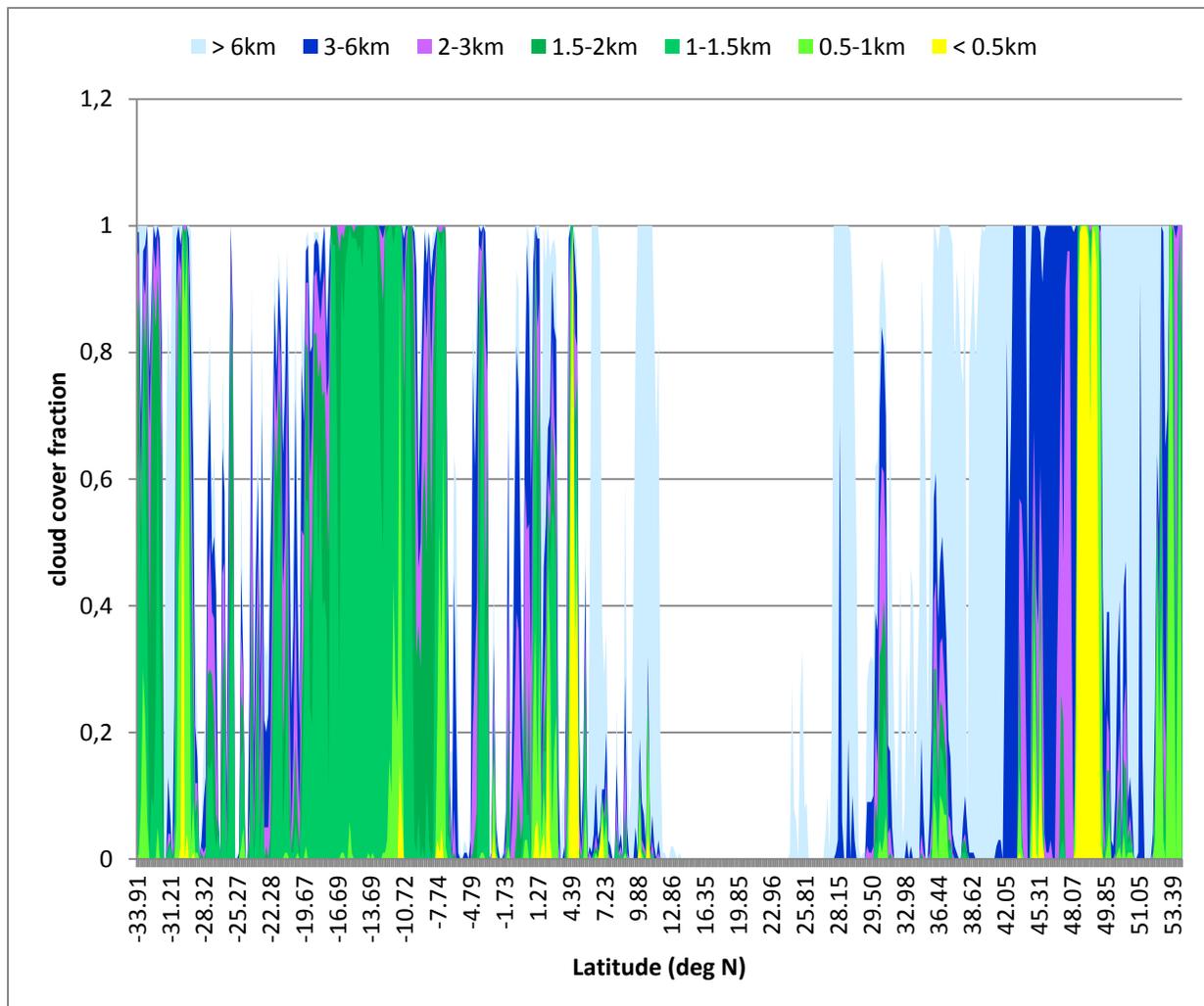


Abbildung A1 Wolkenbedeckung hergeleitet aus stündlichen Mitteln von Bildern mit der Wärmekamera während der SO 259-2 Fahrt. Wolkenhöhe wie sie von einem Wolkenbeobachter vom Boden registriert würden, zeigen den Anteil durch Wolken mit einer niedrigen Wolkenuntergrenze in grün (und wenn ganz niedrig in gelb), die mittelhohen Wolken in blau und die hohen Wolken in hellblau an. Die verbleibende weisse Farbe zeigt den wolkenlosen Anteil des Himmels an.