

Die Expedition

Kapstadt - Bremerhaven:

Wochenberichte:

[7. - 16. März 2014:](#) Richtung Norden

[17. - 23. März 2014:](#) Rendezvous mit einem Satelliten

[24. - 30. März 2014:](#) Durch den nördlichen Passatwindgürtel

[31. März - 06. April 2014:](#) Zwischenstopp in Las Palmas

[7. - 13. April 2014:](#) Von der Biskaya nach Bremerhaven

Kurzfassung

PS83 (ANT-XXIX/10) Kapstadt - Bremerhaven

8. März- 13. April 2014

Die Überführungsreise ANT-XXIX/10 von Kapstadt nach Bremerhaven beendet eine außergewöhnlich lange Forschungskampagne auf der Südhalbkugel inklusive Überwinterung, und führt die Polarstern nach 1,5 Jahren zurück in ihren Heimathafen Bremerhaven.

Im Rahmen des OCEANET-Programms werden auf dieser Transferfahrt erneut detaillierte Beobachtungen der Atmosphäre, insbesondere von Aerosole und Wolken, und zu ihrem Einfluss auf die atmosphärische Strahlung sowie den Austausch zwischen Atmosphäre und Ozean durchgeführt. Zusätzlich zu den bisherigen Messungen ist erstmalig ein Wolkenradar der amerikanischen National Oceanographic and Atmospheric Agency (NOAA) zur Vertikalprofilierung von Wolken an Bord. Ebenso sind zum ersten Mal Messungen von Spurengaskonzentrationen mittels Spektrometern Teil des Messprogramms von OCEANET. Eine weitere Besonderheit der Fahrt ist die geplante kurzfristige Anpassung der Route an die Überflüge des sogenannten A-Train, einer Satellitenkonstellation, die insbesondere ein weltraumgestütztes Aerosol-Lidar (CALIOP) und Wolkenradar (CLOUDSAT) beinhaltet. Hierdurch ergibt sich die einzigartige Gelegenheit, vertikal aufgelöste Wolken- und Aerosolprofile aus Satelliten- und Bodenperspektive über dem Ozean zu vergleichen.

Die Verbreitung und Häufigkeit von Vögeln und marinen Säugern werden durch Sichtungsdaten von der Brücke aus entlang der Route erhoben. Des Weiteren werden Aquarien mit Fischen aus den polaren Regionen nach Bremerhaven überführt und nach einem Zwischenstopp in Las Palmas sollen instrumentelle Erprobungen im Golf von Biscaya durchgeführt werden.

PS83 (ANT-XXIX/10) - Wochenbericht Nr. 1
Richtung Norden
7. - 16. März 2014



Abbildung 1: Ladeaktivitäten, Sonnenuntergang und Auslaufen aus dem Hafen von Kapstadt. © Hartwig Deneke, TROPOS Leipzig; Dagmar Popke, MPI Hamburg.

Mit der Transferfahrt ANT-XXIX/10 bzw. PS83 beendet die Polarstern ihre erfolgreiche 1,5 jährige Forschungskampagne auf der Südhalbkugel, und kehrt in ihren Heimathafen Bremerhaven zurück. Beim Auslaufen aus Kapstadt liegen jedoch noch 7.500 Seemeilen Fahrt vor uns, während der wir – eine Truppe von zunächst 28 Wissenschaftlern – eine Reihe von Messungen und Beobachtungen durchführen wollen. In diesem und den folgenden Wochenberichten werden wir die Gelegenheit nutzen, den Daheimgebliebenen, Familienangehörigen und allen sonstigen Interessierten einen Überblick über das Geschehen an Bord im Allgemeinen, und unsere wissenschaftliche Arbeit im Speziellen zu geben. Dabei werden jede Woche andere Projekte bzw. Arbeitsgruppen genauer vorgestellt. Im Rahmen des OCEANET-Programms werden erneut detaillierte Beobachtungen der Atmosphäre, insbesondere von Aerosolen,

Wolken und Spurengasen, und ihrem Einfluss auf die atmosphärische Strahlung sowie den Austausch zwischen Atmosphäre und Ozean durchgeführt. Eine Besonderheit dieser Fahrt ist dabei die geplante kurzfristige Anpassung der Route an die Überflüge des sogenannten A-Train, einer Satellitenkonstellation, die insbesondere ein weltraumgestütztes Aerosol-Lidar (CALIOP) und Wolkenradar (CLOUDSAT) beinhaltet. Hierdurch ergibt sich die einzigartige Gelegenheit, vertikal aufgelöste Wolken- und Aerosolprofile aus Satelliten- und Bodenperspektive über dem Ozean zu vergleichen. Die Verbreitung und Häufigkeit von Vögeln und marinen Säugern sollen durch Sichtungsdaten von der Brücke aus entlang der Route erhoben werden. Des Weiteren werden Aquarien mit Organismen aus der Antarktis nach Bremerhaven überführt, die während des vorhergehenden Fahrtabschnitts gefangen wurden. Bei unserem für den 1. April geplanten Zwischenstopp in Las Palmas werden 13 weitere Fahrtteilnehmer zusteigen, die eine Erprobung des Hydrosweep DS3 Fächerecholots und des TRIAXUS Schleppsystems im Golf von Biskaya durchführen werden.

Doch zunächst zurück zum Anfang. Der Ausgangspunkt dieses Berichtes und der Fahrt ist natürlich der Hafen von Kapstadt. Am 5. März lief die FS Polarstern dort aus der Antarktis kommend um 4 Uhr früh ein und die Ab- und Beladearbeiten konnten direkt am Vormittag beginnen. Unsere drei Messcontainer wurden im Tagesverlauf an Bord gebracht. Diese Arbeiten wurden noch von der alten Crew durchgeführt, ehe am Morgen des 6. März das Schiff an die neue Besatzung übergeben wurde. Ab diesem Zeitpunkt konnten wir mit einem Aufbautrupp von etwa 15 Mann zum ersten Mal an Board und mit dem Aufbau der Experimente beginnen. Dabei gab es zum Glück nur kleine Probleme, die alle durch die hervorragende Unterstützung der Mannschaft und aus der Heimat gelöst werden konnten. Nachdem die geplante Abfahrt im Vorfeld kurzfristig vom 8. März, 12 Uhr auf den 7. März, 20 Uhr vorverlegt wurde, stellte sich nun heraus, dass es im Hafen leider Engpässe mit der Treibstoffversorgung gab, wodurch wir die benötigte Menge Treibstoff erst ab dem Mittag des 8. März bunkern konnten. Somit liefen wir erst gegen 22:30 Uhr aus. Auf See begrüßte uns direkt ein stürmischer Wind, der von anfänglichen 6 Beaufort im Verlauf des nächsten Tages auf 8 Beaufort auffrischte und die Wissenschaftler und Messaufbauten direkt einer ersten Seetauglichkeitsprobe unterzog.

Doch für Gedanken an Seekrankheit und Wetter bleibt den Kollegen und Kolleginnen des Projekts keine Zeit. Die Gruppe der Ökophysiologen musste sich direkt nach dem Auslaufen und somit bis tief in die Nacht um die Aquarien mit den lebenden Organismen kümmern. Da während der Liegezeit im Hafen nicht auf frisches Seewasser zurückgegriffen werden konnte,

musste durch das verzögerte Auslaufen direkt gehandelt werden.

Während der vorhergehenden Polarsternexpedition PS 82 konnten in der Filchner Region des Weddellmeeres mit Grundschieppnetzen Lebewesen gefangen werden. Das Meergebiet vor dem Filchner-Schelfeis wurde aufgrund seiner hydrographischen Gegebenheiten als biologischer „hotspot“ identifiziert. Vor diesem Hintergrund war das Ziel der vorherigen Reise die biologische Produktion im Filchner-Ausflusssystem sowie die Energieumsatzraten im trophischen Nahrungsnetz bis hin zu den Topprädatoren zu untersuchen. Antarktische Fische leisten sowohl als Konsumenten von z.B. Zooplankton, als auch als Nahrungsgrundlage für höhere Organismen einen wichtigen Beitrag zum Nahrungsnetz.

Es konnten über 150 lebende Fische und Kraken gefangen werden, die in einem speziellen Aquariencontainer an Bord der Polarstern bei Wassertemperaturen um 0°C gehältert werden. Antarktische Organismen reagieren extrem empfindlich auf jegliche Veränderungen ihrer Umweltbedingungen, daher gilt es für die Wissenschaftler an Bord die Bedingungen in den Hälterungsanlagen während der Überfahrt so konstant und optimal wie möglich zu halten. Dafür müssen regelmäßig die Wasserqualität überprüft und Wasserwechsel durchgeführt werden. Dazu wird ein an Bord befindlicher Seewassertank über eine Pumpe mit bis zu einer Tonne Seewasser gefüllt und mit Hilfe einer Kühlanlage auf die notwendige Temperatur von 0°C gebracht. Eine integrierte UV-Lampe sorgt dafür, dass der bakterielle Anteil im Seewasser so gering wie möglich gehalten wird, um eventuelle Infektionen der Tiere zu vermeiden. Das so vorgekühlte Wasser wird dann wiederum über Pumpen vom Vorratstank in die teilentleerten Hälterungsbecken überführt, um so eine gleichbleibende und gute Wasserqualität zu gewährleisten (siehe Fotos?). Das Herunterkühlen kann sich insbesondere bei tropischen Wassertemperaturen über 30°C als sehr zeitaufwendig und schwierig gestalten. Dank der hervorragenden Unterstützung der Maschinencrew konnte bis dato aber ein reibungsloser Verlauf dieser Tätigkeiten gewährleistet werden. Die Tiere machen dementsprechend nach wie vor einen sehr guten Eindruck. Nach Überführung der Tiere in die Aquarienanlagen des Alfred-Wegener-Instituts sollen diese für weitere Experimente eingesetzt werden. Vor dem Hintergrund des globalen Klimawandels und der damit steigenden Temperatur als auch der erhöhten CO₂-Konzentration im Seewasser, die ein Herabsinken des pH-Werts bewirkt, soll untersucht werden, inwiefern die einzelnen Arten durch die sich verändernden Umweltbedingungen beeinflusst werden. Diese Untersuchungen sollen dabei helfen, die klimabedingten Auswirkungen auf die Organismen im Antarktischen Ökosystem zu verstehen und vorherzusagen.

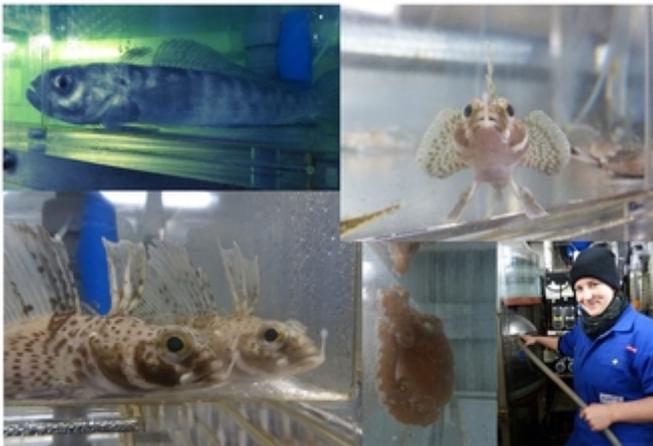


Abbildung 2: Beispiele von in den Aquariencontainern gehaltenen Tieren
Fische: *Pagothenia borchgrevinki*, *Artedidraco spec.*, Oktopus:
pareledone spec.). © Astrid Böhmer, AWI Bremerhaven (die auch beim
füllen eines Tanks abgebildet ist).



Abbildung 3: Ein Weißkappenalbatros (*Diomedea cauta*), der unser
Schiff auf See besuchte. © Dominik Nachtsheim, PoIE.

Eine weitere Konsequenz des starken Windes am Anfang der Fahrt war, dass wir an den ersten beiden Tagen sowie am 12. März nicht die erhoffte tägliche Entnahme von Wasserproben zur Untersuchung des Oberflächenfilms durchführen konnten. An diesem Tag ebenso wie am 15. März fanden jedoch die ersten beiden Satellitenüberflüge statt. Zu beidem werden wir im nächsten Wochenbericht mehr erzählen. Außerdem soll Gerüchten nach Neptun am Abend des 13. März vom Helideck aus gesichtet worden sein, wie er das Schiff im Allgemeinen und die Vielzahl von Pollywogs (Ungetauften) im Speziellen bei ihrer Annäherung an den Äquator neugierig beäugt haben soll.

Mit herzlichen Grüßen im Namen aller Polarsternfahrer,

Hartwig Deneke
(Fahrtleiter)

PS83 (ANT-XXIX/10) - Wochenbericht Nr. 2
Rendezvous mit einem Satelliten
17. - 23. März 2014

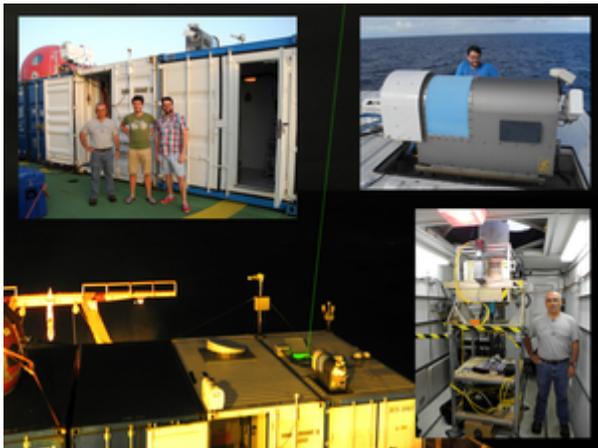


Abbildung 1: OCEANET- und Wolkenradar-Container auf dem Helikopterdeck, inklusive der Kollegen, die diese Messungen betreuen. © Sebastian Bley, TROPOS.

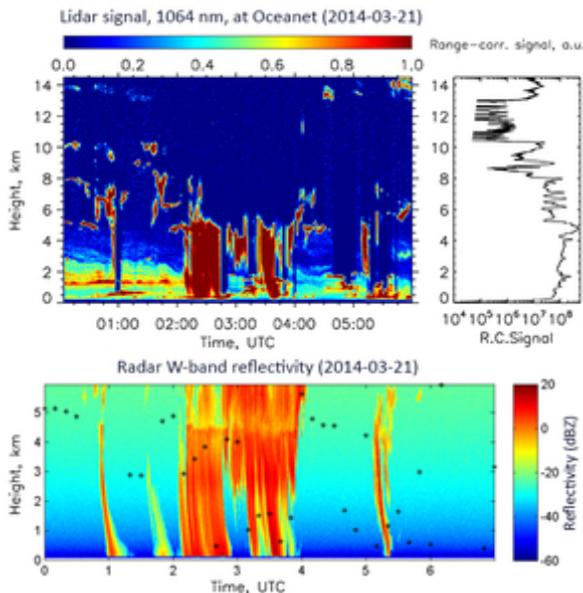


Abbildung 2: Grafische Darstellung unserer Lidar- und Radarmessungen vom 21. März 2014. © Sebastian Bley, TROPOS, Sergio Pezoa, NOAA.

Aus dem südlichen Passatwindgürtel kommend, durchfuhr die Polarstern im Verlauf der zweiten Woche unseres Fahrtabschnitts den größten Teil der Tropenregion. Dementsprechend veränderte sich die Bewölkung von der zunächst vorherrschenden, aufgelockerten Kumulus-Bewölkung in hochreich- ende, tropische Gewitterwolken, die am Ende der Woche wiederum abgelöst wurden von einem gering bewölkten Bereich nördlich etwa 5° Nord. Hier war allerdings die Sicht durch eine Rauch- und Staubfahne vom afrikanischen Kontinent deutlich reduziert. Der Grund hierfür dürfte in der traditionell weit verbreiteten Verbrennung von Biomasse in den Savannenregionen Westafrikas liegen.

Auf diesen Wechsel der atmosphärischen Eigenschaften und Bewölkung richtet sich ein Augenmerk des OCEANET-Projektes, dass das größte Experiment dieser Fahrt darstellt. Erneut befindet sich ein im Rahmen des OCEANET-Projektes konzipierter und von Leipziger Wissenschaftlern betreuter Messcontainer an Bord, der der Beobachtung der Atmosphäre dient, insbesondere von Aerosolpartikeln, Wolken und deren Einfluss auf die atmosphärische Strahlung. Zur Evaluierung von Klimamodellen und der Abschätzung ihrer Unsicherheiten sind zeitlich und räumlich hochaufgelöste Messungen dieser Eigenschaften erforderlich. Der OCEANET Container ist hierfür mit einer Reihe von Fernerkundungsinstrumenten ausgestattet. Mit einem Laser werden vertikal aufgelöste Profile von Aerosolpartikeln, Wolken sowie Wasserdampf nach dem Lidar-Prinzip gemessen. Dabei werden Laserpulse im ultravioletten, sichtbaren und infraroten Wellenlängenbereich ausgesendet, die von Luftpartikeln, Wolkentropfen, Eiskristallen und Wasserdampf zurückgestreut und mit einem Teleskop gesammelt werden. Aufgrund der unterschiedlichen Streueigenschaften ist es möglich, zwischen Eis- und Wasserwolken, sowie zwischen unterschiedlichen Aerosoltypen wie Wüstenstaub, Rauch und Seesalz zu unterscheiden. Nachdem anfänglich ausschließlich Seesalz detektiert wurde, haben wir in den letzten Tagen die oben erwähnte Aerosolschicht mit Ursprung auf

dem afrikanischen Kontinent beobachtet. Außerdem wurden in den äquatorialen Breiten Zirruswolken in Höhen von über 12 km beobachtet. Ein auf dem Containerdach befindliches Mikrowellenradiometer misst die thermische Emission der Atmosphäre bei Wellenlängen im Zentimeter- und Millimeterbereich. Hieraus lassen sich Temperatur- und Feuchteprofile bestimmen ebenso wie der Flüssigwassergehalt von Wolken. Ergänzend werden eine Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes, kurz- und langwellige Strahlungsmessungen sowie eine Fischaugen-Wolkenkamera betrieben. Diese Messungen können mit den Beobachtungen früherer Fahrten verglichen werden, um typische Werte zu bestimmen und interessante Unterschiede zu identifizieren. Hierbei ist es möglich, die Variabilität der Messungen über die unterschiedliche

Klimazonen hinweg zu untersuchen. Als Ergänzung zu diesen Messungen wird erstmalig ein Wolkenradar an Bord betrieben, das von Kollegen des NOAA Earth System Research Laboratory entwickelt wurde. Es arbeitet nach demselben Prinzip wie das Lidar und sendet Pulse aus, die eine Leistung von 1740W haben. Dies geschieht allerdings bei einer Frequenz von 94GHz im Mikrowellenbereich. Neben dem kalibrierten Rückstreusignal von Wolkenröpfchen misst es deren Vertikalbewegung über den Dopplereffekt bis in 6km Höhe mit dem Ziel, die Dynamik und Mikrophysik von Wolken besser zu verstehen. Das Radar wird auf einer stabilisierten Plattform betrieben, die mittels eines Gyroskops die Schiffsbewegung misst und ausgleicht, um sicherzustellen, dass das Radar stets mit einer Genauigkeit von 0,5° senkrecht nach oben zeigt. Seit 2006 fliegen mit dem Wolkenradar CLOUDSAT und dem Wolken-Aerosol-Lidar CALIOP zwei zu unseren Messsystemen an Bord vergleichbare Satellitensensoren als Teil des sogenannten A-Train im All, einer Konstellation bestehend aus aktuell 5 Erdbeobachtungssatelliten. Ein Vergleich dieser Datensätze bietet sich an, um deren Genauigkeit und Konsistenz besser zu verstehen. Es gibt allerdings eine Reihe von Unterschieden, die hierbei zu bedenken sind: das Schiff fährt mit einer Geschwindigkeit von 10,5 Knoten, während der beobachtete Punkt unterhalb des Satelliten sich mit einer Geschwindigkeit von 6 km pro Sekunde bewegt. Aufgrund der Höhe von 690 km über der Meeresoberfläche können die Satelliten nur gröbere Wolkenstrukturen erkennen, mit einer horizontalen Auflösung von bis zu 300 m für das Lidar, und 1,5 km für das Radar. Zum bestmöglichen Vergleich wurde unser Kurs so angepasst, dass die Polarstern 1-2 Stunden vor dem Satellitenüberflug die Flugbahn des A-Train erreichte und dieser die nächsten 3-4 Stunden exakt folgte. In dieser Zeit überholte uns dann der Satellit. Da die Satellitenumlaufbahnen lediglich 2-4 Wochen im Voraus mit der erforderlichen Genauigkeit bestimmt werden können, war hierzu eine kurzfristige und flexible Kursplanung nötig, die dank der exzellenten Unterstützung der Besatzung erfolgreich umgesetzt werden konnte. Vier solcher Überflüge konnten bisher realisiert werden, zwei weitere streben wir für die weitere Fahrt bis Las Palmas an. Eine erste Auswertung der GPS-Wegpunkte des Schiffs zeigte, dass wir den Flugweg der Satelliten mit einer Genauigkeit von etwa 50 m trafen, was unsere Erwartungen weit übertrifft.

Für ein besseres Verständnis des Austauschs von organischem Material zwischen Ozean und Atmosphäre wird auf dieser Fahrt erneut der Oberflächenfilm des Atlantiks untersucht. Für die Probenahme des Oberflächenfilms wird zunächst eine Glasplatte vertikal ins Wasser eingetaucht, langsam wieder herausgezogen und der anhaftende Oberflächenfilm anschließend mittels eines Teflonwischers in Plastikfläschchen überführt. Vergleichswasser wird mittels einer Teleskopstange in einer Tiefe von 2 Metern entnommen. Um einen Einfluss des Schiffs auf diese Messungen auszuschließen, findet die Probenahme vom Schlauchboot aus statt, das mittags während eines Stopps der Polarstern ausgesetzt wird. Die Wasser- und Oberflächenfilmproben werden an Bord tiefgefroren und nach der Fahrt in den Laboren am TROPOS chemisch analysiert. In den Proben voriger Fahrten konnten besonders in den Oberflächenfilmproben chemische Substanzen nachgewiesen werden, die aktuell im Verdacht stehen, die Bildung von Wolken zu beeinflussen und daher im Fokus der Wissenschaft stehen. Diese Untersuchungen sollen im Rahmen dieser Fahrt fortgesetzt und vertieft werden. Die ergänzenden Analysen von marinen Aerosol- und Luftproben, die auf dieser Fahrt stattfinden, werden wir im nächsten Wochenbericht vorstellen.



Abbildung 3: Probenahme des Oberflächenfilms vom Schlauchboot aus. © Hartwig Deneke, TROPOS.



Abbildung 4: Neptun und seine Gattin Thetis besuchen mit einem Schlauchboot unser Schiff. © Christina Streit, Laeisz.

Neben dem normalen Wissenschaftsbetrieb an Bord fand diese Woche ein weiterer Höhepunkt der Fahrt statt. Am Vormittag des 19. März überquerte die Polarstern den Äquator. Neptun ließ es sich nicht nehmen, höchstpersönlich zur Taufe der bisher ungetauften Mitfahrer an Bord zu erscheinen. Abbildung 4 zeigt, wie er zusammen mit seiner Frau Thetis auf einem Schlauchboot unserem Schiff einen Besuch abstattet.

Im Namen aller Mitfahrer herzliche Grüße von Bord der Polarstern,

Hartwig Deneke
(Fahrtleiter)

PS83 (ANT-XXIX/10) - Wochenbericht Nr. 3

Durch den nördlichen Passatwindgürtel 24. - 30. März 2014

Nach der Überquerung des Äquators in der vergangenen Woche durchquert die Polarstern nun den nördlichen Passatwindgürtel. Dort fand ein seltenes Treffen statt – eigentlich noch während des vorigen Berichtszeitraums: zwei deutsche Forschungsschiffe begegneten sich am Sonntag, 23. März auf hoher See. Bei Kontakten zwischen Fahrteilnehmern war festgestellt worden, dass die Polarstern das Einsatzgebiet der Meteor queren würde, die in der Sauerstoffminimumzone vor Westafrika Strömungsverhältnisse und Mischungsprozesse untersucht. Daraufhin wurden schnell Ort und Zeit für ein Rendezvous vereinbart – um 13 Uhr bei 21°N und 11°W. Kaum war die Polarstern bei der Meteor angekommen, die dort eine Station zum Aussetzen eines Gleiters beendete, wurden die Schlauchboote zu Wasser gelassen und ein reger Austausch zwischen den Schiffen begann. Die Wissenschaftler und Besatzungen nutzten die Gelegenheit, das jeweils andere Schiff inklusive der Messinstrumente zu besichtigen und sich über die Arbeiten und wissenschaftlichen Fragestellungen der Expeditionen auszutauschen. Nach vier Stunden und einer spannenden Unterbrechung des Schiffsalltags setzte die Polarstern ihre Fahrt in die Heimat fort.



Abbildung 1: Treffen der deutschen Forschungsschiffe Polarstern (im Vordergrund) und Meteor (im Hintergrund) am Sonntag, 23. März 2014, auf 21° nördlicher Breite und 11° westlicher Länge. © Dominik Nachtsheim, AWI.

Bereits im letzten Wochenbericht wurde das Augenmerk auf das OCEANET-Projekt gerichtet, welches den Stoff- und Energieaustausch zwischen Ozean und Atmosphäre näher untersucht. Ergänzend zu den fast täglich genommenen Wasserproben des Oberflächenfilms werden kontinuierliche Messungen von Aerosol- und Luftproben in einem Messcontainer auf dem Peildeck durchgeführt. Darin untergebracht ist eine Reihe von Messinstrumenten für die Bestimmung der physikalischen und chemischen Eigenschaften von Aerosolpartikeln. Allen Messungen ist dabei gemein, dass sie Hinweise auf Entstehung und Herkunft der Partikel geben und zu einem verbesserten Verständnis der zugrundeliegenden Prozesse beitragen.

Grundlage bilden die Partikelanzahlgrößenverteilungen, welche mit einem Mobilitätsspektrometer erfasst werden. Hier wird das Auftreten von kleinsten Partikeln mit einem Durchmesser von 10 nm bis hin zu den groben Seesalzpartikeln zwischen 1 und 20 µm registriert. Damit lassen sich sehr zeitnah Aussagen treffen, ob das vorherrschende Aerosol in der unteren Troposphäre marine Eigenschaften aufweist oder beispielsweise durch Verbrennung von Biomasse in den Savannenregionen Westafrikas beeinflusst ist. So gab es gleich zu Beginn dieser Polarsternreise ein marin geprägtes Aerosol, welches



Abbildung 2: Aerosol-Container auf dem Peildeck, inklusive Bild der Kollegen, die für die Aerosol- und Luftprobenmessungen verantwortlich sind. © Maik Merkel, TROPOS, und Simon Jungblut, PoIE.

Rückwärtstrajektorien zu folge wohl seinen Ursprung in der Antarktis hatte. Dabei wurden Gesamtanzahlkonzentration von weniger als 100 Partikel pro Kubikzentimeter registriert - in städtischer Umgebung sind einige Tausend Partikel pro cm^3 charakteristisch. Nachdem der Äquator passiert wurde, war eine markante Erhöhung in der Gesamtpartikelanzahl zu verzeichnen. Somit machten sich der kontinentale Einfluss und der Transport der Aerosole durch die nördlichen Passatwinde bemerkbar. Ein Beitrag von Wüstenstaub zum Aerosolgehalt ist wahrscheinlich.

Kombiniert mit diesen Messungen wird die Aktivierung von Aerosolpartikeln zu Wolkenkondensationskeimen mit einem weiteren Spektrometer untersucht. Daraus lässt sich schlussfolgern, welcher Anteil der Partikel bei Übersättigungen zwischen 0.1 und 1 Prozent zu Wolkentropfen aufwachsen können. Die Bildung von Wolken sowie deren Lebensdauer speziell über den Ozeanen ist bisher noch unzureichend verstanden.

Zur Bestimmung der optischen Eigenschaften des marinen Aerosols befinden sich im Aerosolcontainer weitere drei Geräte. Die Absorption wird mit zwei Absorptionsphotometern mit den Wellenlängen 530 nm und 637 nm bestimmt und ermöglicht Aussagen über den Anteil von Ruß im Aerosol. Besonders nach der Überquerung des Äquators sind diese Werte leicht angestiegen, so dass auch hier der Einfluss des afrikanischen Kontinents sichtbar wird. Das Streuverhalten von Aerosolpartikeln hingegen wird mit einem Nephelometer genauer untersucht. Unterschiedliche Rückstreuesignale in drei Wellenlängenbereichen (blau, grün und rot) geben Aufschluss über Partikelform und -dichte.

Für die Untersuchung der chemischen Komponenten in Aerosolpartikeln werden auf dem Containerdach 24-stündige Filterproben mit einem „Digital High Volume Sampler“ gesammelt. Diese werden erst nach der Expedition im Labor von TROPOS chemisch analysiert. Gleiches gilt für tägliche bzw. zweitägige Denuderproben, welche chemische Substanzen wie Amine in der Gasphase sammeln. Unterstützt werden diese Messungen durch eine kontinuierliche Aufzeichnung von relevanten Gasen wie Ozon, Stickoxiden und Schwefeldioxid.

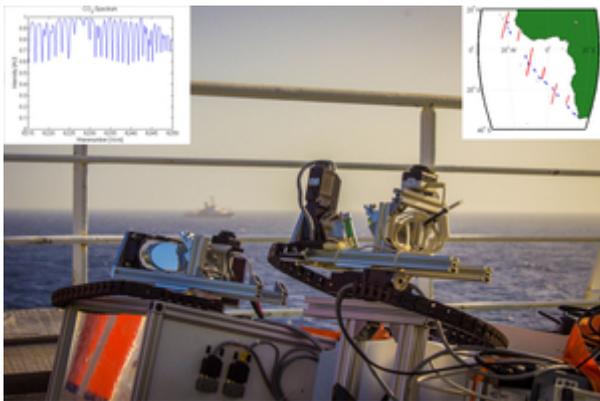


Abbildung 3: Die zwei Sonnenfolger der Treibhausgas-Messgeräte auf dem Peildeck der Polarstern. Im Hintergrund die Meteor. Ein CO_2 -Spektrum (o.li). Eine Karte (o.re) der Messungen auf der Polarstern (blau) und parallelen Satellitenüberflüge (rot). © Friedrich Klappenbach, KIT IMK-ASF.

Weitere chemische Untersuchungen finden mit Impaktoren auf dem Peildeck statt. Diese trennen luftgetragene Partikel nach ihrer aerodynamischen Größe auf und sammeln sie auf Folien, die später im Labor auf chemische Komponenten und stabile Isotope (Stickstoff und Schwefel) untersucht werden. Partikel unterschiedlicher Größe haben unterschiedliche chemische Zusammensetzungen. Die bisher gesammelten Proben deuten darauf hin, dass während der Polarsternfahrt auf dem tropischen Südatlantik kein kontinental beeinflusstes Aerosol angetroffen wurde. Nördlich des Äquators hingegen, war die Luftmasse erheblich vom afrikanischen Kontinent beeinflusst: Die größeren Partikel zeigten deutliche Mineralstaubanteile, während die kleineren bereits wegen ihrer grauen Farbe auf Verbrennungsprozesse zurückgeführt werden können. In Ergänzung dazu werden Luftproben in zuvor evakuierten Metallcontainern gesammelt, die in Deutschland auf flüchtige organische Substanzen hin analysiert werden.

Frühere Messungen haben gezeigt, dass über dem Ozean in der unteren Luftschicht gleichzeitig gasförmiges Ammoniak (NH_3) und partikelgebundenes Ammonium (NH_4^+) auftreten. An Bord werden diese Komponenten in Filtern gesammelt (3 NH_3 -Absorptionsfilter hinter einem NH_4^+ -Partikelfilter) und später auf ihre stabilen Stickstoffisotope hin untersucht. Damit können Hinweise auf die Ammoniak-Reaktionspfade in der Luft gewonnen werden.

Der Ozean hat als Quelle und Senke einen starken Einfluss auf die Klimagase CO_2 und N_2O . Zur Charakterisierung der Austauschraten zwischen Luft und Wasser können Verhältnisse stabiler Isotopen ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ und $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) wertvolle Hinweise geben. Deshalb werden Luftproben aus der atmosphärischen Grenzschicht und aus Luft im Gleichgewicht mit Oberflächenwasser genommen und später auf diese Isotopenverhältnisse analysiert.

Das Kohlendioxid interessiert ebenfalls drei Karlsruher Wissenschaftler, zusammen mit Methan. Auf der Suche nach Quellen und Senken dieser beiden Hauptverursacher des Klimawandels sind sie an Bord der Polarstern gekommen. Mittels spektroskopischer Analyse des direkten Sonnenlichts sind sie in der Lage, den Kohlendioxid- und Methangehalt der Atmosphäre zwischen Sonne und Messgerät zu ermitteln. Erstmals wird dazu ein eigens konzipiertes Messgerät eingesetzt. „Wir hatten zunächst Schwierigkeiten mit Teilausfällen der Elektronik, die durch das Seesalz verursacht wurden. Doch durch die Unterstützung der Besatzung haben wir das Problem schnell in den Griff bekommen.“, so Friedrich Klappenbach vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Insgesamt sind die Forscher sehr zufrieden mit dem Verlauf der Messungen.

„Besonders erfreut bin ich über die parallelen Messungen während der Satellitenüberflüge“ so Klappenbach weiter. Um die Aussagekraft von Messungen aus dem All durch den japanischen Satelliten GOSAT zu verifizieren und die Messdaten mit denen der Karlsruher Instrumente zu vergleichen, wurde das Beobachtungsmuster des Satelliten extra angepasst, so dass möglichst viele Messungen mit denen auf der Polarstern zusammenfallen. Bis die Messdaten tatsächlich verglichen werden können, müssen sie erst noch ausgewertet werden. „Das wird jedoch einige Zeit in Anspruch nehmen und passiert erst nach der Expedition.“ Bis dahin hoffen die Wissenschaftler auf weiterhin gutes Wetter, das sie für ihre Messungen auf dem Peildeck brauchen. Dort finden weitere Messungen statt, die das Sonnenlicht nutzen, und im nächsten Wochenbericht vorgestellt werden.

Herzliche Grüße von allen Polarsternfahrern,
Hartwig Deneke

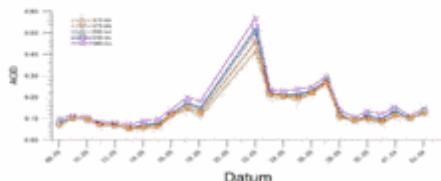
ANT-XXIX/10(PS83) - Wochenbericht 4 Zwischenstopp in Las Palmas

31. März – 6. April 2014

Während der vierten Woche unserer Fahrt durchquerten wir die Subtropen, so dass bereits eine deutliche Abkühlung festzustellen war, als erster Vorbote der Temperaturen, die uns bald in der Heimat erwarten. Am Dienstag, dem 1. April, lief die Polarstern vormittags in den Hafen von Las Palmas zu einem Zwischenstopp ein, wo neben Versorgungsgütern auch weitere 11 Fahrtteilnehmer an Bord gingen, die auf dem verbleibenden Fahrtabschnitt Instrumentenerprobungen durchführen und Vorbereitungen für die kommende Werftliegezeit der Polarstern in Bremerhaven treffen werden.



Einlauf in den Hafen von Las Palmas (© Tilo Arnhold, TROPOS).



Das Microtops II Sonnenphotometer der NASA-GFSC mit angeschlossener GPS Einheit (oben links, © Dagmar Popke). Zeitreihe der gemessenen Tagesmittelwerte der Aerosol-optischen Dicken für fünf Wellenlängen zwischen 380 und 870 nm (unten, © Dagmar Popke und Gaby Rädcl, MPIMET).

Wie im vorigen Bericht bereits angedeutet, wurde seit Beginn der Reise tagsüber auf dem Peildeck alle 15-30 Minuten die optische Dicke des Aerosols gemessen. Diese ist ein Maß der Abschwächung des Sonnenlichts durch kleinste Teilchen in der Atmosphäre, wie z.B. Seesalz, Staub oder Rauchpartikel, die bei der Verbrennung von Biomasse entstehen. Dazu wird ein sogenanntes Microtops II Sonnenphotometer zusammen mit einer GPS-Einheit verwendet (siehe Abbildung 2), das durch seine handliche Größe vielseitig und flexibel einsetzbar ist. Es misst das direkte Sonnenlicht bei fünf verschiedenen Wellenlängen und berechnet automatisch die optische Dicke der Aerosole. Abb. 1 rechts zeigt eine Zeitreihe der gemittelten Tageswerte seit Beginn der Reise bis zum 31.3.2014 für verschiedene Wellenlängen zwischen 380 und 870 nm. Außerdem ist es möglich, aus der spektralen Abhängigkeit Informationen über die Größe der Partikel zu erhalten. So legen unsere Messergebnisse nahe, dass die erhöhte optische Dicke um den 22.3. einem Gemisch von Staubteilchen aus der Sahara und Rauchpartikeln von der Verbrennung von Biomasse aus der Gegend von Nigeria zuzuordnen ist, welches nach Westen über den Atlantik transportiert wurde.

Während des Großteils der bisherigen Reise wurden jedoch nur relativ geringe Mengen von Seesalz gemessen, eine optische Dicke von ca. 0.06 entspricht dabei reiner Seeluft. Das Microtops II Photometer ist eine Leihgabe des NASA-GFSC im Rahmen des weltweiten Aerosol-Beobachtungs-Netzwerks MAN (Marine Aerosol Network), das die Beobachtungen der landgestützten AERONET Stationen ergänzt.

Als vollautomatische Alternative zum Sonnenphotometer kommt auf



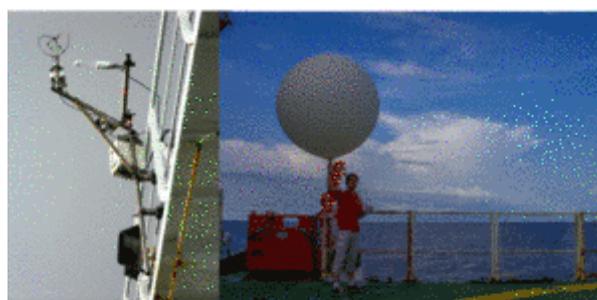
dieser Fahrt erstmals ein multispektrales Radiometer der Firma Biospherical Inc. mit 19 Kanälen zum Einsatz, zusammen mit einem selbstgebauten Instrument mit breitbandigem Detektor. Eine genaue Strahlungsmessung an Bord ist aufgrund der ständigen Schiffsbewegung eine Herausforderung. Insbesondere kommt es zu Über- und Unterschätzungen, wenn sich der Detektor zur Sonne hin bzw. von der Sonne weg neigt. Da dieser Effekt für das direkte Sonnenlicht besonders stark ist, sich aber unter Verwendung von Lageinformationen des Schiffs korrigieren lässt, ist eine Messung des direkten und diffusen Anteils der Sonneneinstrahlung hilfreich. Hierzu wird im Falle eines Schattenbandradiometers ein über den Sensor hinweg rotierendes Schattenband genutzt, das beim Durchlauf das direkte Sonnenlicht abschattet. Aus der Differenz der abgeschatteten und nichtabgeschatteten Messungen lässt sich der Anteil des direkten Sonnenlichts abschätzen, und hieraus Eigenschaften von Aerosolen und Wolken ableiten. Für diese Fahrt sind insbesondere die Betrachtung der Microtops-Wellenlängen zur Ableitung von Aerosoleigenschaften und der Vergleich mit den MAN-Messungen von Interesse.



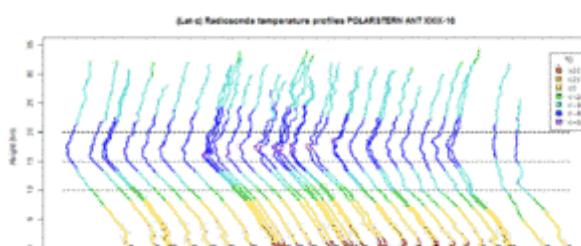
Die Aerosolbeobachtungen wurden erstmals durch eine tägliche Aerosolvorhersage unter Nutzung des MACC-Aerosol-Vorhersagemodells (Monitoring Atmospheric Composition & Climate) an Bord begleitet. Dieses Modell berechnet die globalen Aerosolfelder der nächsten Stunden und Tage auf Basis aktueller Satelliten- und AERONET-Daten und läuft operationell am Europäischen Zentrum für Mittelfristvorhersage. Für die Bereitstellung und die im Vorfeld notwendigen Absprachen und Arbeiten sei den Kollegen vom ECMWF herzlichst gedankt. Aufgrund der relativ großen Unsicherheiten solcher Modellvorhersagen ist eine gewisse Vorsicht geboten. Für unsere Fahrt waren diese Daten jedoch äußerst hilfreich, um einen Überblick über die zu erwartenden Aerosolbedingungen zu bekommen und die Zusammensetzung und Quellen des Aerosols abschätzen zu können. Mit Hilfe dieser Vorhersagen war es von Beginn der Fahrt an möglich, interessante Regionen im Auge zu behalten. So war der Blick insbesondere auf die Region an der Südwestspitze von Westafrika gerichtet. Durch die dortige Verbrennung von Biomasse und die vorherrschenden Ostwinde wurden große Mengen Verbrennungsaerosole auf den Atlantik hinaus getragen. Ein weiterer charakteristischer Aerosoltyp für die Atlantikregion vor Westafrika ist Wüstenstaub aus der Sahara. Aufgrund der Modellvorhersagen wurde frühzeitig klar, dass wir wahrscheinlich keine starken Staubereignisse auf unserer Fahrt beobachten würden. Lediglich einige schwach ausgeprägte Staubfahnen konnte Polarstern unterqueren.

In Ergänzung zu den meteorologischen Routinemessungen an Bord werden eine Reihe zusätzlicher Messungen durchgeführt. Zum einen wird ein sogenanntes NubiScope auf seine Eignung für den Einsatz auf Schiffen getestet. Es misst mit einem Infrarotsensor kontinuierlich bei Tag und Nacht die Wolkenbedeckung, die Wolkenhöhe und die Temperatur an der Wolkenbasis. Die Messwerte sollen anschließend ausgewertet und mit anderen Messungen vergleichbarer Parameter überprüft werden. Eine erste Bewertung der bisher gewonnenen Daten zeigt, dass das NubiScope zuverlässig läuft und plausible Ergebnisse liefert.

Zwei weitere Instrumente sind auf dem Krähennest der Polarstern befestigt: ein sogenanntes LiCor, um CO₂- und Wasserdampfgehalt zu messen, und ein Sonic zur Messung des 3-dimensionalen Windfeldes und der Temperatur. Diese Daten sollen nach der Fahrt zur Berechnung des sensiblen und fühlbaren Wärmeflusses genutzt werden und zusammen mit den kurz- und langwelligen Strahlungsflüssen eine Schätzung der Energiebilanz an der Ozeanoberfläche liefern.



Gleichzeitig sollen über die Fahrt verteilt 20 zusätzliche Radiosondenaufstiege durchgeführt werden. Hierfür wird der gleiche Radiosondentyp des Herstellers Vaisala verwendet, der auch vom DWD für die mittäglichen Aufstiege an Bord der Polarstern genutzt wird. Hiermit werden Vertikalprofile der Temperatur, Feuchte und des Winds bis in etwa 30km Höhe gemessen. Das Augenmerk liegt hierbei auf der Tropopausenregion, also der Grenze zwischen der



Troposphäre und Stratosphäre. Von Interesse waren hier besondere Merkmale wie starke Temperaturinversionen oder das Auftreten einer doppelten Tropopause. Abbildung 4 zeigt alle bisher während der Fahrt gemessenen Temperaturprofile. Die kälteste, höchste und am stärksten ausgeprägte Tropopause wurde am Äquator beobachtet ($<-80^{\circ}\text{C}$, 17km). Die deutliche Ausprägung in dieser Region reduzierte sich zu den Subtropen und mittleren Breiten hin. Ein zweites Temperaturminimum bei 10km, welches charakteristisch für eine doppelte Tropopause ist, konnte bei 30°N beobachtet werden.

Im folgenden und letzten Wochenbericht von der Fahrt ANT-XXIX/10 bzw. PS83 werden wir eine Übersicht über die Beobachtungen von Meeressäugern und Vögeln entlang unserer Fahrtroute geben und etwas über die Instrumentenerprobungen erzählen, die derzeit durchgeführt werden.

Herzliche Grüße stellvertretend für alle Polarsternfahrer,
Hartwig Deneke



Die Instrumente LiCor und Sonic (oben links, © Robin Pilch Kedzierski, GEOMAR) und der Vorbereitung des Radiosondenaufstiegs (oben rechts, © Friedrich Klappenbach, KIT). Meridionale Darstellung der Vertikalprofile der Temperatur (unten, © Robin Pilch Kedzierski, GEOMAR).

PS83 (ANT-XXIX/10) - Wochenbericht Nr. 5

Von der Biskaya nach Bremerhaven
7. - 13. April 2014

In der fünften und letzten Woche dieser Fahrt durchquerten wir zunächst die Biskaya. Zum Glück blieben wir hier von den Stürmen verschont, für die diese Region berüchtigt ist. Im weiteren Verlauf durchquerten wir dann den Ärmelkanal und gelangten in die Nordsee, um schließlich die Weser zu erreichen und den Heimathafen Bremerhaven. Mit diesem Wochenbericht findet somit auch unsere Fahrt ein Ende.

Im Rahmen von Langzeitbeobachtungen zur Untersuchung der Verteilung von marinen Topprädatoren wird die Polarstern regelmäßig von der PoE-Gruppe (Laboratory for Polar Ecology, Leitung: Prof. Claude R. Joiris) genutzt, um marine Vögel und Säugetiere in polaren Regionen zu zählen. Doch auch die langen Nord-Süd-Transekte durch den Atlantischen Ozean sind von Interesse und dienen der Untersuchung von Faktoren, welche die Verteilung von Seevögeln und Meeressäugern im Atlantik beeinflussen. Insbesondere decken sie die Verbreitungsgebiete vieler unterschiedlicher Vogel- und Säugetierarten ab. ANT XXIX/10 ist die vierte Polarstern-Expedition, auf der Beobachtungsdaten von Vögeln und Säugetieren für dieses Gebiet gesammelt werden. Eine so lange Strecke kann in verschiedene biogeographische Zonen eingeteilt werden, die durch ihre Wassermassen charakterisiert werden. Diese Zonen weisen oft sehr unterschiedliche ökologische Strukturen, wie zum Beispiel Futterverfügbarkeit und somit Häufigkeit von Topprädatoren, auf. Die Hauptwassermassen und ihre Grenzen können über folgende hydrologische Faktoren definiert werden, die fortlaufend auf Polarstern aufgezeichnet werden: Salzgehalt, Wassertemperatur und Wassertiefe. Nur drei Tage nach Auslaufen in Kapstadt hatten wir die nördliche Verbreitungsgrenze der Albatrosse erreicht. Die häufigste Art dieser Familie war der Weißkappenalbatross *Thalassarche cauta* (Abb. 1 links). Der Seevogel mit der größten Süd-Nord-Verbreitung, von 33° S bis 38° N, war der Gelbschnabelsturmtaucher *Calonectris diomedea* (Abb. 1 rechts oben). Hin und wieder werden Irrgäste weit auf dem offenen Ozean gesichtet, die Schiffe als Rastplatz nutzen. Unter anderem haben wir so einen jungen Wanderfalken *Falco peregrinus* beobachtet, der ein paar Tage mit uns auf Polarstern reiste (Abb. 1 rechts unten).



Abb. 1: (links) Weißkappenalbatross *Thalassarche cauta*; (rechts oben) Gelbschnabelsturmtaucher *Calonectris diomedea*, (rechts unten) Wanderfalke *Falco peregrinus*. © Simon Jungblut, PoE.



Während die Arterkennung bei Vögeln dadurch erleichtert wird, dass ihr Körper für das menschliche Auge komplett sichtbar ist, zeigen Meeressäuger oftmals nur einen kleinen Teil ihres Körpers über der Meeresoberfläche. Beispielsweise werden Pottwale *Physeter macrocephalus* (Abb. 2 links oben) und Finnwale *Balaenoptera physalus* (Abb. 2 links unten) in der Literatur anschaulich und imposant abgebildet, zeigen aber in der Realität nur die obersten Bereiche von Rücken und Kopf. Dies stellt eine Herausforderung für

Abb. 2: (links oben) Pottwal *Physeter macrocephalus*, (links unten) Finnwal *Balaenoptera physalus*, (rechts) Gemeiner Delfin *Delphinus delphis*. © Dominik Nachtsheim & Simon Jungblut, PoIE.

die Bestimmungsfertigkeiten des Beobachters dar, auch weil sich zum Beispiel viele Bartenwale relativ ähnlich sehen. Delfine (Abb. 2 rechts: Gemeiner Delfin *Delphinus delphis*) sind vermutlich die Meeressäuger, die am leichtesten zu bestimmen sind. Mit

eindrucksvollen Sprüngen zeigen sie oft sogar ihren kompletten Körper. Unabhängig von der Art muss der Beobachter manchmal auch ein wenig Glück haben, um das Tier und seine wesentlichen Bestimmungsmerkmale im richtigen Moment zu sehen.

Auf dem Reiseabschnitt von Gran Canaria nach Bremerhaven wurden ebenfalls eine Reihe von Instrumentenerprobungen durchgeführt. Neben einem umfangreichen Testprogramm für das Fächerecholot Hydrosweep DS3 kam insbesondere erstmalig der geschleppte Geräteträger Triaxus auf Polarstern zum Einsatz. Ziel war hier eine Erprobung des Geräts durch Kollegen vom AWI, dem Thünen-Institut und MBT-Kiel. Mit dem Triaxus ist es möglich, auch bei fahrendem Schiff die Wassersäule zu erproben. Dabei werden auf dem Triaxus verschiedene Sensoren, wie zum Beispiel Hydrographiesonden (so genannte CTD) oder Partikelmessgeräte (Laser Optical Partical Counter) installiert. Diese werden mit Hilfe des Triaxus vertikal undulierend - also im ZickZack rauf und runter – gefahren. Damit lassen sich auch kleinräumige Muster in den gemessenen Parametern erfassen – ein klarer Vorteil gegenüber der punktuellen Probennahme auf oft weit auseinanderliegenden Stationen. Während der Reise wurde der Triaxus auf verschiedenen Transekten und in unterschiedlichen Gerätekonfigurationen erfolgreich getestet.

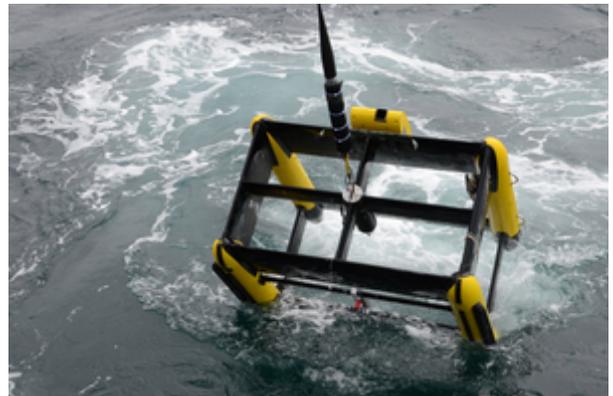


Abb. 3: Der geschleppte Geräteträger TRIAXUS wird in das Meer ausgesetzt. © Daniel Stepputtis, vTI.



Abb. 4: Blick auf einen der vier Schiffsdiesel im Maschinenraum. © Tilo Arnold, TROPOS.

Neben der Übersicht über die Wissenschaft möchten wir heute auch einen Blick ins Innere des Schiffs werfen. Im Prinzip können sich alle auf der Polarstern frei bewegen, nur die Maschinenräume sind aus Sicherheitsgründen tabu. Doch auch hier gab es für die Forschenden eine Gelegenheit, hinter die technischen Kulissen zu schauen und bis ganz hinab in bisher unbekannte Tiefen zu steigen. Der leitende Ingenieur Ole führte uns stolz durch sein Reich. Der Schiffsbauch ist für Laien ein einziges Gewirr an hellgrün gestrichenen Rohren und Anlagen. Hier geht es eng, heiß und laut zu. Eine Fahrt mit der Polarstern ist sozusagen ein Ritt auf einem Vulkan. Tief unten dröhnen vier kräftige Schiffsdiesel, von denen jeder 5000 PS leistet und locker mehrere Garagen ausfüllen könnte. Der Leitstand, von

dem aus die Anlagen gesteuert werden, erinnert stark an die Zentrale eines Kraftwerkes. Die bis zu 17.000 Tonnen Gesamtlast bei langen Expedition über die Meere und durchs Eis zu bewegen erfordert hinreichende Reserven: 4000 Kubikmeter Dieselmotoren hat die Polarstern gebunkert, wie die Seeleute sagen. Einheiten wie Liter pro Kilometer wären hier einfach die falsche Dimension. Pro Tag verbraucht der Forschungseisbrecher dabei bis zu 60 Kubikmeter, wenn er im Eis unterwegs ist. Diese Maschinen und ihre elf Mann zur Aufsicht sind der Garant, dass Polarstern über Monate lang unabhängig agieren kann. Aus dem Bauch des Schiffes kommen nicht nur die Stromversorgung – bis zu 7000 Kilowatt und damit genug für eine Kleinstadt – sondern auch 30 Kubikmeter Trinkwasser pro Tag, die mittels Umkehrosmose und Vakuumverdampfer aus dem Meerwasser gewonnen werden. Mit einem Bioreaktor gereinigt und mit ultraviolettem Licht desinfiziert wird das Abwasser dann wieder entsorgt, um die empfindlichen Ökosysteme in den Polargebieten nicht zu stören. Für diese Meere ist der Eisbrecher entsprechend verstärkt. Dennoch sind es gerade einmal reichlich fünf Zentimeter Wandstärke am Bug, das den Eismassen standhalten muss. Aber dafür Spezialstahl bester Qualität, wie Chefingenieur Ole die Wissenschaftler beruhigt.

Mit diesem Einblick ins Innenleben der Polarstern sind wir nun am Ende unserer Fahrt und der Wochenberichtsreihe angekommen. In Kürze werden wir in Bremerhaven an Land gehen, und uns nur noch im Rückblick mit Freude und etwas Wehmut an diese schöne und erfolgreiche Fahrt über den Atlantik erinnern. Wir danken den Lesern dafür, dass sie unsere Fahrt aus der Ferne aufmerksam mitverfolgt haben. Einige werden nun in Bremerhaven die Chance haben, die Orte des Geschehens selbst in Augenschein zu nehmen. Gleichzeitig wollen wir diese Stelle nutzen, um der Mannschaft um Kapitän Wunderlich unseren herzlichsten Dank auszusprechen: erst Eure Gastfreundschaft, Hilfsbereitschaft und Unterstützung haben diese Fahrt zu einem unvergesslichen Ereignis gemacht, nicht nur in wissenschaftlicher Hinsicht.

es grüßen zum letzten Male und von Herzen,

Eure Fahrtteilnehmer (siehe Abbildung 5)

Hartwig Deneke

(Fahrtleiter)



Abb. 5: Gruppenfoto der Wissenschaftler (oben) und Übersicht über die Mannschaft (unten). © Tilo Arnold, TROPOS, © Andreas Winter (Laeisz).