



Teil I Kurzbericht

MOSAIC 1 – AVANTI: Aerosolvariabilität über dem Nordpolarmeer und dem Meereis

Teilvorhaben B: Horizontale Variabilität und Zusammenhang der Aerosol-Eigenschaften mit den Oberflächen-Eigenschaften

- FKZ: 03F0865B
- ZE: TU Braunschweig, Institut für Flugführung
- Projektleiterin: Prof. Dr. Astrid Lampert
- Laufzeit / Berichtszeitraum: 01.11.2020 – 29.02.2024

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03G0865B gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen / den Autoren.

1. Aufgabenstellung sowie wissenschaftlicher und technischer Stand

Während der MOSAIC (Multidisciplinary drifting Observatory for the Study of Arctic Climate) - Expedition kam die Hubschrauber Schleppsonde HELIPOD mit neuer und erweiterter Sensorik zum Einsatz. Als allgemeines Hauptziel des Projekts AVANTI sollte die horizontale und vertikale Variabilität von Aerosol in der lokalen Umgebung des Forschungsschiffs *Polarstern* von Mai bis Juli 2020 untersucht und in Zusammenhang gebracht werden mit dem Untergrund. HELIPOD war dabei mit Aerosol-Messtechnik ausgestattet, um die Partikelanzahlkonzentration, Größenklassen, Partikelneubildung und optischen Eigenschaften von Aerosolpartikeln zu messen. Zur Identifizierung der Herkunft sollten lokale Quellen und Ferntransport analysiert werden.

Ausgangspunkt des Projekts AVANTI war, dass die komplexen Wechselwirkungen zwischen Aerosol, Oberfläche und Atmosphärendynamik noch nicht ausreichend verstanden sind. Die damit verbundenen Rückkopplungsmechanismen führen zu einer hohen Variabilität der Projektion des Arktischen Klimas durch verschiedene Klimamodelle. Ein Parameter mit großer Bedeutung in der Arktis ist Aerosol. Die Aerosolpartikel beeinflussen sowohl direkt die Strahlungsbilanz und damit auch die Oberflächentemperatur als auch die Entstehung und die Eigenschaften von Wolken.

Die Variabilität auf der regionalen Skala ist von großer Bedeutung, um die Repräsentativität der kontinuierlichen Aerosol-Messungen auf dem zentralen Observatorium *Polarstern* zu bewerten. Die Aerosol-Eigenschaften wurden in Abhängigkeit von der atmosphärischen Stabilität, der vorherrschenden Windrichtung, der Meereis-Beschaffenheit und dem biogeochemischen Zyklus analysiert.

2. Ablauf des Vorhabens

Insgesamt standen für die Analysen des Projekts AVANTI fünf Flüge mit dem HELiPOD an vier verschiedenen Tagen am 10. Mai, 30. Juni, 1. Juli und 2x am 22. Juli 2020 zur Verfügung. Dabei wurden Transekte in verschiedenen Höhen über dem Untergrund sowie vertikale Profile geflogen.

Die Nachprozessierung war komplexer als vorgesehen, da die Datenerfassung vor der MOSAiC-Expedition, bedingt durch neue Sensoren, umstrukturiert werden musste und auch während des Kampagnenzeitraums kontinuierlich weiterentwickelt wurde. Die Nachprozessierung des Datensatzes erfolgte durch das Institut für Flugführung der TU Braunschweig. Der komplette Datensatz von zwei Flügen wurde in der Weltdatenbank PANGAEA veröffentlicht (Pätzold et al., 2024), sowie eine technische Beschreibung des HELiPOD und der Abläufe der Datenprozessierung (Pätzold et al., 2023). Bei den 5 Flügen traten drei verschiedene charakteristische Aerosol-Eigenschaften auf:

Bei Flug 1 wurden beim Durchflug durch die Abgasfahne der Polarstern für arktische Verhältnisse sehr hohe Aerosol- und Rußkonzentrationen gemessen, so dass die Auswirkungen auf die arktische Umgebung untersucht werden können. Flug 2 und Flug 3 fanden während eines ausgeprägten Partikelneubildungs-Ereignisses statt, mit variabler Verteilung entlang der horizontalen Flugabschnitte. Erhöhte Werte können mit veränderten Eisbedingungen in Einklang gebracht werden. Während Flug 4 und 5 war überwiegend Aerosol in etwas größerem Bereich vorhanden, zusammen mit einem Low-Level Jet und einer sehr niedrigen atmosphärischen Grenzschicht. Rückwärts-Trajektorien zeigen im letzten Fall die Herkunft aus der zentralen Arktis, so dass es sich um schwache lokale Aerosol-Quellen handelt. Die Partikel-Konzentration war während eines Flugabschnitts variabel und erhöht beim Rückflug in Richtung *Polarstern*. Auch die Absorption wurde als Indikator für Ruß bestimmt. Die Signale befinden sich im Bereich der Nachweisgrenze, so dass ein Einfluss von lokaler Verschmutzung sowie Ferntransport in Bodennähe ausgeschlossen werden kann. Darüber hinaus wurden Kamera-Bilder von Schmelztümpeln auf biologische Aktivität untersucht, was ein Hinweis auf Vorläufergase für Partikelneubildung liefern könnte. Die abschließende wissenschaftliche Untersuchung der ersten drei Flüge basiert noch auf vorläufigen Daten, die nach Abschluss der zeitlichen Synchronisation final nachprozessiert werden und die Basis für weitere Publikationen liefern.

3. Wesentliche Ergebnisse

Zu den wesentlichen Ergebnissen, die innerhalb des Projekts AVANTI und in Zusammenarbeit mit anderen Projekten und Einrichtungen gewonnen wurden, zählen:

- ✓ Publikation von nachprozessierten, lagekorrigierten Datensätzen von meteorologischen Parametern, Aerosol- und Spurengaskonzentrationen, Strahlungs- und Oberflächendaten für 2 Flüge am 22.7.2020 mit Metadaten und Dokumentation in der Weltdatenbank PANGAEA
- ✓ Publikation eines Überblicks über das Konzept, die technische Umsetzung, die Messtechnik und Datenprozessierung von HELiPOD bei der Zeitschrift *Elementa*
- ✓ Vorstellung der Ergebnisse auf Workshops und Konferenzen
- ✓ Vorbereitung einer Publikation mit Fallbeispielen bei der Zeitschrift *Earth System Science Data*
- ✓ Weiterentwicklung von Konzepten zur nachträglichen Synchronisation von komplexen Datensätzen

Teil II Eingehende Darstellung

MOSAic 1 – AVANTI: Aerosolvariabilität über dem Nordpolarmeer und dem Meereis

Teilvorhaben B: Horizontale Variabilität und Zusammenhang der Aerosol-Eigenschaften mit den Oberflächen-Eigenschaften

- FKZ: 03F0865B
- ZE: TU Braunschweig, Institut für Flugführung
- Projektleiterin: Prof. Dr. Astrid Lampert
- Laufzeit / Berichtszeitraum: 01.11.2020 – 29.02.2024

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03G0865B gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen / den Autoren.

II. Eingehende Darstellung

1. Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse im Einzelnen mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Die übergeordneten Ziele des Projekts AVANTI sind:

- Analyse des zusätzlichen Aerosol-Datensatzes von HELiPOD und BELUGA-CAMP
- Erstellung eines 3D-Bildes der vertikalen und horizontalen Aerosol-Verteilung durch Kombination der horizontalen Aerosol-Messungen von HELiPOD, der vertikalen Aerosol-Messungen von BELUGA-CAMP und der Aerosol-Messungen an Bord von Polarstern
- Kombination der schiffsnahen Messungen mit weiteren Messstationen in der Arktis, auf dem Zeppelin-Observatorium in Spitzbergen (ZEP) und der Villum Research Station (VRS) in Nordgrönland und Einbettung der Variabilitätsmessungen im Kontext eines pan-arktischen Datensatzes
- Identifikation von Quellen für Partikel und Bestimmung des Beitrags von Ferntransport und lokaler Partikelneubildung in der zentralen Arktis
- Identifikation von bevorzugten Höhenbereichen, Wetterlagen und Meereisbedingungen sowie biogeochemischen Voraussetzungen für Partikelneubildung
- Bestimmung der zeitlichen und räumlichen Variabilität von Aerosolkonzentration und -eigenschaften über dem Nordpolarmeer
- Analyse der Interaktion von Aerosol, Dynamik der Atmosphäre, Meereis und Biogeochemie

Die Ziele wurden in vier Arbeitspaketen bearbeitet.

Dazu wurden sechs Meilensteine definiert. Die Arbeiten am IFF zum Erreichen der einzelnen Meilensteine sind im Folgenden dargestellt. Die Arbeiten am TROPOS sind im eigenen Abschlussbericht zusammengefasst.

Meilenstein M1: Abschluss der Kalibrationen, des Gerätevergleichs und der Nachprozessierung der Aerosol-Daten von HELiPOD und CAMP nach der Kampagne

Aufbereitung Messdaten:

Die Hubschrauber-Schleppsonde HELiPOD ist mit einer Vielzahl an Sensoren ausgerüstet, die im Messflug Daten sammeln (Abb. 1).

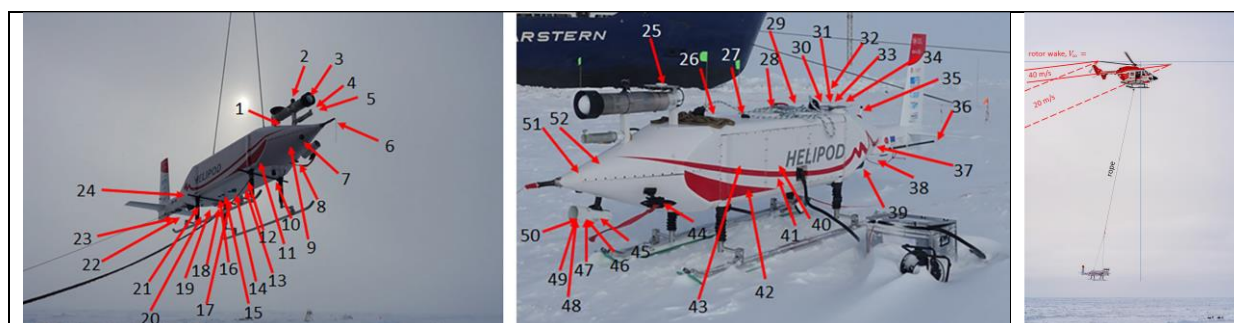


Abb. 1: Die Hubschrauber-Schleppsonde HELiPOD mit einer Vielzahl an Sensoren, sowie im Messbetrieb (Pätzold et al., 2023). Die für das Projekt AVANTI relevanten Sensoren sind im Rumpf untergebracht und erhalten Luft über das Aerosol-Inlet (1) Fotos aus Pätzold et al., 2023.

Eine Übersicht über die Aerosol-Sensoren im HELiPOD bietet Tabelle 1.

Tabelle 1: Übersicht über die in HELiPOD installierten Aerosol-Sensoren, sowie Größenbereich, Auflösung und Genauigkeit.

Parameter	Company	Sensor	Size, Wavelength (nm)	Resolution (Hz)	Comments	Accuracy	No.
Number concentration	TSI	3007	>5	1	Via thermodenunder	±20%	nn
Number concentration	TSI	3007	>11	1	Via thermodenunder	±20%	nn
Number concentration	MetOne	GT-526S	>300	1	Via thermodenunder	±15%	nn
Number concentration	TSI	3007	>5	1	No thermodenunder	±20%	nn
Number concentration	TSI	3007	>10	1	No thermodenunder	±20%	nn
Number concentration	MetOne	GT-526S	>300	1	No thermodenunder	±15%	nn
Absorption coefficient	Brechtel	9406	450, 525, 624	1	Direct inlet	±0.2 M m ⁻¹	nn

Die Anordnung der Aerosol-Sensoren im Rumpf des HELiPOD ist in Abb. 2 dargestellt.

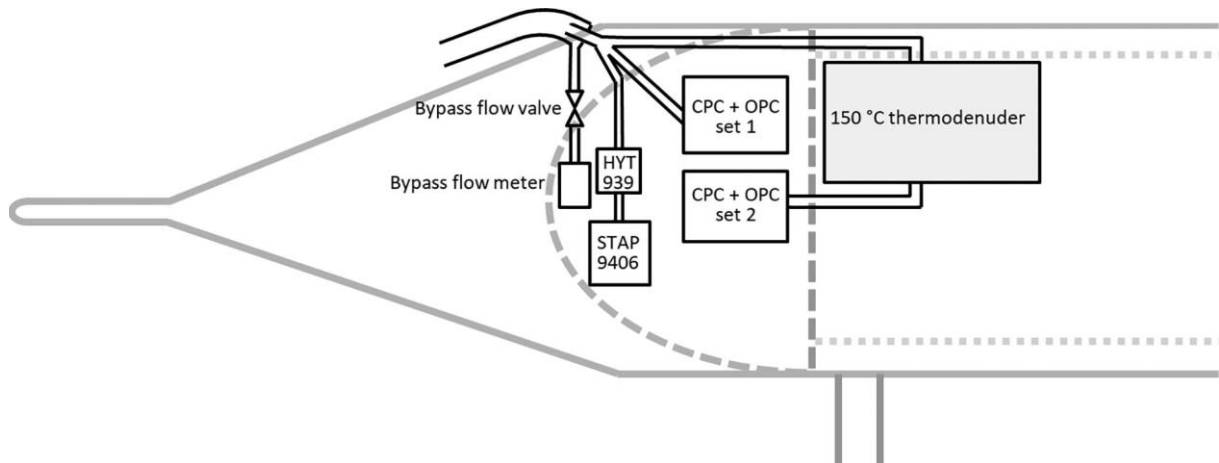


Abb. 2: HELiPOD-Aerosol-Sensoren und Einlass-System während MOSAiC, Grafik aus Pätzold et al. (2023).

Insgesamt stehen für die Analysen des Projekts AVANTI 5 Flüge mit dem HELiPOD an 4 verschiedenen Tagen zur Verfügung. Für zwei von den fünf Flügen wurden die HELiPOD-Daten fertig nachprozessiert. Die Nachprozessierung ist aufwendiger als geplant, da die Datenerfassung vor der MOSAiC-Expedition neu aufgesetzt wurde und kontinuierlich weiterentwickelt wurde. Für jeden Flug kam daher ein anderer, verbesserter Stand an Software zum Einsatz. Die beiden letzten Flüge mit dem neuesten Software-Stand sind dabei am einfachsten zu prozessieren. Für die früheren Flüge werden Decoder angepasst und Sprünge im Zeitsignal bereinigt. Sehr hilfreich war für die Prozessierung die Durchführung von weiteren HELiPOD-Flügen im Rahmen von anderen Projekten, um das System der Synchronisation nachzuvollziehen.

Ein Überblick über die Datenprozessierung ist in Abb. 3 dargestellt. Für die Flüge 4 und 5 wurde die Nachprozessierung der Daten abgeschlossen.

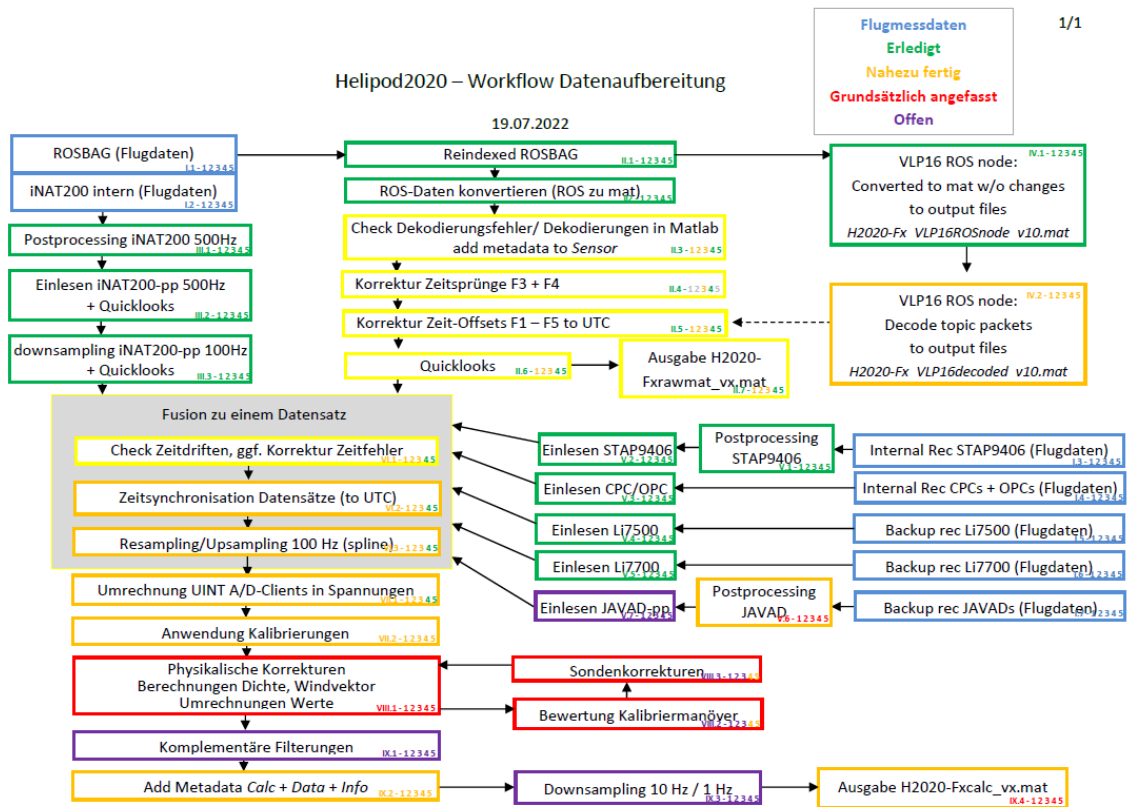


Abb. 3: Schritte der Datenprozessierung und farblich kodiert Fortschritt für die Flüge insgesamt. Flug 4 und Flug 5 sind vollständig nachprozessiert.

Tabelle 2 bietet einen Überblick über die durchgeführten Flüge und den jetzigen Datenstatus.

Tab. 2: Überblick über die durchgeführten HELiPOD-Flüge bei MOSAiC im Frühjahr/Sommer 2020, inbegriffen Datenstatus und auffälligen Beobachtungen, die während Flug 1 hinter der Abgasfahne der Polarstern stattfanden, bei einem Partikelneubildungsevent während der Flüge 2 und 3 sowie bei Bedingungen einer sehr niedrigen und stabilen Atmosphärischen Grenzschicht (AGS), welche die atmosphärischen Parameter in der Vertikalen während der Flüge 4 und 5 beeinflusste.

HELiPOD Flug	Datum	MOSAIC Leg	Datenverfügbarkeit	Beobachtungen
1	10. Mai 2020	3	In Bearbeitung	Abgasfahne Polarstern
2	30. Juni 2020	4	In Bearbeitung	Partikelneubildung
3	1. Juli 2020	4	In Bearbeitung	Partikelneubildung
4	22. Juli 2020	4	Veröffentlicht	AGS
5	22. Juli 2020	4	Veröffentlicht	AGS

Verluste in Einlass- und Leitungssystemen:

Das gesamte Aerosol-Set des HELiPOD wurde wie im Messbetrieb ans TROPOS übergeben. Abb. 2 und 4 zeigen den Einlass und die Position der Aerosol-Sensoren im HELiPOD. Für die Kalibrierung

wurde eigens ein Gestell konstruiert, auf dem die Komponenten und Leitungen des Aerosol-Sets räumlich so zueinander angeordnet wurden, wie dies im HELiPOD der Fall war. Die Verluste in Einlass- und Leitungssystemen wurden mit künstlich erzeugten Partikeln charakterisiert, die sowohl direkt in die Sensoren eingeleitet wurden als auch zum Vergleich über das Einlass- und Leitungssystem. Die Korrekturfaktoren wurden in die Nachprozessierung der HELiPOD-Datensätze aufgenommen.

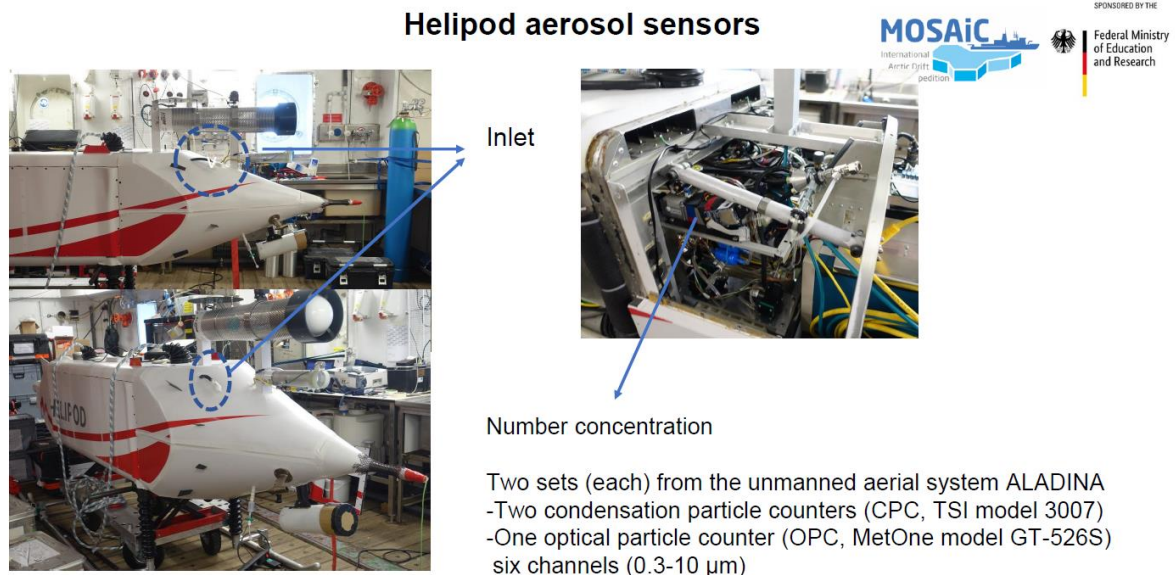


Abb. 4: HELiPOD-Aerosol-Sensoren und Einlass-System.

Partikelanzahlkonzentrationen für verschiedene Größenklassen (CPC, OPC):

Die Kondensationskern-Zähler (Condensation particle counter, CPC) von HELiPOD und BELUGA-CAMP wurden am TROPOS einzeln bezüglich ihrer Zähleffizienz für unterschiedliche Aerosol-Durchmesser charakterisiert, und daraus wurden Korrekturfaktoren abgeleitet (Abb. 5). Die Korrekturfaktoren wurden in der Datenprozessierung für den HELiPOD-Datensatz eingepflegt. Die optischen Partikelzähler (optical particle counter, OPC) wurden am TROPOS mit verschiedenen Referenzgeräten für verschiedene Größenklassen kalibriert.

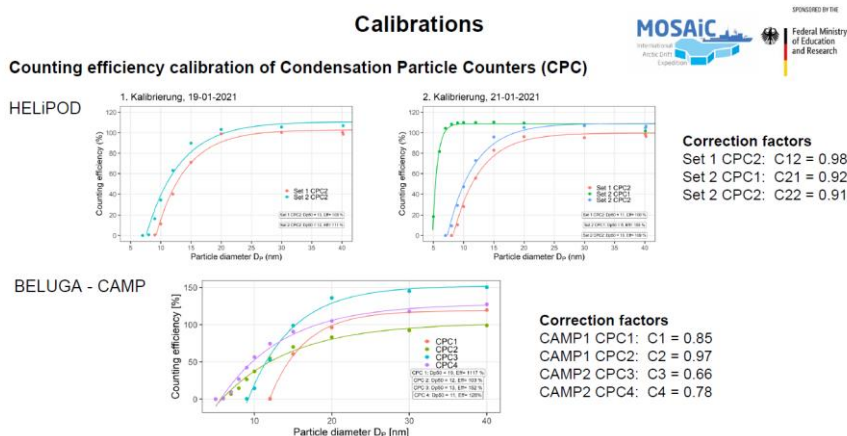


Abb. 5: Zähleffizienz der Kondensationskernzähler auf HELiPOD und BELUGA-CAMP.

Optische Eigenschaften (STAP):

Die Absorptions-Photometer zur Bestimmung von Ruß (equivalent black carbon, eBC) wurden am TROPOS mit Referenz-Messgeräten verglichen und für die verschiedenen Wellenlängen ebenfalls Korrekturfaktoren bestimmt (Abb. 6). Die Korrekturfaktoren wurden in der Datenprozessierung für den HELiPOD-Datensatz eingepflegt.

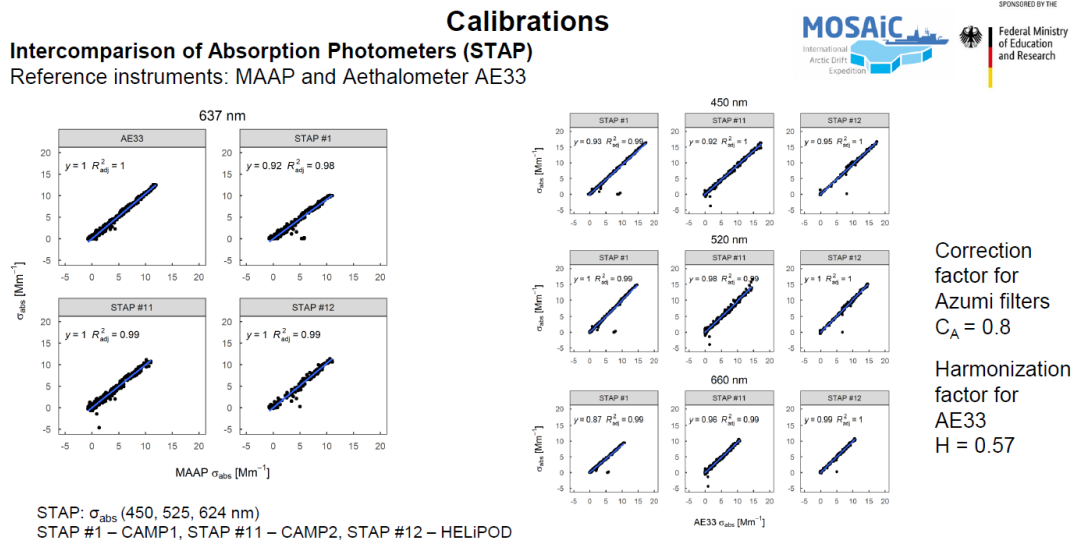


Abb. 6: Vergleich der auf HELiPOD und BELUGA-CAMP eingesetzten Absorptionsphotometer vom Typ STAP (Single channel Tricolor Absorption Photometer) für verschiedene Wellenlängen (blau, rot, grün) mit Referenzgeräten MAAP und AE33.

Volatilität:

Auf HELiPOD kamen zwei Sets von Aerosolgeräten zum Einsatz, davon wurde eines direkt mit Außenluft angeströmt, bei dem anderen Set wurde der Luftstrom zunächst durch einen Thermodenuder geleitet, der auf 150° beheizt wurde. Flüchtige Partikel lösten sich bei den Temperaturen auf, so dass eine Aussage zu nicht-flüchtigen Komponenten getroffen werden kann. Im Zuge der Kalibration am TROPOS wurden die Leitungsverluste beim Betrieb über den Thermodenuder quantifiziert.

Insgesamt stehen für die Analysen des Projekts AVANTI 5 Flüge mit dem HELiPOD an 4 verschiedenen Messtagen (Abb. 7) und 33 Aufstiege mit dem Fesselballon BELUGA an 13 verschiedenen Tagen zur Verfügung. Mit HELiPOD liegt insgesamt ein Datensatz von ca. 6,5 Stunden vor. Der Betrieb fand mit einer sicheren Entfernung zur *Polarstern* (mind. 100 m) vom Eis aus statt. Die Flüge wurden in Bodennähe (ca. 20 m über Eis), mit konstanter Höhe bis zu einer Entfernung von 60 km von der Forschungsschiff *Polarstern* durchgeführt. Bei den Flügen trat eine hohe Variabilität der Eisoberfläche auf und verschiedene Wetterbedingungen (wolkenlos und niedrige Bewölkung).

Tab. 3 gibt einen Überblick über die Flugzeiten, die Höhe von den geflogenen Vertikalprofilen und von horizontalen Abschnitten (GPS-Höhe, also Höhe über dem Geoid, ca. 40 m geringere Höhe über der Oberfläche).

Tab. 3: Überblick über Flugzeiten und Flughöhen.

Flight ID	Date in 2020	Flight period (UTC)	Vertical profile (m)	Horizontal leg (m)	MOSAIC leg
1	10 May	11:30-12:31	400	60	3
2	30 June	14:42-16:31	1500	60	4
3	1 July	12:34-14:20	1500	180, 80, 60	4
4	22 July	11:56-12:53	no	70, 50	4
5	22 July	13:16-14:19	no	70, 50	4

Abb. 7 bietet einen Überblick über die Orte, an denen Flüge durchgeführt wurden, sowie die typische Eisbedeckung zu den Ereignissen am 30. Juni 2020 sowie am 22. Juli 2020 (Kamerabilder). Am 22. Juli 2020 war ein gemeinsamer Messtag mit BELUGA-CAMP mit einem zeitlichen Versatz von ca. 4.5 h.

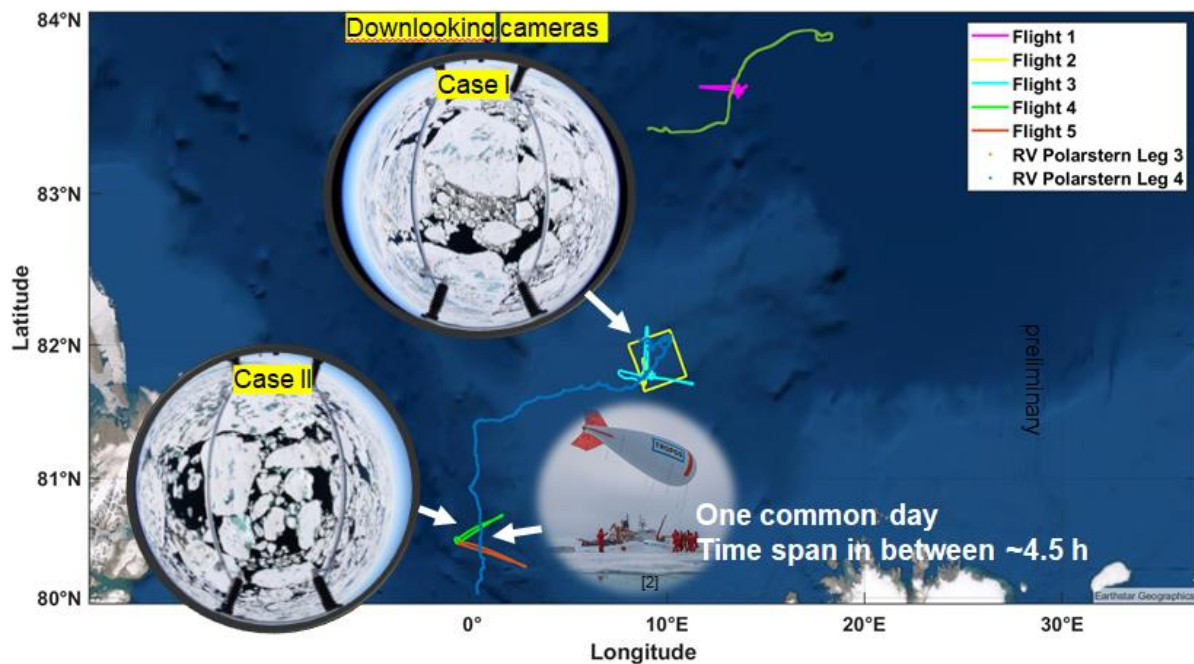


Abb. 7: Überblick über die Trajektorien der Flüge und Eisbedingungen aus den nach unten gerichteten Kameraaufnahmen.

Meilenstein M2: Veröffentlichung der Aerosol-Daten von HELiPOD und CAMP auf PANGAEA

Das komplexe Nachprozessieren der Daten wurde für Flug 4 und Flug 5 abgeschlossen, und die Daten von Flug 4 und Flug 5 sind bereits auf PANGAEA veröffentlicht (Pätzold et al., 2024). Bei Flug 1-3 ist die zeitliche Synchronisation noch nicht abgeschlossen. Aktuell wird basierend auf den Arbeiten im Projekt ALIBABA an einem Verfahren gearbeitet, um über die Daten des Laserscanners eine Referenzzeit zu generieren und die Lagewinkel der Inertialmessplattform mit den Lagewinkeln, die durch den Laserscanner abgebildet werden, zu synchronisieren. Die Datenprozessierung von Flug 1-3 soll nach

Projektende weiterverfolgt werden. Eine wissenschaftliche Publikation zur Erläuterung der HELiPOD-Datensätze bei der Zeitschrift Earth System Science Data ist in Vorbereitung.

Meilenstein M3: Abschluss der Untersuchungen zur vertikalen und horizontalen Variabilität von Aerosol und Abschluss des Vergleichs von HELiPOD- und CAMP-Aerosoldaten mit denen der Polarstern und weiteren pan-Arktischen Stationen

Ein Überblick über die Aerosol-Eigenschaften während der verschiedenen Flüge wurde mit Hilfe von kontinuierlichen Daten an Bord der *Polarstern* gewonnen. Insgesamt können die 5 Flüge in 3 verschiedene Aerosol-Eigenschaften eingeteilt werden (Tab. 2):

Bei Flug 1, der noch nicht fertig synchronisiert wurde, sind hohe Werte von Ruß und für arktische Verhältnisse sehr hohe Aerosolkonzentrationen zu erwarten, da ein Flugabschnitt durch die Abgasfahne des Schiffes geflogen wurde.

Flug 2 (30.6.2020) und Flug 3 (1.7.2020) fanden während eines ausgeprägten Partikelneubildungs-Ereignisses über zwei Tage hinweg statt. Zur Zeit der HELiPOD-Flüge wird erwartet, dass die Konzentrationen der Kondensationskernzähler deutlich erhöht sein sollten. Allerdings war der von den anderen Geräten gemessene Größenbereich des Gesamtaerosols im Bereich > 10 nm aufgrund des kontinuierlichen Wachstums, so dass die Unterschiede zwischen den beiden Kondensationskernzählern gering sein sollten (Abb. 8).

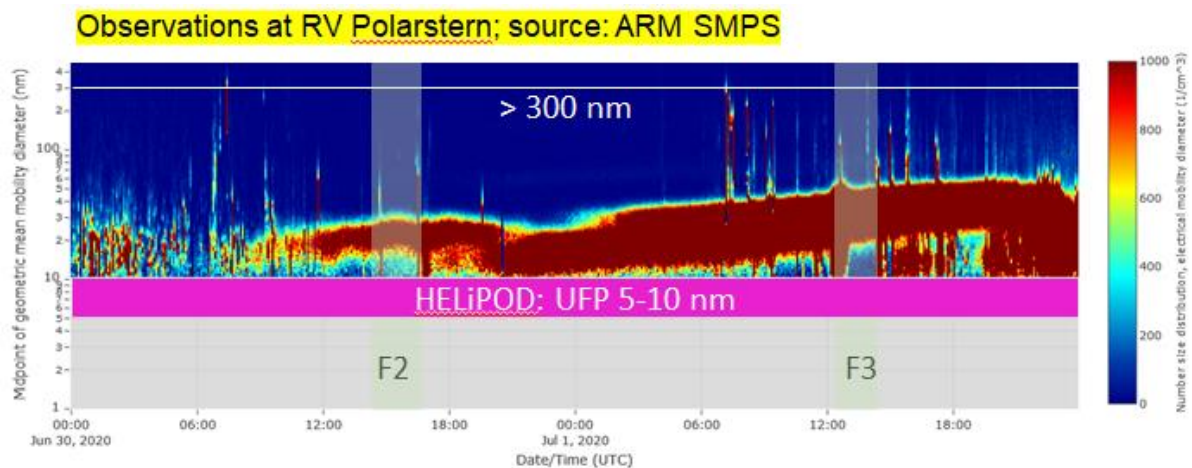


Abb. 8: Aerosol-Größenverteilung gemessen an Bord des Forschungsschiffes am 30. Juni/1. Juli 2020 während der HELiPOD Flüge 2 und 3 (Zeitreihe F2 sowie F3 in grün markiert).

Während der HELiPOD Flüge 4 und 5 war überwiegend Aerosol im Größenbereich von 80 nm in den *Polarstern*-Daten zu sehen (Abb. 8). Dazu trat ein länger dauernder Low-Level Jet (LLJ) auf, der durch eine sehr niedrige AGS begünstigt wurde.

Die Größenverteilung ist in Abb. 9 dargestellt.

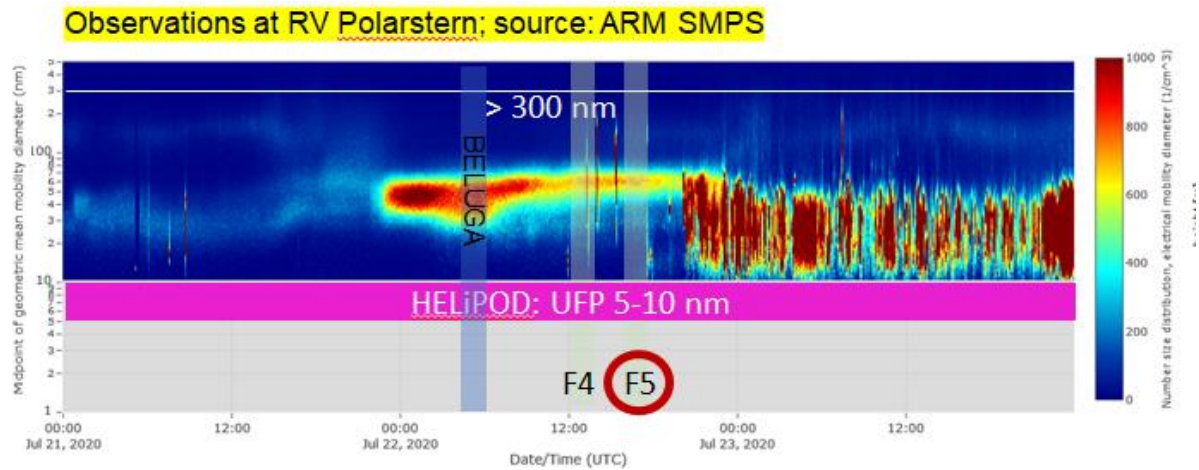


Abb. 9: Aerosol-Größenverteilung am 22. Juli 2020 während der HELiPOD Flüge 4 und 5 (Zeitreihe F4 und F5 in grün markiert, BELUGA-CAMP Aufstieg in blau).

Erste Vergleiche der vertikalen und horizontalen Variabilität wurden für den 22.7.2020 durchgeführt, an dem sowohl HELiPOD- als auch BELUGA-Daten verfügbar sind. Zusätzlich werden die HELiPOD- und BELUGA-Messungen in den Kontext der kontinuierlichen Messungen auf der *Polarstern* gesetzt.

Meilenstein M4: Abschluss der Untersuchungen von Aerosol in Abhängigkeit von Rückwärtstrajektorien

Mit Hilfe von Rückwärtstrajektorien wurde die Herkunft der Luftmassen untersucht. Erste Ergebnisse zeigen, dass es an verschiedenen Tagen zu Ferntransport von Waldbrand-Aerosol in die Arktis kam und eine erhöhte Partikelkonzentration gemessen wurde.

Abb. 10 zeigt 5-Tage-Rückwärtstrajektorien für den 22. Juli 2020, für die Höhe und Zeit des Low-Level Jet. Es ist zu erkennen, dass die Luftmassen überwiegend aus der zentralen Arktis stammen, so dass sie sehr sauber sind.

5d backward trajectories 20200722_06

$N_{total}=192$ $N_{shown}=192$

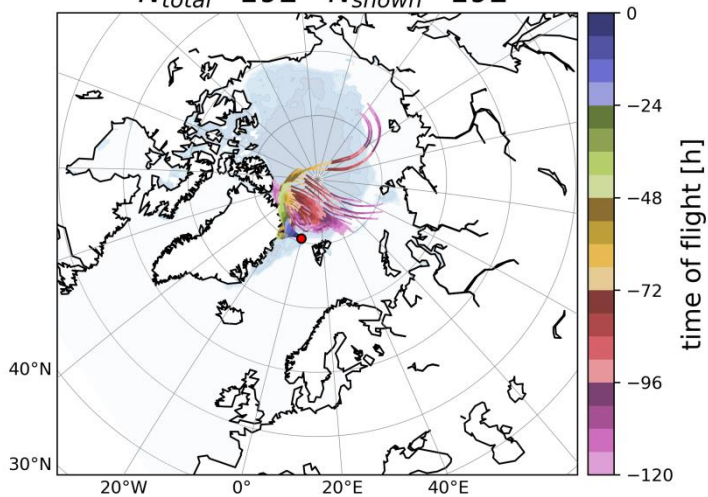


Abb. 10: Rückwärts-Trajektorien für den 22.7.2020

Meilenstein M5: Abschluss der Analysen zur Interaktion von Oberfläche und Aerosol

Für die Flüge 4 und 5 wurden im Projekt ALIBABA Albedo-Werte berechnet, und mit den Oberflächeneigenschaften in Verbindung gebracht. Bei zwei verschiedenen Flügen (Abb. 9, Abb. 11) besteht die Vermutung, dass die Aerosol-Eigenschaften maßgeblich von der inhomogenen Eis-Oberfläche abhängen. In Zusammenarbeit mit dem Projekt ALIBABA wird aktuell der Zusammenhang geprüft. Dafür werden die Zeitreihen der Aerosol-Konzentration mit den Produkten der Eisklassifizierung und Albedo korreliert.

Darüber hinaus wurden im Rahmen der Bachelorarbeit von Laura Maylin Bausch Hinweise auf biologische Aktivität anhand von ausgewählten Kamera-Bildern untersucht. Auf den Bildern der Fischaugen-Kamera wurden zunächst Schmelztümpel und Schmelzwasserkanäle identifiziert (Abb. 11). Die Farbe, Form, Größe und Bedeckung der Schmelztümpel werden u.a. von der verfügbaren Wassermenge, Witterungsbedingungen und Topografie der Eisoberfläche bedeckt. Durch Phytoplankton entsteht in Meerwasser, im Meereis und in Schmelztümpeln das biogene Spurengas DMS, das beim Übergang in die Atmosphäre zu SO_2 oxidiert wird und eine große Rolle bei der Entstehung von Partikeln spielt.

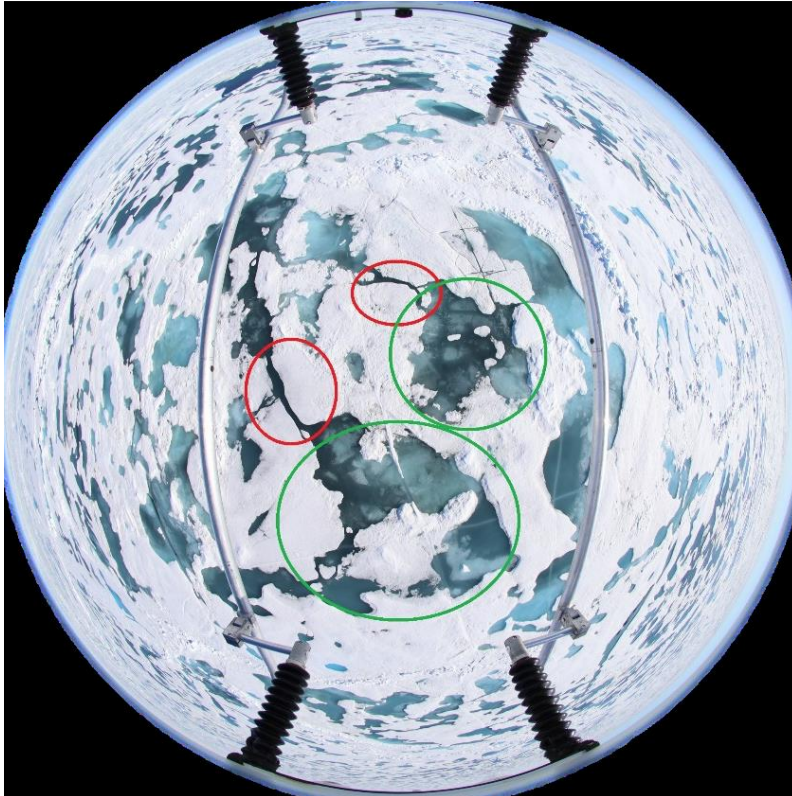


Abb.11: Beispiel für Schmelztümpel (grün) und Schmelzwasserkanäle (rot) im Meereis.

Die Bilder der Fischaugen-Kamera wurden im Projekt ALIBABA geometrisch entzerrt und im Öffnungswinkel begrenzt. Für die Bachelorarbeit wurden die Bilder im Anschluss im RGB-Farbraum analysiert. Dabei werden biologisch aktive Flächen über die Verteilung der Pixel im RGB-Farbraum identifiziert. Abb. 12 liefert Beispiele für die Fläche von Habitaten für Mikroorganismen.

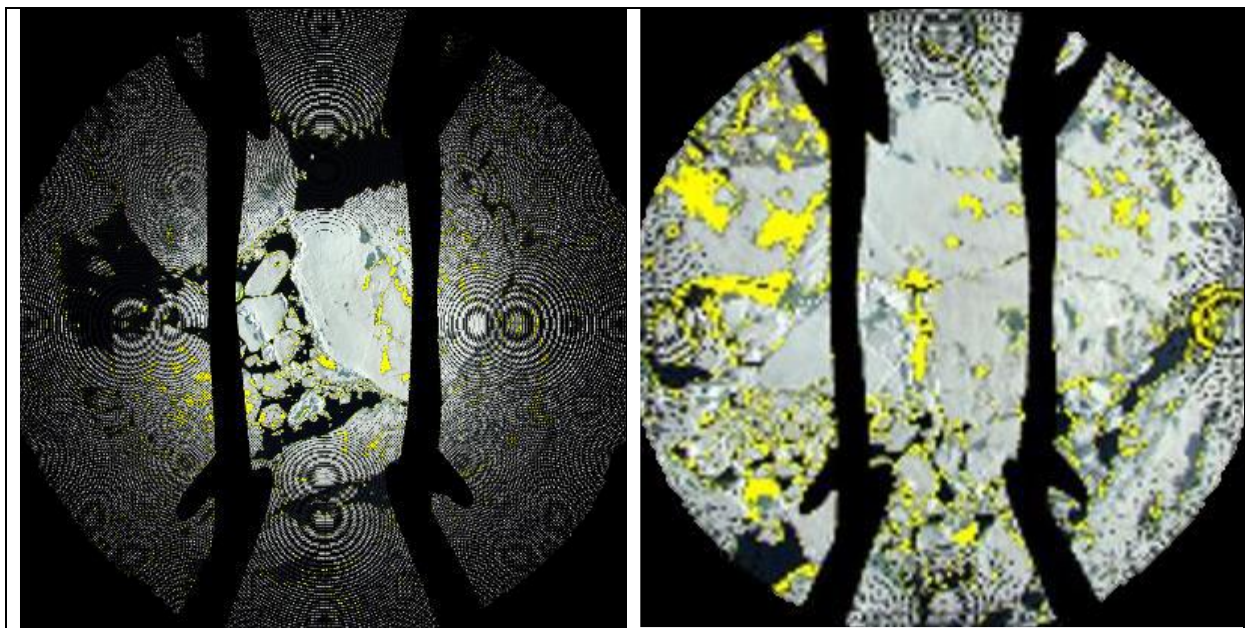


Abb. 12: Beispiele für die Identifizierung von biologisch aktiven Flächen mit einem Anteil von 1,6% der Fläche (links) und 1% der Fläche (rechts)

Für Flug 3 wurde wie aufgrund der kontinuierlichen Schiffsmessungen erwartet eine hohe Konzentration gemessen (Abb. 13). Die Konzentration der kleinen Partikel mit einem Durchmesser von 5 bis 10 nm ist sehr variabel entlang eines Flugabschnitts auf konstanter Höhe. Die ab ca. 12:54 UTC erhöhte Konzentration könnte mit veränderten Eisverhältnissen, z.B. größeren Bereichen mit offenem Wasser, in Verbindung stehen. Die Position der erhöhten Messwerte wird im nächsten Schritt mit Kamera-Bildern und Zeitreihen der Eis-Konzentration zusammen mit dem Projekt ALIBABA abgeglichen.

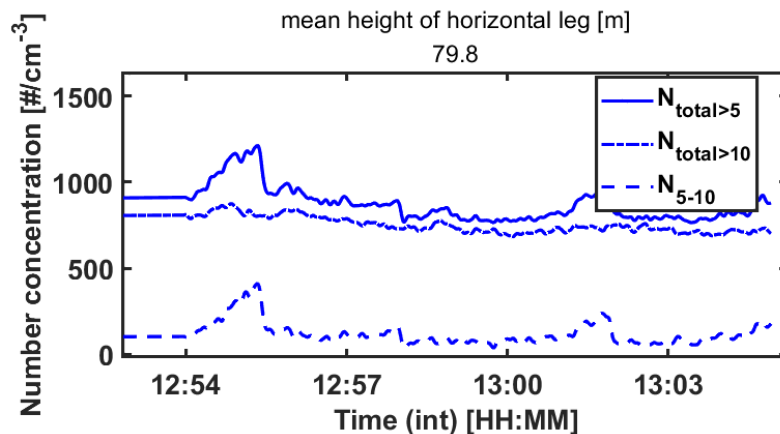


Abb. 13: Partikelanzahlkonzentration von kleinen Partikeln mit Durchmesser 5 bis 10 nm sowie Gesamtanzahlkonzentration während eines horizontalen Flugabschnitts bei Flug 3.

Die größeren Partikel (>300 nm), gemessen mit dem OPC, wiesen nur niedrige Konzentrationen auf, die sich im Bereich der Nachweisgrenze bewegen (Abb. 14).

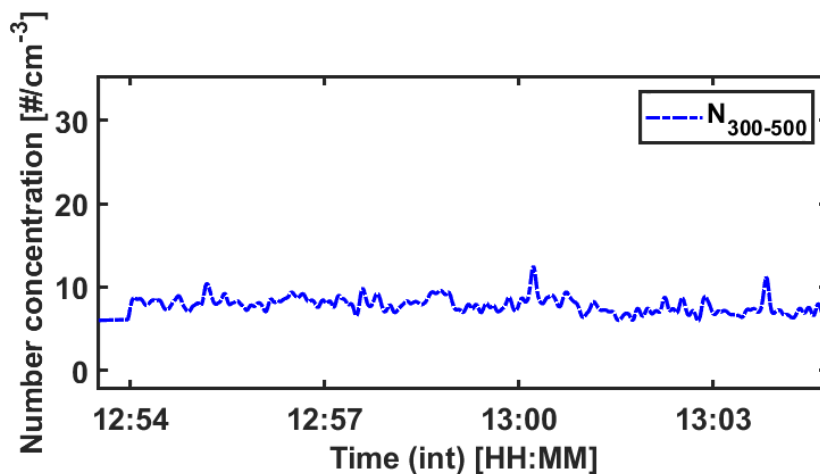


Abb. 14: Partikelanzahlkonzentration gemessen mit einem OPC im Größenbereich 300-500 nm.

Während des LLJ-Ereignisses am 22. Juli 2020 konnten mit BELUGA-Profilen in der Höhe des LLJ-Kerns erhöhte Konzentrationen von kleinen Partikeln nachgewiesen werden. Die Partikel-Konzentration war während eines Flugabschnitts stark variabel und erhöht beim Rückflug in Richtung *Polarstern* (Abb. 15, oben links). Aus dem STAP wurde der Absorptions-Wirkungsquerschnitt für drei Wellenlängen (grün, rot, blau) bestimmt. Die Signale befinden sich im Bereich der Nachweisgrenze, die bei 20 Mm^{-1} liegen, so dass ein Einfluss von lokaler Verschmutzung sowie Ferntransport in Bodennähe ausgeschlossen werden kann.

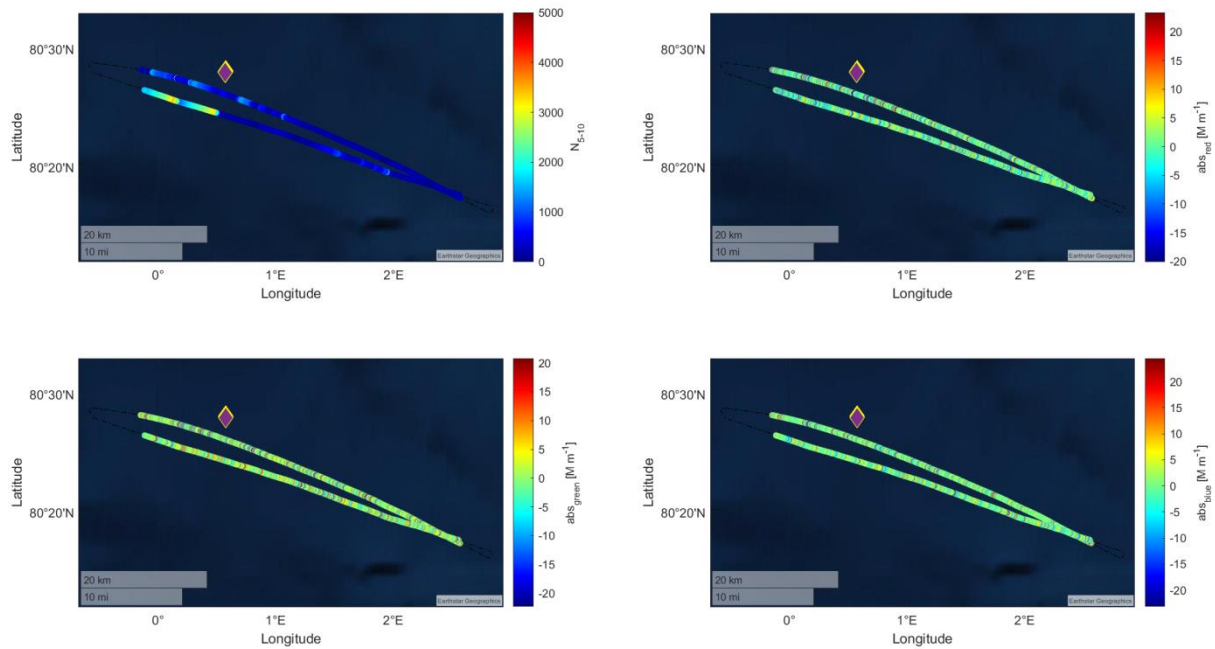


Abb. 15: Räumliche Variabilität der Aerosol-Konzentration für kleine Partikel mit 5-10 nm Durchmesser sowie der Absorptionswirkungsquerschnitt für drei Wellenlängen am 22. Juli 2020.

Auch hier soll der Zusammenhang mit der Eisoberfläche hergestellt werden, sowie mit Rückwärtstrajektorien zur Identifizierung unterschiedlicher Luftmassen.

Meilenstein M6: Einreichen wissenschaftlicher Publikationen zur räumlichen Variabilität, Ferntransport und Transformation, sowie zur Abhängigkeit der Partikelneubildung von der Oberfläche

Aktuell ist eine wissenschaftliche Arbeit zu den Flügen 4 und 5 in Vorbereitung für die Zeitschrift Earth System Science Data (Asmussen et al., 2024). Dort werden einzelne Fallbeispiele zur Aerosol-Verteilung vorgestellt und wissenschaftlich analysiert. Zusätzlich ist im Projekt ALIBABA eine Veröffentlichung zur Ableitung von Oberflächen-Parametern basierend auf Laserscanner-Daten in Begutachtung (Bollmann et al., 2024). Diese Zeitreihen der Rauigkeit und der Verteilung von Eis, Wasser und Schmelztümpeln entlang des Flugwegs sollen in der Publikation ebenfalls berücksichtigt werden.

2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die Personalkosten für wissenschaftliche Mitarbeiter stellen die größte Position dar. Daneben folgen Personalkosten für studentische Hilfskräfte. Aufgrund der Einschränkungen durch Corona und entsprechende Online-Projekttreffen und virtuelle Konferenzen wurden nur wenig Mittel für Reisen benötigt, dafür mehr für Personal. Ein kleiner Posten entstand durch den Versand von Aerosol-Geräten zur Kalibration, statt persönlich zu reisen.

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der Arbeit

Die im Antrag beschriebenen Arbeiten wurden mit Einschränkungen durchgeführt. Ein großer zusätzlicher Aufwand entstand durch die aufwendige Nachprozessierung der zeitlichen Synchronisation des HELiPOD-Datensatzes. Aufgrund der Verzögerungen wurde eine kostenneutrale Verlängerung beantragt.

4. Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des Verwertungsplans

Die wissenschaftliche Verwertung des Projekts AVANTI besteht in Veröffentlichungen. Aufgrund der Verzögerungen in der Nachprozessierung der Flüge 1-3 konnte noch keine Veröffentlichung fertiggestellt werden, aber eine Beschreibung der Datensätze mit wissenschaftlichen Anwendungen ist in Vorbereitung.

Die Projektergebnisse sind an der TU Braunschweig in die Ausbildung von Studierenden eingeflossen, u.a. über die Vorlesungen „Flugmeteorologie“ und „Meteorologie“, sowie eine Studienarbeit. Mehrere studentische Hilfskräfte waren an der Durchführung des Projekts beteiligt.

Studentische Arbeiten:

Laura Maylin Bausch: Bildgestützte Identifikation biologischer Aktivität im arktischen Meereis während der MOSAiC Expedition, Bachelorarbeit, TU Braunschweig, 49 S., 2022.

Konferenzbeiträge:

Harm-Altstädter, B., Pilz, C., Bollmann, S., Pätzold, F., Bretschneider, L., Bärfuss, K., Käthner, R., Wehner, B., Jurányi, Z., Herber, A., and Lampert, A.: Observations of spatially distributed aerosol particles measured with HELiPOD and BELUGA during MOSAiC on 22 July 2020, European Aerosol Conference, Malaga, Spain, 3-8 September 2023.

Harm-Altstädter, B., Asmussen, M. O., Pilz, C., Pätzold, F., Bretschneider, L., Käthner, R., Wehner, B., and Lampert, A.: Observations of the spatial distribution of aerosol particles based on the helicopter-borne system HELiPOD during MOSAiC in 2020, 2nd MOSAiC Science Conference, Boulder, 13-17 February, 2023.

Harm-Altstädter, B., Pilz, C., Pätzold, F., Bretschneider, L., Bollmann, S., Schlerf, A., Asmussen, M. O., Bärfuss, K., Käthner, R., Wehner, B., and Lampert, A.: Investigating the horizontal and vertical variability of aerosol particles affected by a shallow atmospheric boundary layer observed with two airborne systems during MOSAiC, Arctic Science Summit Week (Vienna and online), 17-24 February, 2023.

Asmussen, M., Pätzold, F., Bretschneider, L., Sperzel, T., Jäkel, E., Wiekenkamp, I., Sachs, T., and Lampert, A.: Wind and Turbulence Characteristics along the Flight Paths of the Helicopter-Borne Probe HELIPOD during the MOSAiC Expedition, AGU Fall Meeting, Chicago, USA, 12-16 December 2022.

Harm-Altstädter, B., Bollmann, S., Bärfuss, K., Schlerf, A., Pätzold, F., Bretschneider, L., Asmussen, M. O., Pilz, C., Käthner, R., Wehner, B., and Lampert, A.: Observational case studies of spatially distributed aerosol particles measured with the helicopter borne system HELIPOD during MOSAiC, International Aerosol Conference, hybrid (Athens and online), 4-9 September 2022.

Asmussen, M., Pätzold, F., Bretschneider, L., Bärfuss, K., Bollmann, S., Schlerf, A., Nowak, S., Brandt, B., Rausch T., Harm-Altstädter, B., Schwarting, T., and Lampert, A.: Adapting the helicopter-borne probe HELIPOD to the MOSAiC expedition – Technical challenges and system overview, Arctic Science Summit Week, online, 19-26 March 2021.

Asmussen, M., Harm-Altstädter, B., Schön, M., Wehner, B., Bretschneider, L., Pätzold, F., Bärfuss, K., Bange, J., and Lampert, A.: High spatial variability of aerosol particles observed with unmanned aerial systems at the coastal Arctic site Ny-Ålesund, Arctic Science Summit Week, online, 19-26 March 2021.

Publikationen zu MOSAiC mit Beteiligung der TU Braunschweig:

Shupe, M.D., Rex, M., Blomquist, B., Persson, P.O.G., Schmale, J., Uttal, T., Althausen, D., Angot, H., Archer, S., Bariteau, L., Beck, I., Bilberry, J., Bucci, S., Buck, C., Boyer, M., Brasseur, Z., Brooks, I.M., Calmer, R., Cassano, J., Castro, V., Chu, D., Costa, D., Cox, C.J., Creamen, J., Crewell, S., Dahlke, S., Damm, E., de Boer, G., Deckelmann, H., Dethloff, K., Dütsch, M., Ebell, K., Ehrlich, A., Ellis, J., Engelmann, R., Fong, A.A., Frey, M.M., Gallagher, M.R., Ganzeveld, L., Gradinger, R., Graeser, J., Greenamyre, V., Griesche, H., Griffiths, S., Hamilton, J., Heinemann, G., Helmig, D., Herber, A., Heuzé, C., Hofer, J., Houchens, T., Howard, D., Inoue, J., Jacobi, H.-W., Jaiser, R., Jokinen, T., Jourdan, O., Jozef, G., King, W., Lampert, A., Landing, W., Laurila, T., Lawrence, D., Lonardi, M., Loose, B., Lüpkes, C., Maahn, M., Macke, A., Maslowski, W., Marsay, C., Maturilli, M., Mech, M., Morris, S., Moser, M., Nicolaus, M., Ortega, P., Osborn, J., Pätzold, F., Perovich, D.K., Petäjä, T., Pilz, C., Pirazzini, R., Posman, K., Powers, H., Pratt, K.A., Preußner, A., Quéléver, L., Radenz, M., Rabe, B., Rinke, A., Sachs, T., Schulz, A., Siebert, H., Silva, T., Solomon, A., Sommerfeld, A., Spreen, G., Stephens, M., Stohl, A., Svensson, G., Uin, J., Viegas, J., Voigt, C., von der Gathen, P., Wehner, B., Welker, J.M., Wendisch, M., Werner, M., Xie, Z.Q., Yue, F.: Overview of the MOSAiC Expedition – Atmosphere, *Elementa: Science of the Anthropocene*, 10, 1, DOI: https://doi.org/10.1525/elementa.2021.00060_2021, 2022.

Nicolaus, M., Perovich, D., Spreen, G., Granskog, M.A., von Albedyll, L., Angelopoulos, M., Anhaus, P., Arndt, S., Belter, H.J., Bessonov, V., Birnbaum, G., Brauchle, J., Calmer, R., Cardellach, E., Cheng, ., Clemens-Sewall, D., Dadic, R., Damm, E., de Boer, G., Demir, O., Divine, D.V., Fong, A.A., Fons, S., Frey, M., Fuchs, N., Babarro, C., Gerland, S., Goessling, H.F., Gradinger, R., Haapala, J., Haas, C., Hamilton, J., Hannula, H.-R., Hendricks, S., Herber, A., Heuze, C., Hoppmann, M., Hoyland, K.V., Huntemann, M., Hutchings, J.K., Hwang, B., Itkin, P., Jacobi, H.-W., Jaggi, M., Jutila, A., Kaleschke, L., Katlein, C., Kolabutin, N., Krampe, D., Kristensen S.S., Krumpfen, T., Kurtz, N., Lampert, A., Lange, B.A., Lei, R., Light, B., Linhardt, F., Liston, G.E., Loose, B., Macfarlane, A.R., Mahmud, M., Matero, I.O., Maus, S., Morgenstern, A., Naderpour, R. Nandan, V., Niubom, A., Oggier,

M., Oppelt, N., Pätzold, F., Perron, C., Petrovsky, T., Pirazzini, R., Polahenski, C., Rabe, B., Raphael, I.A., Regnery, J., Rex, M., Ricker, ., Riemann-Campe, K., Rinke, A., Rohde, J., Salganik, E., Scharien, R.K., Schiller, M., Schneebeil, M., Semmling, M., Shimanchuk, E., Shupe, M.D., Smith, M.M., Smolyanitsky, V., Sokolov, V., Stanton, T., Stroeve, J., Thielke, L., Timofeeva, A., Tonboe, R.T., Tavri, A., Tsamados, M., Wagner, D.N., Watkins, D., Webster, M., and Wendisch, M.: Overview of the MOSAiC expedition – Snow and Sea Ice, *Elementa: Science of the Anthropocene* 10, 1, DOI: <https://doi.org/10.1525/elementa.2021.000046>, 2022.

Einwerben von Drittmittel-Projekten basierend auf den Ergebnissen von AVANTI:

Interdisziplinäre HELiPOD-Messungen konnten bei der Expedition ARTofMELT in der Schmelzsaison Mai/Juni 2023 vom schwedischen Forschungseisbrecher Oden aus durchgeführt werden. Die Teilnahme und Datenprozessierung wurde durch einen Antrag bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanziert (Geschäftszeichen LA 2907/21-1). Die Analyse der Aerosol-Variabilität soll durch einen weiteren Projektantrag bei der DFG erfolgen.

Der HELiPOD wurde basierend auf der technischen Überarbeitung und Erneuerung vor MOSAiC für Projekte mit der United Nations Environment Programme (UNEP) zusammen mit dem DLR zum Einsatz gebracht. Neben dem eigentlichen Hauptziel, der Quantifizierung von Methan-Emissionen aus verschiedenen anthropogenen Quellen (Steinkohle-Abluftschächte im Oberschlesischen Kohlrevier 2022, Anschlag auf Nordstream-Pipelines 2022. Öl- und Gasfördernde Industrie im Oman 2023) wurden dabei Aerosol-Parameter gemessen.

Basierend auf den HELiPOD-Messungen in Polen wurde ein DFG-Antrag auf eigene Stelle von Dr.-Ing. Barbara Harm-Altstädter eingereicht.

5. Während der Durchführung des Vorhabens bekanntgewordene Fortschritte auf dem Gebiet

Es sind keine relevanten Ergebnisse von dritter Seite bekannt geworden.

6. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Pätzold, F., Bärfuss, K., Bretschneider, L., Schlerf, A., Bollmann, S., Asmussen, M.O., Schwarting, T., Rausch, T., Harm-Altstädter, B., Käthner, R., Pilz, C., Wehner, B., Sperzel, T.R., Jäkel, E., Düsing, S., Herber, A., Wiekenkamp, I., Sachs, T., Wendisch, M., and Lampert, A.: Multidisciplinary observations of two flights with the helicopter borne probe HELiPOD during MOSAiC, PANGAEA, <https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.966359>, 2024.

Pätzold, F., Bretschneider, L., Nowak, S., Brandt, B., Schlerf, A., Asmussen, M.O., Bollmann, S., Bärfuss, K., Harm-Altstädter, B., Hecker, P., Wehner, B., van der Wall, B.G., Sachs, T., Huntrieser, H., Roiger, A., and Lampert, A.: HELiPOD – revolution and evolution of a helicopter borne measurement system for multidisciplinary research in demanding environments, *Elem. Sci. Anth.*, 11, 1. <https://doi.org/10.1525/elementa.2023.00031>, 2023.

Asmussen, M.O., Pätzold, F., Bärfuss, K., Bollmann, S., Bretschneider, L., Herber, A., Jäkel, E., Jurányi, Z., Käthner, R., Lampert, A., Pilz, C., Sachs, T., Sauer, D., Schlerf, A., Sperzel, T., Wehner, B., and Harm-Altstädter, B.: Overview of observations with the helicopter borne probe HELiPOD in the central Arctic, *Earth Syst. Sci. Data*, in preparation, 2024.