



Changing Arctic Ocean

NERC



Abschlussbericht

MicroARC

Untersuchungen zur Koppelung zwischen dem pelagischen mikrobiellen Ökosystem und dem Umsatz organischer Materie in der sich verändernden Arktis; Vorhaben:

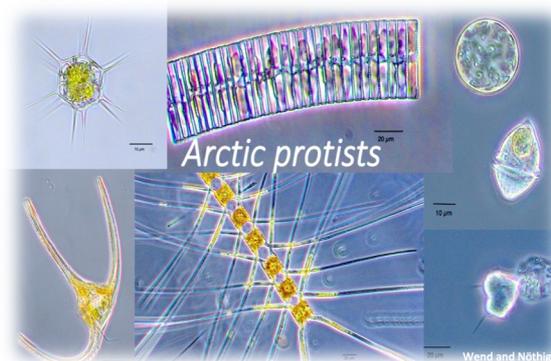
Biomasse und Größenverteilung des einzelligen Planktons (WP2)

Zuwendungsempfänger: AWI Helmholtz-Zentrum für Polar und Meeresforschung
Bremerhaven
Am Handelshafen 12
27570 Bremerhaven

Förderkennzeichen: 03F0802B

Laufzeit: 01.07.2018 - 31.12.2021

Leitende Wissenschaftlerin: Dr. Eva-Maria Nöthig



Gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF)



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

I. Kurze Darstellung

s.a. Gesamtbericht Prof. A. Engel

Das Projekt MicroARC, bestehend aus 5 Teilprojekten (WPs), hatte das übergeordnete Ziel, unser Verständnis darüber zu verbessern, wie sich kurzfristige (saisonale) und langfristige (klimagetriebene) Veränderungen in der physikalischen Umwelt der Arktis auf pelagische mikrobielle Ökosysteme auswirken und so die Biogeochemie der organischen Materie (OM) derzeit und in der Zukunft beeinflussen. Hierzu wurden einzelne Komponenten innerhalb des arktischen pelagischen Ökosystems von unserem Team analysiert. Es setzte sich zusammen aus Experten der marinen Mikrobiologie (WP1), **Planktonökologie (WP2)**, organischen Biogeochemie (WP3) und aus Datenmanagement und Modellieren (WP4, WP5). Durch Kombination von Beobachtung im Rahmen verschiedener Schiffsexpeditionen und den dazu gehörigen Auswertungen der Proben im Labor, sowie anschließender Modellierung, wurden Mechanismen analysiert, die die mikrobielle Dynamik und den gekoppelten OM-Umsatz auf saisonalen Skalen beeinflussen.

I.1 Aufgabenstellung / Vorhabenbeschreibung

WP2 sollte im Rahmen von planktonökologischen Untersuchungen neue Erkenntnisse zur Verteilung und saisonaler Variabilität von Phytoplankton im arktischen Pelagial beitragen. Detaillierte Analysen zur Zusammensetzung, Biomasse und Größenverteilung von autotrophen und heterotrophen einzelligen arktischen Plankton Organismen in offenen und eisbedeckten Gebieten zu unterschiedlichen Jahreszeiten mittels zeitaufwendiger mikroskopischer Zählungen sollten insbesondere im Hinblick auf neue Modellierungsansätze durchgeführt werden (s.a. WP5). Zudem wurden biochemische Grundlagen mittels Chlorophyll a (Chl a) und partikulär organischer Kohlenstoff (POC) - Bestimmungen mit Hilfe von eigenen Langzeituntersuchungen gelegt sowie neue Ergebnisse zusammen mit WP3 hinzugefügt.

I.2 Voraussetzungen zur Durchführung des Vorhabens

In den letzten Jahren ist deutlich geworden, dass sich im Arktischen Ozean ein wärmerer Klimazustand einstellt, der durch physikalische Veränderungen wie steigende Wassertemperaturen und durch Abschmelzen des arktischen Meereseises hervorgerufen wird. Planktonorganismen sind diesen enormen Umweltveränderungen ausgesetzt und es ist daher davon auszugehen, dass diese Entwicklung das Potential besitzt, die Zusammensetzung zu verändern und umweltbedingte Anpassungen ihrer Lebensweise und ihrer Biologie nach sich zieht. Diese Veränderungen können wiederum den Auf-, Um- und Abbau organischer Materie beeinflussen und haben somit einen bedeutenden Einfluss auf den Kohlenstoffkreislauf im arktischen Pelagial.

I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Diese Studie basiert zum Teil auf dem Vergleich stationsbezogener Langzeitdatensätze pelagischer Chlorophyll a und POC Daten, welche im Rahmen von vorwiegend Sommerexpeditionen in das Nordpolarmeer ermittelt wurden. Die Verbindung von diesen Daten mit stichprobenartig erfassten Größenzusammensetzungen von Einzellern während des arktischen Sommers und Herbst auf weiteren Expeditionen, sollen neue Rückschlüsse auf die saisonale Größenverteilung und -zusammensetzung der Schlüssel- und begleitender, mit

dem Mikroskop erfassbarer, Arten in der Framstraße zulassen. Zusätzlich wird erstmals Phytoplankton aus autonomen Sammelgeräten, die über 2 Jahre in Verankerungen (ca. 30m) hingen, zur Erfassung der Saisonalität in der Artengemeinschaft analysiert.

Die Methoden beinhalteten:

- Expeditionsplanung und Beprobung der Planktongemeinschaften in der Framstraße. Biogeochemische Analysen der Biomasse und Kohlenstoffverteilung (WP3).
- Taxonomische Studien, Abundanz- und Größenanalysen wie auch Identifizierung der Schlüsselarten und Untersuchung ihres saisonalen Auftretens.
- Statistische Auswertung und Bewertung bereits erfasster und neuer Datensätze im Rahmen univariater und multivariater Verfahren (WP2, WP3) unter Berücksichtigung ihres zukünftigen möglichen Einsatzes im Rahmen gekoppelter Modellsysteme (WP4 & WP5).
- Projektkoordination und -durchführung unter Einbeziehung der Kooperationspartner*innen, Zusammenstellung und Veröffentlichung der Ergebnisse in Form von wissenschaftlichen Publikationen bei international anerkannten Fachzeitschriften, sowie die Präsentation der Ergebnisse auf Workshops und internationalen Konferenzen.

1.4 **Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde**

In den Polargebieten, mit besonderem Hinblick auf die eisbedeckten Gewässer der Arktis, ist die Biomasse und Größenverteilung der pelagischen Einzeller wenig erforscht. Der bisherige wissenschaftliche Stand basierte fast ausschließlich auf wenigen jahreszeitlich eingeschränkten Beprobungen während der Sommermonate, oft mit Planktonnetzen. Im Rahmen dieses Projektes sollten Teile dieser Wissenslücken gefüllt werden. Als Grundlage dienten die Ergebnisse von neueren Übersichtspublikationen erster Langzeitdatensätze in der Framstraße (zum Beispiel: Nöthig et al. 2015, Soltwedel et al. 2016), die im Zeitraum September 2000 bis Juli 2015 einen Hinweis darauf lieferten, dass sich aufgrund steigender Wassertemperaturen (Beszczynska-Möller et al. 2012) Phytoplankton Biomasse und Zusammensetzung im pelagischen Ökosystems in der europäischen Arktis verändern.

1.5 **Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Im Rahmen dieses Projektes wurde mit den folgenden Stellen als Kooperationspartner zusammengearbeitet:

- GEOMAR (Arbeitsgruppe Mikrobielle Biogeochemie, Prof. A Engel (WP3) und Biogeochemische Modellierung, Dr. Markus Schartau (WP5))
- Dr. Michael Cunliff, Marine Biological Association, Plymouth, UK NERC/UK Lead Investigator (WP1)
- FRAM (Frontiers in Arctic Monitoring) Helmholtz Infrastruktur, Arktisches Langzeit-Observatorium: Tiefsee-Ökologie und -Technologie (Dr. Thomas Soltwedel et al.); Rechenzentrum (Dr. Antonie Haas et al.); Marine Geologie (Dr. Kirsten Fahl); Messende Ozeanographie (Prof. Torsten Kanzow et al.)
- Dr. Catherine Lalonde, Amundsen Science, Pavillon Alexandre-Vachon, Université Laval, Québec, Québec, Canada G1V 0A6
- Dr. Ian Salter, Faroe Marine Research Institute, Tórshavn, Faroe Islands

II. Eingehende Darstellung

Insgesamt wurden in diesem Vorhaben eine Bachelorarbeit abgeschlossen, sowie 2 weitere Publikationen* als Erstautorin und 6 (s.a. WP3-5) als Co-Autorin erstellt, die veröffentlicht sind. Zwei weitere Manuskripte sind in Vorbereitung und sollen voraussichtlich bis zum Ende des Jahres eingereicht werden. Die wichtigsten Erkenntnisse werden im Folgenden auf das Projekt bezogen dargestellt.

Untersuchungsgebiet war der Arktische Ozean, schwerpunktmäßig wurden in WP2 die Ergebnisse aus der Framstraße (weißes Quadrat) während der Expeditionen von 2016 bis 2019 untersucht. (Die Stationen entsprechen denen von 2015, grüne Flecken im weißen Quadrat)

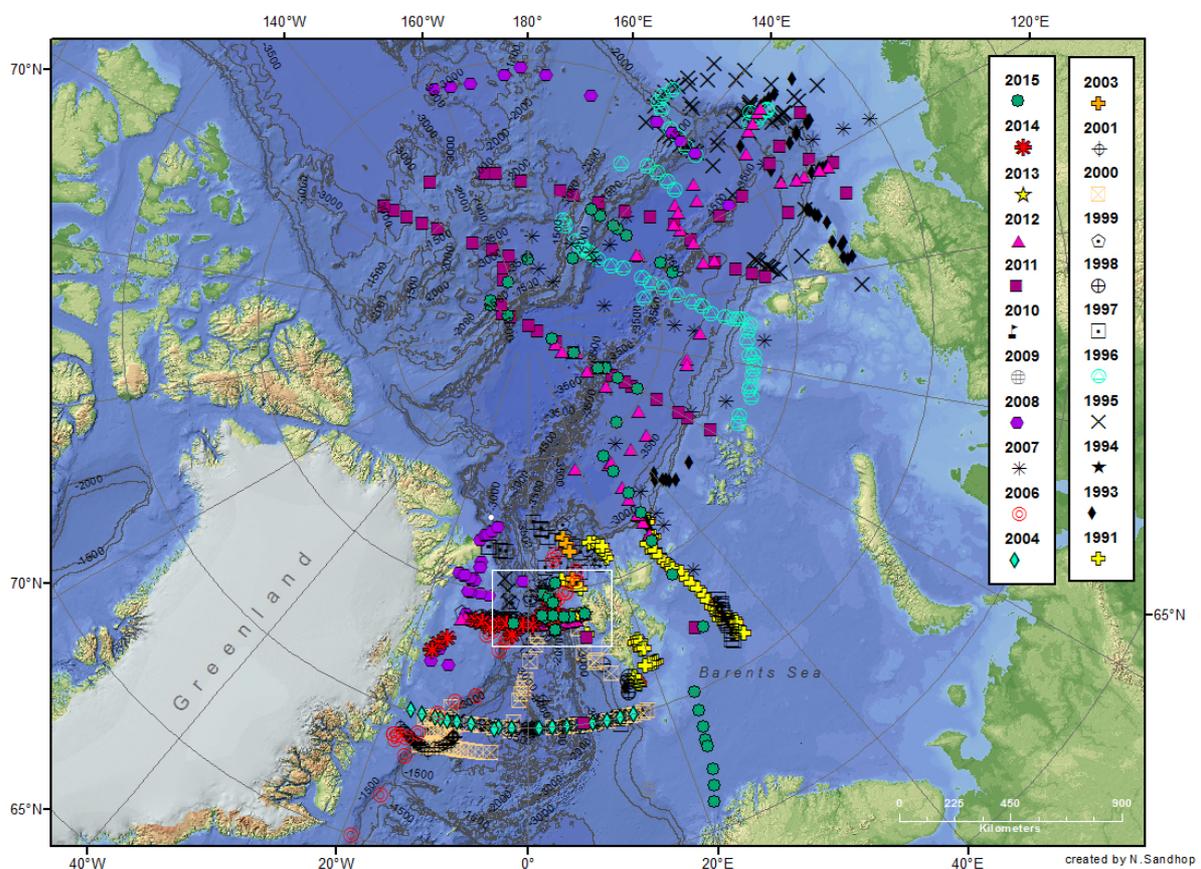


Abb. 1 aus Nöthig et al. 2020a mod. FIGURE 1 | Stations occupied during the different summer expeditions on board RVs *Polarstern*, *Maria S Merian* and *Lance* to the Arctic Ocean and the Fram Strait between the years 1991 and 2015. **White square FRAM STRAIT where samples from this study came from. (The map was created using ArcGIS, based on GEBCO-08 grid, version 20100927 with permission from the British Oceanographic Data Centre (BODC). See also: https://maps.awi.de/map/map.html?cu=chl_a_water_column_main#home).**

*In diesen Publikationen wurde leider das falsche Förderkennzeichen eingetragen 03F0802A statt 03F0802B!

II.1 Verwendung der Zuwendung und erzieltes Ergebnis

Veränderungen von Chlorophyll a (Chl a) und Kohlenstoff (POC) in der Arktis

Wie geplant wurden in der ersten Phase des Projekts eigene Daten der letzten 25 Jahre zur Phytoplanktonbiomasse und zum partikulären Kohlenstoff in einer Übersichtspublikation

aufgearbeitet (Nöthig et al. 2020a). Phytoplankton-Biomasse und partikulärer organischer Kohlenstoff in den oberen 100 Metern arktischer Meeresgebiete während der Sommermonate von 1991-2015 zeigen, inwieweit sich Klimaveränderungen der letzten Jahre (Erwärmung des Oberflächenwassers, Eisrückgang) auf Phytoplankton-Biomasse (Chlorophyll *a*; Chl *a*) und partikuläre organische Kohlenstoff (POC) Bestände auswirken. Während der Sommermonate wurden Wasserproben in den oberen 100 m der Framstraße und in anderen Regionen des Arktischen Ozeans (AO) gesammelt, um Chl *a* und POC Gehalte zu erfassen. Wie zu erwarten, wurden die höchsten Bestände in der östlichen Framstraße und in der Barentssee gefunden, während die niedrigsten in den stark eisbedeckten Regionen des zentralen AO, hauptsächlich im Amundsen- und Amerasian-Becken, zu finden waren. So nahmen auch die sommerlichen Chl *a*-Bestände von der Framstraße und der Barentssee nordwärts in Richtung hoher Breiten stark ab, hierbei war der Rückgang der POC-Bestände weniger stark ausgeprägt. Während des gesamten Untersuchungszeitraums nahmen Chl *a*-Bestände in der östlichen Framstraße leicht zu, blieben aber im zentralen AO mehr oder weniger konstant. Allerdings nahmen die POC-Bestände im zentralen AO in den letzten 25 Jahren zu, möglicherweise als Folge steigender Lufttemperaturen, abnehmender Meereisausdehnung und -dicke sowie zunehmender Lichtverfügbarkeit. Darüber hinaus könnten Schwankungen im Flusswasserabfluss und im Meereis-Export innerhalb der Transpolardrift zum erhöhten POC-Bestand in den Oberflächengewässern des zentralen AO beigetragen haben.

In einer sehr vereinfachten Zusammenstellung für die Framstraße ist zu erkennen, dass sich die Phytoplanktonbiomasse Verteilung nach einer ‚warmen‘ Anomalie verändert hat, da sich auch die Meereissituation zunehmend anders darstellt in der Framstraße. Insgesamt verteilt sich das Phytoplankton während der Sommermonate gleichmäßiger.

Die langfristig erfassten Daten werden dazu beitragen, zukünftige Auswirkungen physikalischer Veränderungen im Arktischen Ozean auf die biologischen Prozesse im Oberflächenwasser besser bewerten zu können. Chlorophyll *a* (Chl *a*) und partikulärer organischer Kohlenstoff (POC) der nachfolgenden Expeditionen wurden dann während der Projektphase mit WP3 gemeinsam weiter ausgewertet und haben zu 4 Publikationen geführt.

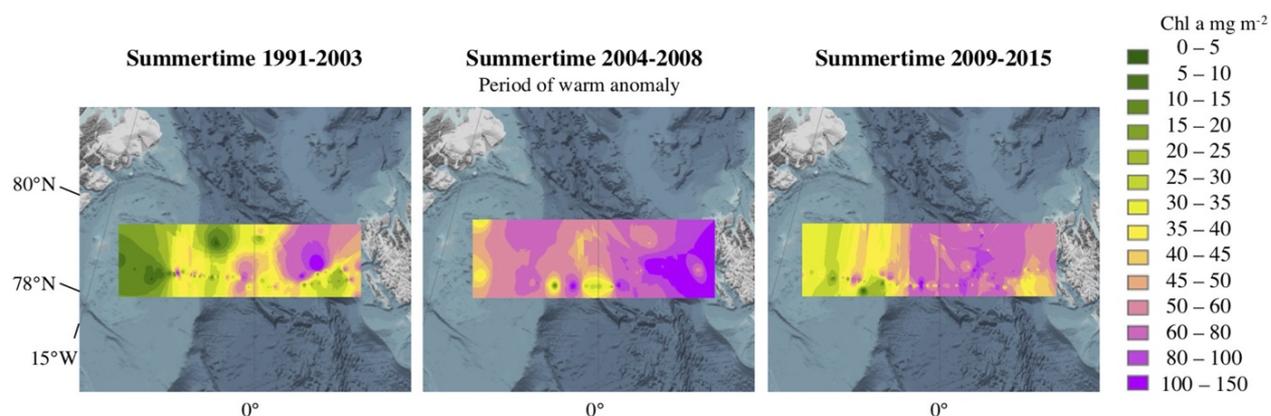


Abb. 2 aus Nöthig et al. 2020a FIGURE 8 | Interpolation of Chl *a* values (mg m⁻²) integrated over 0-100 m water depth under **(left)** strong-ice-cover from 1991 to 2003, **(middle)** period of a warm anomaly from 2004 to 2008, and **(right)** reduced sea ice cover from 2009 to 2015.

Ebenfalls wurden weitere Erkenntnisse zum Partikelfluss und Export organischer Substanz und von organischem Kohlenstoff in der Framstraße und im zentralen Arktischen Ozean hinzugefügt, die die Bedeutung des Meereises und des Abfluss der großen sibirischen Flüsse für den vertikalen Transport bis hin zum Meeresboden aufzeigen (Nöthig et al., 2020b, Fadeev et al. 2021, von Appen et al. 2021).

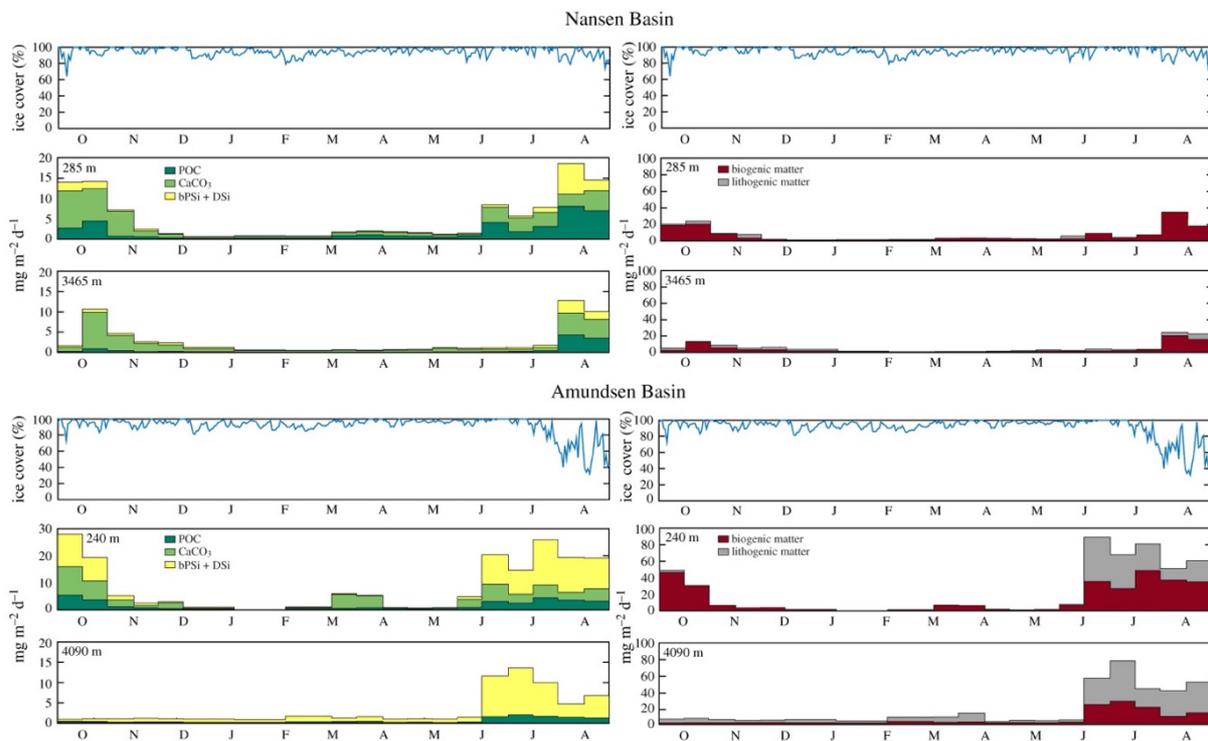


Abb. 3 aus Nöthig et al. 2020b FIGURE 2 Vertical flux patterns ($\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$) of particulate matter, left panels: POC, CaCO_3 , particulate biogenic silica (bPSi + DSi; here including the dissolved supernatant DSi); right panels: biogenic and lithogenic (a sum equal to TPM) at the two mooring sites in the Nansen (upper panels) and Amundsen (lower panels) Basins close to the Gakkel Ridge. An indication of sea ice cover during September 2011 until August 2012 is given on top of each panel.

Etwas höhere Exportraten im Amundsen-Becken und Unterschiede in der Zusammensetzung der sinkenden Partikel auf beiden Seiten des Gakkelrückens spiegeln den Einfluss des Lena-Abflusses im Bereich der Transpolardrift im Amundsen-Becken, die unterschiedlichen Eisbedeckungen und den Einfluss des atlantischen Wassers, das größtenteils aus der Framstraße kommt, im Nansen-Becken, wider.

Die Artenzusammensetzung in beiden Verankerungen war ebenfalls unterschiedlich bedingt durch die unterschiedlichen Eisbedingungen (Lalande et al. 2019). Sollte das Meereis in einigen Jahren verschwunden sein, wird sich die Sedimentation im Amundsen-Becken höchstwahrscheinlich auch anders darstellen und der Fluss von organischem Kohlenstoff möglicherweise abnehmen.

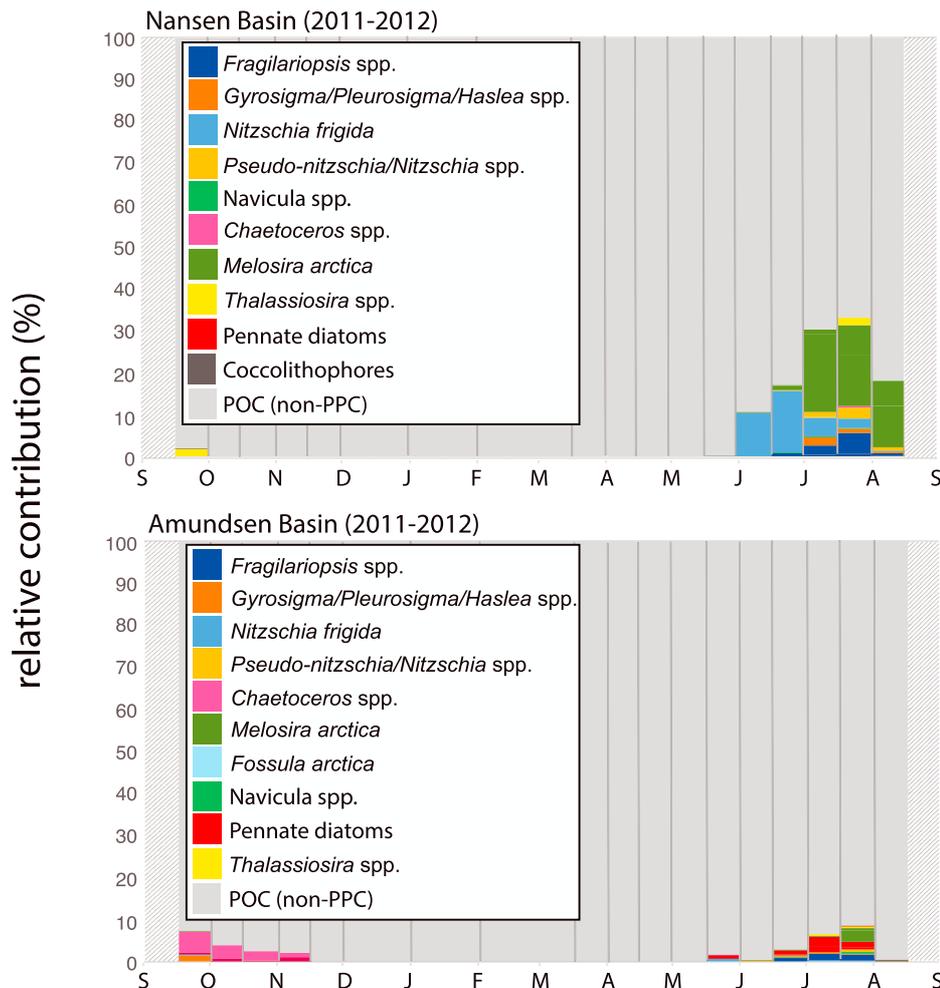


Abb. 4 aus Lalande, Nöthig & Fortier 2019 FIGURE 4 mod. Vertical flux patterns of relative phytoplankton carbon (PPC) of main algal species and groups to the carbon (POC) flux at the two mooring sites in the Nansen and Amundsen Basins.

Saisonalität und Größenklassen Verteilung der Einzeller

Zur Fortsetzung obiger Untersuchungen und im Rahmen eines neuen Fokus mit den im MicroARC Projekt beantragten Mittel wurden im Berichtszeitraum weitere Expeditionen durchgeführt (3 Expeditionen in die Framstraße, 2 mit FS Polarstern PS114 und PS121 und eine mit FS Maria S Merian MSM77). Zusätzlich wurden in der ersten Phase des Projekts Proben von vorhergehenden Ausfahrten in die Framstraße genauer analysiert. Dazu wurden in Zählproben zunächst von den Fahrten PS 99.2 (2016) und PS107 (2017), später dann von PS 114, 121 und MSM77, die dominanten Arten und Gruppen der pelagischen Einzeller unter dem umgekehrten Lichtmikroskop bestimmt und detailliert vermessen. Diese Ergebnisse fließen dann in die Modellierung (WP4 und 5) ein.

Die Ergebnisse dieser sehr umfangreichen Arbeiten wurden in Lampe et al. 2021 veröffentlicht. Sie bilden die Grundlage, spätere Veränderungen in der Artenstruktur besser erfassen zu können. Das Hauptziel dieser Studie war, einen Einblick in die Größenstruktur der Planktongemeinschaft in der arktischen Umgebung der Framstraße zu gewinnen. Zusammenfassend konnte mit dem umfangreichen Ansatz dokumentiert werden, wie sich aufwändige und damit wertvolle mikroskopische Messungen gut auf kontinuierliche Größenspektren

von autotrophem und heterotrophem Plankton übertragen lassen. Die Planktongrößenspektren dokumentieren den Rückgang des Gesamtbiovolumens während der Nachblütezeit sowie eine erhebliche Verschiebung des relativen Biovolumens des Phytoplanktons hin zu größeren Zellgrößen ($> 30 \mu\text{m}$) im Herbst. Ein interessantes Detail hierbei war, dass vier spezifische Größenbereiche (3-4, 8-10, 25-40, 70-100 μm) zu ausgeprägten Abweichungen zwischen Planktongröße, Abundanz und Biovolumen führten. Diese spezifischen Größenbereiche scheinen wertvolle Indikatoren für zeitliche Veränderungen zwischen Bottom-up- und Top-down-Regulierungsprozessen innerhalb des mikrobiellen Nahrungsnetzes zu sein und zeigen, dass es gröbenselektive Weideinflüsse auf die arktische Nano- und Mikroplanktongemeinschaft unabhängig vom trophischen Status zu geben scheint.

Die folgenden graphischen Zusammenfassungen aller Zähl- und Messergebnisse (erstellt von Vanessa Lampe, unveröffentlicht) der beteiligten studierenden Hilfskräfte (Laura Richert, Malte Schmidt, Lisa Zacharski), zeigen die Verteilung der einzelnen Arten und Gruppen im Sommer und Herbst jeweils im polaren und atlantisch beeinflussten Bereich in der Framstraße.

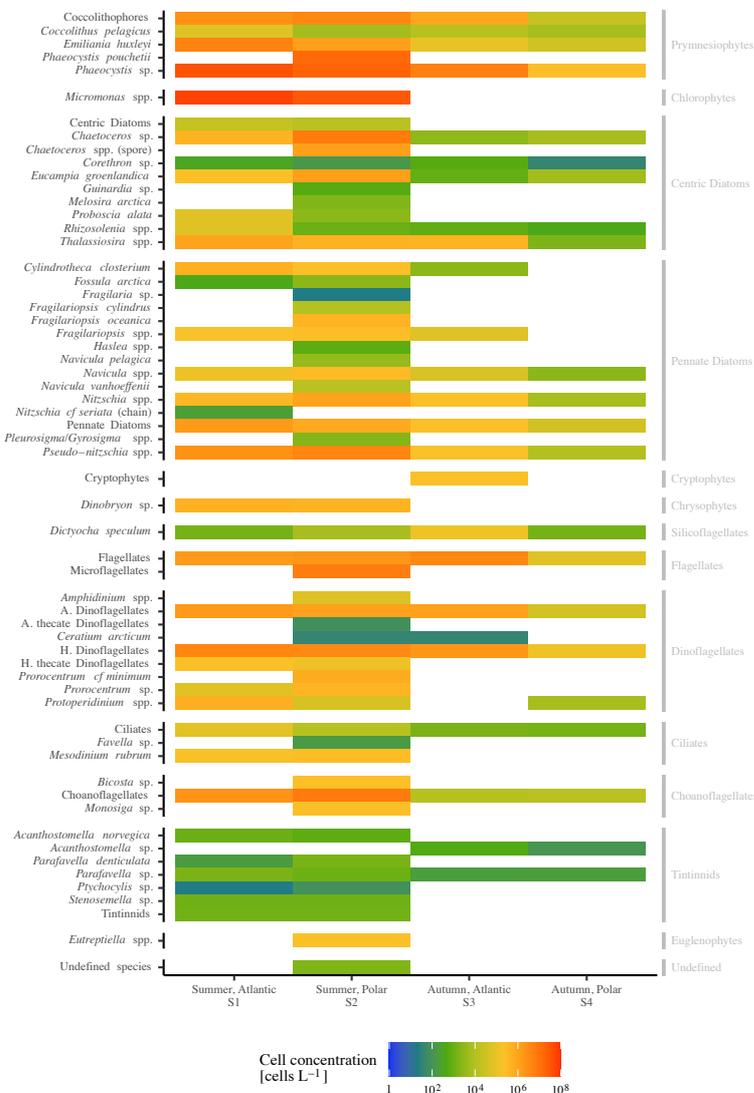


Abb. 5 Lampe und Nöthig et al. unpublished. Cell concentrations in the Fram Strait during summer and fall in polar and Atlantic water masses.

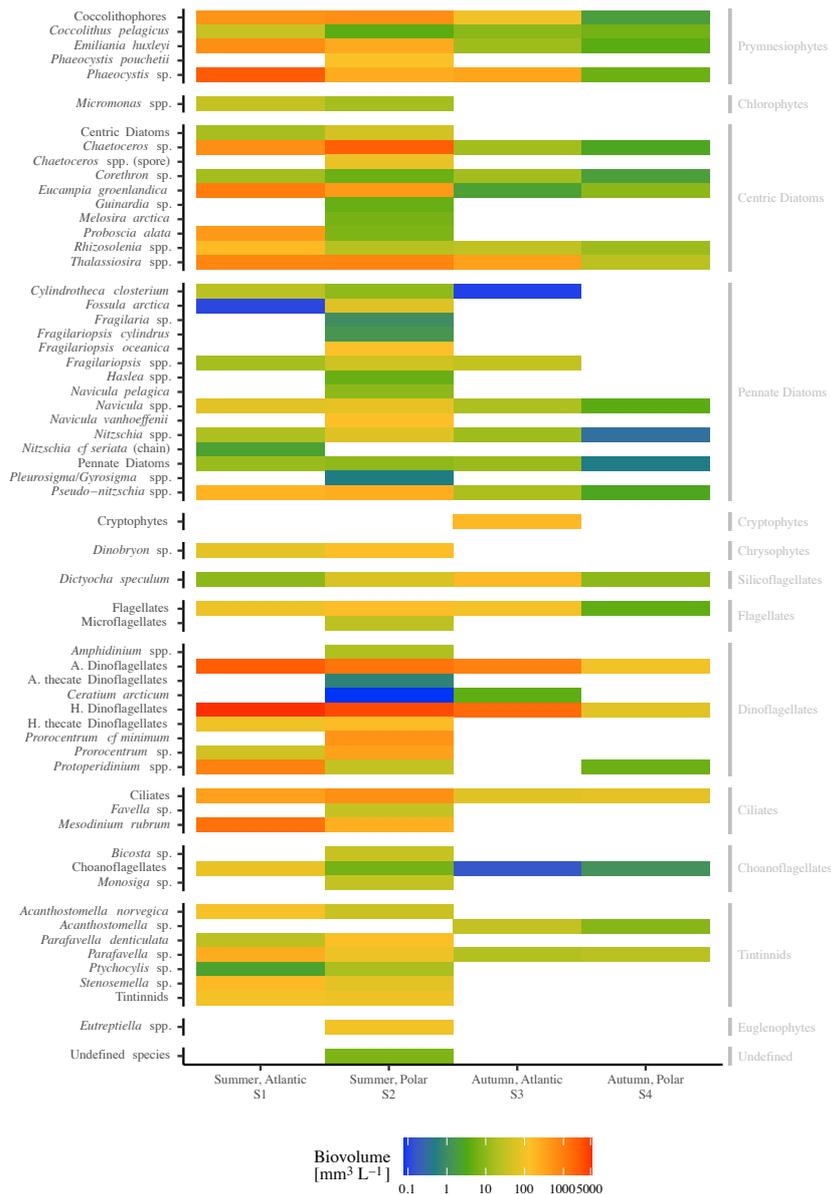


Abb. 6 Lampe und Nöthig et al. unpublished Cell biovolume in the Fram Strait during summer and fall in polar and Atlantic water masses.

Eine deutliche Abnahme der Zellzahl und der Volumina vom Sommer zum Herbst einhergehend mit der Verschiebung des Biovolumens ist zu erkennen. (Modellieransätze s. WP4 & WP5)

Saisonalität der Einzeller in der Framstraße

Während der beiden Polarstern Expeditionen 2018 und 2019 wurden Proben, die mit Hilfe eines automatischen Sammelgerätes (RAS), das ein Jahr (2017-2018) auf Station HG-IV und ein weiteres Jahr (2018-2019) auf Station HG-IV und FS4 in der Framstraße in 25m bis 30m Wassertiefe verankert wurde, gesammelt. Die Phytoplanktonproben wurden zum einen ausgezählt und in einer Bachelorarbeit (Michelle Menge, Uni Bremen, Herbst 2019) veröffentlicht, sowie während des ASM CAO Treffens im Januar 2020 in Potsdam auf einem Poster dargestellt. Die Phytoplanktonproben aus dem Jahr 2018-2019 wurden Anfang 2020,

vor und zu Anfang der Pandemie bis März von zwei Studentinnen ausgezählt. Berechnungen der Zellzahlen und des Phytoplanktonkohlenstoffs wurden dann im Homeoffice durchgeführt. Beide Datensätze werden im Moment für zwei geplante Veröffentlichungen, die bis zum Ende des Jahres eingereicht werden sollen, zusammengestellt. Es zeigt sich, dass im Frühjahr (Mai) eine enorme Biomasse (> 85% der Jahreswerte im Phytoplanktonkohlenstoff) von sehr wenigen Arten aufgebaut wird: In 2018 von Kieselalgen: *Thalassiosira* spp. und *Chaetoceros* spp. und Haptophyceae: *Phaeocystis* spp.; in 2019 waren in beiden RAS Sammlern *Phaeocystis* spp. häufiger als Diatomeen. Über das Jahr wechseln sich dann andere Arten bzw. Gattungen und Gruppen ab, die aber viel weniger Biomasse aufbauen.

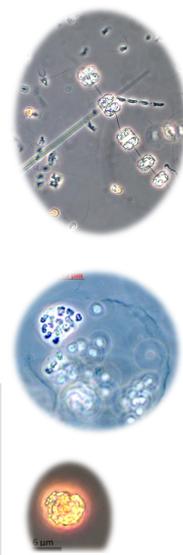
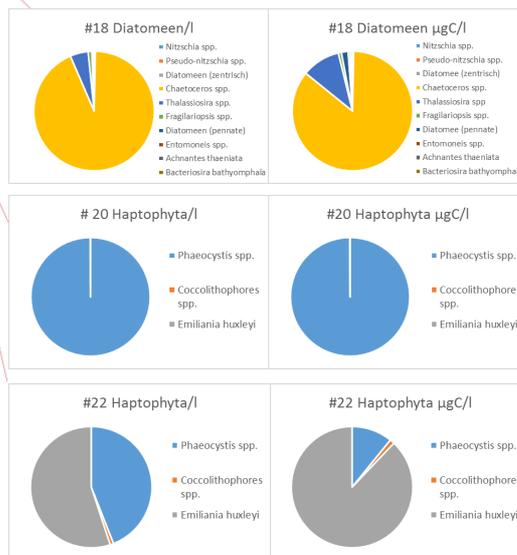
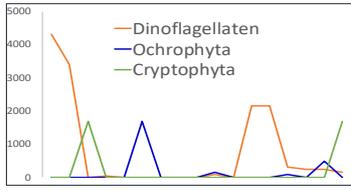
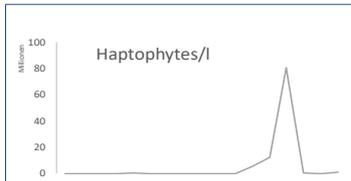
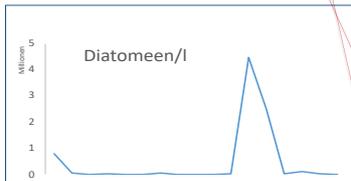
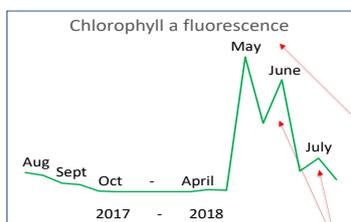
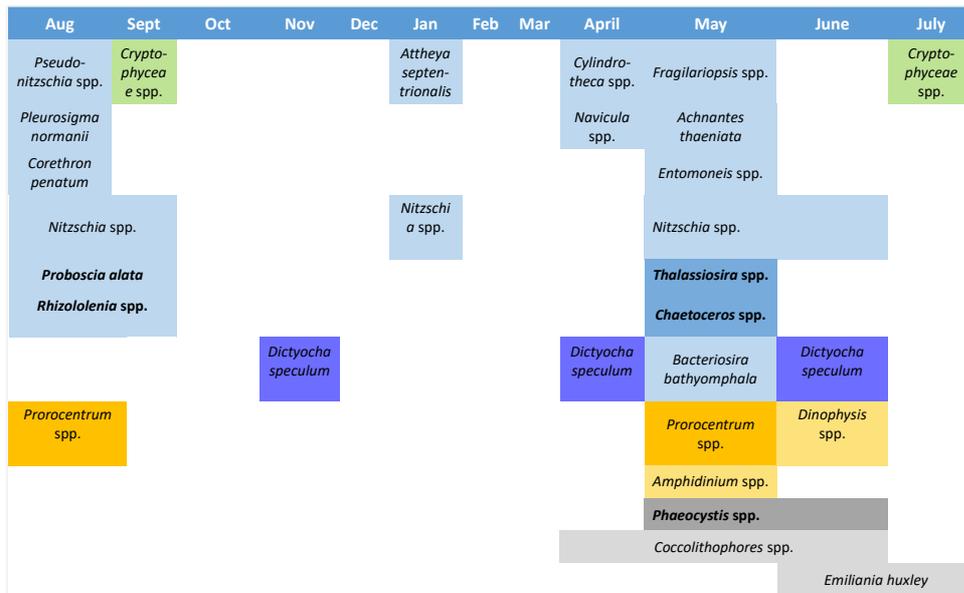


Abb. 7 Menge und Nöthig. Saisonalität des Phytoplanktons in der östlichen Framstraße (oben: dominante Gruppen sind fett gedruckt (Menge & Nöthig 2020 & in prep und Nöthig et al. in prep)

Zum ersten Mal konnte hier ein Jahresgang für arktisches Phytoplankton in zwei aufeinanderfolgenden Jahren erfasst werden. Die Unterschiede in den beiden Jahren lassen sich auf unterschiedliche Meereisbedingungen und unterschiedliche Wassermassenschichtungen im Gebiet der Framstraße zurückführen und geben daher wichtige Aufschlüsse für zukünftige Schmelzwasser Szenarien mit den entsprechenden zu erwartenden artenbedingten unterschiedlichen Partikelflüssen von POC bis zum Meeresboden (s.a. Fadeev et al. 2021, Landlande et al. 2019, Von Appen et al. 2021)

II.2 **Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises**

Der zahlenmäßige Nachweis (gem. NKBF 2017) erfolgt durch die Verwaltung des AWI. Die Ausgabenplanung erfolgte gemäß der bewilligten Mittel. Allerdings konnten aufgrund der Corona Pandemie nicht alle Reisemittel ausgeschöpft werden. Die Gelder für studentische Hilfskräfte wurden voll ausgeschöpft für Probennahmen auf Expeditionen, umfangreiche mikroskopische Zählungen und detaillierte Vermessungen sowie Berechnungen von einzelligem Plankton gewonnen auf den Schiffsexpeditionen. Die Verwendung des größten Teils der Reisemittel erfolgte für die Präsentation des Projekts und der Ergebnisse auf gemeinsamen Tagungen zusammen mit dem NERC in Birmingham 2019 und in Potsdam 2020, sowie auf einer Goldschmid Konferenz in Barcelona 2019. Weitere Treffen, Workshops und Konferenzen erfolgten dann mittels Videokonferenzen.

II.3 **Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit**

Dieses Forschungsvorhaben liefert einen wichtigen Beitrag zur aktuellen Diskussion potentieller Veränderungen arktischer Phytoplankton Biomassen sowie Organismen und Einzel- oder Artengemeinschaften und zum Kohlenstoffkreislauf mit Auswirkungen auf den Partikelfluss im Bereich der Framstraße und des arktischen Ozeans als Folgen des Klimawandels. Dabei folgte der Verlauf der Arbeit im Forschungsvorhaben der im Projektantrag formulierten Planung. Alle im Arbeitsplan formulierten Aufgaben wurden bearbeitet. Aufgrund logistischer Probleme durch die Covid-19 Pandemie konnten die Arbeiten teilweise nur zeitverzögert durchgeführt werden.

Die Ergebnisse der Arbeiten wurden, soweit die Corona Bedingungen es erlaubten, im Rahmen von Präsentationen auf wissenschaftlichen Kongressen und in begutachteten Publikationen einem breiten Publikum nahegebracht. Nach dem Abschluss des Projektes wird die restliche Auswertung der RAS Phytoplanktonproben mit AWI-Mitteln weitergeführt. Die neuen/zusätzlichen Daten werden zu einem späteren Zeitpunkt veröffentlicht.

Eine Veränderung der Nahrungsnetze und der Größenverteilung der einzelligen Planktonorganismen in der oberen Wassersäule, die auf den klimabedingten Rückgang des Meereises zurückzuführen sind, wirkt sich auf die Phytoplanktonbiomasse und damit auch auf Sedimentationsmuster aus. Dies hat wiederum Konsequenzen für den Verbleib des Kohlenstoffs.

II.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit

Ergebnisse dieser Studien zum Mikroplankton sowie die weiterführenden Datensätze dieses Projekts stehen durch Veröffentlichungen in internationalen Fachzeitschriften und der Open-Source-Datenbank PANGAEA für künftige Planungsvorhaben in der europäischen Arktis zur Verfügung. Die Verwertbarkeit der Ergebnisse ist in vollem Umfang gegeben. Außerdem ist die wissenschaftliche Anschlussfähigkeit des Projektes aussichtsreich.

Das Forschungsvorhaben lieferte keine unmittelbaren wirtschaftlichen Erfolge. Es wurden im Rahmen der biologischen Grundlagenforschung neue Erkenntnisse gewonnen.

II.5 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Einen Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen, mit Bezug auf das Untersuchungsgebiet in der europäischen Arktis, ist nicht bekannt. Allerdings haben britische Projekte im Rahmen des CAO NERC/BMBF Verbund Projektes wie zum Beispiel DIA-POD, PRIZE und PEANUTS auch Untersuchungen zu Biomasse und Artenzusammensetzung durchgeführt, aber zu anderen Jahreszeiten und an anderen Positionen und mit einem anderen Fokus. Die Ergebnisse ergänzen sich gegenseitig.

Im Bereich der globalen Meeresforschung und des Klimawandels finden immer mehr Untersuchungen der einzelligen Planktonorganismen auch in arktischen marinen Gewässern statt. Allerdings werden sehr wenige mikroskopische Untersuchungen durchgeführt, sondern es werden molekularbiologische Analysen zur Biodiversität präferiert, die aber noch weit davon entfernt sind quantitativ Bestände zu erfassen wie es mit der mikroskopischen Methode möglich ist. Dies ist aber unerlässlich bei der Erstellung kohlenstoff-basierter Modellierung.

Die gewonnenen Chlorophyll-Daten und POC-Daten, sowie die Zählungen werden in PANGAEA (s.u.), soweit noch nicht geschehen, zur Verfügung gestellt und können somit in Monitoring Projekte der gesamten Arktis einfließen.

II.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

Bereits erfolgte Veröffentlichungen:

a) Wissenschaftliche Publikationen:

- *von Jackowski, A., Becker, K., Wietz, M., Bienhold, C., Zäncker, B., Nöthig, E.-M., and Engel, A. (2022). Variations of microbial communities and substrate regimes in the eastern Fram Strait between summer and fall. *Environmental Biology*. doi.org/10.1111/1462-2920.16036
- *Fadeev, E., Wietz, M., von Appen, W., Iversen, M. H., Nöthig, E., Engel, A., Grosse, J., Graeve, M. and Boetius, A. (2021): Submesoscale physicochemical dynamics directly shape bacterioplankton community structure in space and time, *Limnology and Oceanography*, 66, pp. 2901-2913. doi: 10.1002/lno.11799

- *Grosse, J., Nöthig, E.-M., Torres-Valdés, S., and Engel, A. (2021). Summertime amino acid and carbohydrate patterns in particulate and dissolved organic carbon across Fram Strait. *Front Mar Sci* 8: 1- 15.
- *Lampe, V., Nöthig, E.-M., and Schartau, M. (2021). Spatio-temporal variations in community size structure of Arctic protist plankton in the Fram Strait. *Front Mar Sci* 7: 1- 18.
- Nöthig, E.-M., Ramondenc, S., Haas, A., et al. (2020a). Summertime Chlorophyll a and Particulate Organic Carbon Standing Stocks in Surface Waters of the Fram Strait and the Arctic Ocean (1991–2015). *Front. Mar. Sci.* 7:350. doi: 10.3389/fmars.2020.00350
- Nöthig, E.-M., Lalande, C., Fahl, K., et al. (2020b). Annual cycle of downward particle fluxes on each side of the Gakkel Ridge in the central Arctic Ocean. *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 378 (2181), doi: 10.1098/rsta.2019.0368
- *von Jackowski, A., Grosse, J., Nöthig, E.-M., and Engel, A. (2020). Dynamics of organic matter and bacterial activity in the Fram Strait during summer and autumn. *Philos Trans R Soc A Math Phys Eng Sci* 378: 1- 16.
- *Engel, A., Bracher, A., Dinter, T., Endres, S., Grosse, J., Metfies, K., Peeken, I., Piontek, J., Salter, I., and Nöthig, E.-M. (2019). Inter-Annual Variability of Organic Carbon Concentration in the Eastern Fram Strait during Summer (2009–2017). *Frontiers in Marine Science*. doi:10.3389/fmars.2019.00187

*Co-Autorin

b) Wissenschaftliche Konferenzen:

Poster:

- Menge, M. & Nöthig, E.-M. (2020). Phytoplankton succession in the eastern Fram Strait (August 2017 - July 2018) . Microscopic analysis of autonomously collected water samples. Changing Arctic Ocean Annual Science Meeting 2020, Potsdam, 14 January 2020 - 16 January 2020.
- Nöthig, E. M., Iversen, M., Lalande, C., Ramondenc, S., Salter, I. and Bauerfeind, E. (2020): Seasonal and Interannual Variability in Sedimentation Patterns of Carbonate Shell Bearing Organisms in the Fram Strait and the Central Arctic Ocean. Ocean Sciences Meeting, San Diego, USA, 16 February 2020 - 21 February 2020.
- Lampe, V., Nöthig, E. M. and Schartau, M. (2019). Measuring the smallest - phytoplankton size spectra in a Changing Arctic Ocean. Changing Arctic Ocean Annual Science Meeting 2109, Birmingham, UK, 15 January 2019 - 17 January 2019.

Vorträge:

- Grosse, J., Nöthig, E.-M., and Engel, A. (2021). Distribution of amino acids and carbohydrates in different water masses in Fram Strait. *Arctic Frontiers 2021*, 01 Feb 2021 - 04 Feb 2021, Tromsø-Online
- Nöthig, E. M., Bauerfeind, E., Bergmann, M., Bracher, A., Bienhold, C., Engel, A. et al. (2019). Long-Term Summertime Investigations of Pelagic and Benthic Realms with Continuous Observations of Vertical Particle Flux in the Fram Strait and the Central Arctic

Ocean, Goldschmidt Barcelona 2019, Barcelona, Spain, 18 August 2019 - 23 August 2019.

c) Wissenschaftliche Workshops/ Meetings:

- Workshop MicroARC. Online (2020, online). Nov 2020
- Changing Arctic Ocean Annual Science Meeting (2020). Potsdam, 14 January 2020 - 16 January 20.
- Workshop MicroARC. Plymouth (2019, online). May 2019.
- Changing Arctic Ocean Annual Science Meeting (2109). Birmingham, UK, 15 January 2019 - 17 January 2019.

Forschungsdaten in PANGAEA:

- von Jackowski, A.; Grosse, J.; Nöthig, E.-M.; Engel, A. (2022): Organic matter and phytoplankton measurements of Maria S. Merian cruise MSM77. PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.942624>
- von Jackowski, A.; Grosse, J.; Nöthig, E.-M. et al. (2022): Organic matter and phytoplankton measurements of POLARSTERN cruise PS114. <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.942618>
- Grosse, J.; Nöthig, E.-M.; Torres-Valdes, S. et al. (2021): Amino acid and carbohydrate patterns across Fram Strait during POLARSTERN cruise PS107
- von Jackowski, A.; Grosse, J.; Nöthig, E.-M. et al. (2020): Organic matter and bacteria measurements of POLARSTERN cruise PS114 and Maria S. Merian cruise MSM77. <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.915751>
- Nöthig, E.-M.; Lalande, C.; Fahl, K.; Metfies, K.; Salter, I.; Bauerfeind, E. (2020): Carbon, silicon, carbonate, seston, and biogenic and lithogenic export fluxes from sediment traps deployed in the Eurasian Arctic Ocean. PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.915057>
- Nöthig, E.-M.; Lalande, C.; Fahl, K. et al. (2020): Biomarker fluxes from sediment traps deployed in the Eurasian Arctic Ocean. <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.915058>

Weitere geplante Veröffentlichungen:

- Menge, M. & Nöthig, E.-M. et al. (in prep.) Phytoplankton succession in the eastern Fram Strait (August 2017 - July 2018) - Microscopic analysis of autonomously collected water samples -
- Nöthig et al. (in prep) Phytoplankton succession in the eastern Fram Strait during summer (2009 - 2019) and during 2 entire years (August 2017 - July 2019) - Microscopic analysis -

Die innerhalb dieses Projektes erhobenen Daten werden im Zuge der Langzeitbeobachtungen im AWI HAUSGARTEN immer wieder in nachfolgende Veröffentlichungen und Vorträge mit einfließen, da sie als Grundlage für weitere Untersuchungen im Gebiet der Framstraße dienen werden.

Öffentlichkeitsarbeit

- 2021 Mitarbeit beim Artikel im AWI Meereisportal: Meereisschmelze: ‚Ein ungeahnter Dominoeffekt‘ <https://www.meereisportal.de/de/archiv/2021-kurzmeldungen-gesamtexte/meereisschmelze-ein-ungeahnter-dominoeffekt/>
- 2021 Mitarbeit beim Artikel im AWI Meereisportal: ‚3.1.1 Veränderungen in der Arktis‘ im Kapitel Meereisökosysteme und Klimawandel‘ <https://www.meereisportal.de/de/meereiswissen/meereisbiologie/3-meereisoekosysteme-und-klimawandel/31-klimatisch-bedingte-veraenderung-der-produktionsraten-im-und-um-das-meereis/311-veraenderungen-in-der-arktis/>

Thesis

Menge, Michelle (2019). Phytoplankton succession at AWI LTER HAUSGRATEN (HG-IV, 25m) July 2017- July 2018. BA-thesis, University Bremen, pp. 87.

Weiteres, s. WP3 und WP5

Quellen

- Beszczynska-Möller, A., Fahrbach, E., Schauer, U. & Hansen, E. (2012). Variability in Atlantic water temperature and transport at the entrance to the Arctic Ocean, 1997-2010. ICES J. Mar. Sci. 69, 852-863.
- Fadeev, E. et al. (2021) Sea ice presence is linked to higher carbon export and vertical microbial connectivity in the Eurasian Arctic Ocean. Commun. Biol. 4, 1255 (2021).
- Lalande, C-.; Nöthig, E.-M.; Fortier, L. (2019): Export fluxes (diatom abundances, particulate organic carbon (POC), diatom carbon) from sediment traps deployed in the Eurasian Arctic Ocean. PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.901800>
- Nöthig, E.-M., Bracher, A., Engel, A., et al. (2015). Summertime plankton ecology in Fram Strait-a compilation of long-and short-term observations. Polar Res. 34, (2015).
- Soltwedel, T., Bauerfeind, E., Bergmann, M., Bracher, A., Budaeva, N., Busch, K., et al. (2016). Natural variability or anthropogenically-induced variation? Insights from 15 years of multidisciplinary observations at the arctic open-ocean LTER site HAUSGARTEN. Ecol. Indic. 65, 89-102. doi: 10.1016/j.ecolind.2015.10.001
- Von Appen, WJ., Waite, A.M., Bergmann, M. et al. (2021). Sea-ice derived meltwater stratification slows the biological carbon pump: results from continuous observations. Nat. Commun. 12, 7309. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26943-z>

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Verständnis der Verbindungen zwischen pelagischen mikrobiellen Ökosystemen und dem Kreislauf organischer Stoffe in der sich verändernden Arktis (MicroARC) - (WP2) Biomasse und Größenverteilung des einzelligen Planktons -	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Nöthig, Eva-Maria	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.12.2021
	6. Veröffentlichungsdatum
	7. Form der Publikation
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) AWI Alfred-Wegener-Institut Helmholtz Zentrum für Polar- und Meeresforschung Postfach 12 01 61 27515 Bremerhaven	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 03F0802B
	11. Seitenzahl 15
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 6 Referenzen
	14. Tabellen -
	15. Abbildungen 7
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Technische Informationsbibliothek (TIB)	
18. Kurzfassung Die Schlüsselrolle des Arktischen Ozeans bei der Regulierung des globalen Klimas reagiert sehr empfindlich auf den Klimawandel. Die Temperaturen in der Arktis sind in der jüngsten Vergangenheit stärker angestiegen als der globale Durchschnitt, was zu einem Verlust des mehrjährigen Meereises und zu grundlegenden Veränderungen in der Struktur und Funktion der Ökosysteme geführt hat. Es wird prognostiziert, dass sich die arktische Primärproduktion und biogeochemischen Kreisläufe verändern werden. Längere eisfreie Perioden und dünneres Meereis erhöhen die Lichtverfügbarkeit und steigern die Phytoplanktonproduktion, die auch durch den Anstieg des Kohlendioxids weiter stimuliert werden kann. MicroArc hatte das übergeordnete Ziel, unser Verständnis dafür zu verbessern, wie sich kurzfristige (z.B. saisonale) und langfristige (z.B. klimabedingte) Veränderungen der physikalischen Umwelt des Arktischen Ozeans auf pelagische mikrobielle Ökosysteme und auf die aktuelle und zukünftige Biogeochemie der organischen Substanz (OM) auswirken. Der Schwerpunkt unserer Aktivitäten lag auf der Forschungsaufgabe 1 des CAO-Programms: "Entwicklung eines quantifizierten Verständnisses der Struktur und Funktionsweise der arktischen Ökosysteme". Durch ein umfassendes, mehrere Standorte und Jahreszeiten umfassendes Fahrtprogramm haben wir wichtige Wissenslücken in Bezug auf die Zusammenhänge zwischen der Struktur und Funktion arktischer mikrobieller Ökosysteme in einem breiten Spektrum von Meereisumgebungen geschlossen. Unsere Probenahme-Strategie, die auch den selten beprobten Winter und das frühe Frühjahr einschloss, ermöglichte es uns, die Auswirkungen der arktischen Saisonalität auf die Struktur und Funktion mikrobieller Ökosysteme in Bezug auf den OM-Zyklus zu quantifizieren, so dass wir größere Veränderungen in der autotrophen und heterotrophen Produktion verfolgen konnten. Die Besonderheit der Kooperation der Teilprojekte besteht in der Zusammenführung theoretischer Aspekte (insbesondere Allometrie) und Planktoninteraktion in einem dynamischen Modell. Unter Verwendung ökologischer Daten zu zeitlichen und räumlich differenzierten Änderungen in der Planktongrößenverteilung und der Biogeochemie, soll das in MicroARC entwickelte Modell Ergebnisse liefern zu der Entwicklung vor und nach den eigentlichen Beobachtungszeiträumen. In WP2 lag der Fokus auf mikroskopischen Auswertungen der Einzeller sowie Erfassung von Langzeit-Biomassen Verteilungen und Veränderungen.	
19. Schlagwörter Arktis, saisonale Veränderungen, mikrobielle Gemeinschaften, organische Materie	
20. Verlag	21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final report
3. title Understanding the links between pelagic microbial ecosystems and organic matter cycling in the changing Arctic (Micro-ARC) - WP2: Biomass and size of unicellular plankton -	
4. author(s) (family name, first name(s)) Eva-Maria Nöthig	5. end of project 31.12.2021
	6. publication date
	7. form of publication
8. performing organization(s) (name, address) Alfred-Wegener-Institut Helmholtz Zentrum für Polar- und Meeresforschung Postfach 12 01 61 27515 Bremerhaven	9. originator's report no.
	10. reference no. 03F0802B
	11. no. of pages 15
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references 6
	14. no. of tables
	15. no. of figures 7
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date) Technische Informationsbibliothek (TIB)	
18. abstract The key role of the Arctic Ocean in regulating global climate is very sensitive to climate change. Temperatures in the Arctic have increased more than the global average in the recent past, resulting in the loss of perennial sea ice and fundamental changes in ecosystem structure and function. Arctic primary production and biogeochemical cycles are predicted to change. Longer ice-free periods and thinner sea ice increase light availability and enhance phytoplankton production, which may also be further stimulated by increases in carbon dioxide. MicroARC had the overarching goal of improving our understanding of how short-term (e.g., seasonal) and long-term (e.g., climate-driven) changes in the Arctic Ocean physical environment affect pelagic microbial ecosystems and current and future organic matter (OM) biogeochemistry. Our activities focused on Research Task 1 of the CAO program, "Develop a quantified understanding of Arctic ecosystem structure and functioning." Through a comprehensive, multi-site, multi-season cruise program, we addressed important gaps in our knowledge of the relationships between Arctic microbial ecosystem structure and function across a broad range of sea ice environments. Our sampling strategy, which included the rarely sampled winter and early spring, allowed us to quantify the effects of Arctic seasonality on microbial ecosystem structure and function in relation to the OM cycle, allowing us to track major changes in autotrophic and heterotrophic production. The distinctive feature of the subprojects' cooperation is the merging of theoretical aspects (especially allometry) and plankton interaction in a dynamic model. Using ecological data on temporally and spatially differentiated changes in plankton size distribution and biogeochemistry, the model developed in MicroARC will provide results on the evolution before and after the actual observation periods. In WP2, the focus was on microscopic evaluations of unicellular organisms and recording of long-term biomass distributions and changes.	
19. keywords Arctic, seasonal changes, microbial communities, organic matter.	
20. publisher	21. price