

Kiel, den 30.6.2022

Projekttitel

Untersuchungen der Bildungswege und Emissionen von
Spurengasen in einem sich wandelnden Arktischen Ozean
(PETRA)

[Pathways and Emissions of climate-relevant TRace gases in a
changing Arctic Ocean (PETRA)]



BMBF FKZ 03F0808A

Laufzeit: 1.7.2018 – 31.12.2021

Prof. Dr. Hermann W. Bange
Forschungsbereich Marine Biogeochemie
GEOMAR Helmholtz -Zentrum für Ozeanforschung Kiel
Düsternbrooker Weg 20
24105 Kiel
hbange@geomar.de

Hanna Campen, MSc
Forschungsbereich Marine Biogeochemie
GEOMAR Helmholtz -Zentrum für Ozeanforschung Kiel
Düsternbrooker Weg 20
24105 Kiel
hcampen@geomar.de

Teil I Kurzbericht

I. Kurze Vorhabenbeschreibung

1. Aufgabenstellung

PETRA untersucht die Bildungswege und Emissionen von Kohlenstoffmonoxid (CO) und Dimethylsulfid (DMS) in einem sich wandelnden Arktischen Ozean. Der Arktische Ozean ist ein hochsensibles Ökosystem und gilt als Indikator-Region für zukünftige -durch den Klimawandel hervorgerufene- Veränderungen im Erdsystem. Die klimarelevanten Spurengase Kohlenstoffmonoxid und Dimethylsulfid haben das Potenzial, Einfluss auf die Erwärmung der Atmosphäre zu nehmen – insbesondere über dem Arktischen Ozean. Zu ihren Bildungswegen und Emissionen im Arktischen Ozean ist aber noch relativ wenig bekannt. Insbesondere zu Kohlenstoffmonoxid fehlen Messungen um belastbare Aussagen und Prognosen treffen zu können. Hier setzt PETRA an und möchte mittels schiffsbasierten in-situ-Messungen vor Ort (in der Framstraße zwischen Ostgrönland und West-Spitzbergen) die Konzentrationen von CO und DMS in der Wassersäule bestimmen. Durch Inkubationsexperimente soll außerdem der Zusammenhang zwischen unterschiedlichen Umweltparametern, wie Licht, Ozeanversauerung, Nährstoffkonzentrationen und Phytoplankton- und Bakterienzusammensetzung und den Konzentrationen von CO und DMS untersucht werden.

2. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

GEOMAR hat langjährige Erfahrungen in der Messung von ozeanischen Spurengasen wie z.B. CO und DMS. Für die Messungen und Inkubationsexperimente erforderlichen Methoden und Messinstrumente (GC-FPD, Ametek CO-Analyzer mit integriertem RGD) waren am GEOMAR vorhanden und wurden schon auf anderen Messkampagnen (z.B. auf Meteor, Sonne und anderen Forschungsschiffen) erfolgreich eingesetzt. Das bisher bekannte Probenhandling und die Probeninjektion von CO-Headspace-Proben wurde in PETRA optimiert.

2. Ablauf des Vorhabens

2018:

- Juli/August 2018: Teilnahme an PS114 Polarstern-Expedition
- Labormessungen der Proben von PS114

2019:

- Teilnahme am CAO Jahrestreffen in Birmingham
- Vorbereitung der Teilnahme an der JR18007 -Kampagne
- August/September: Teilnahme an der Forschungsexpedition JR18007 in die Framstraße
- Labormessungen der Proben von JR18007, Auswertung der Daten

2020:

- Teilnahme am CAO Jahrestreffen in Potsdam
- Labormessungen, behindert durch zeitweilige Schließung des Labors am GEOMAR im Zuge der Corona-Pandemie; Auswertung der Daten

- Vorbereitung eines Artikels für 'Frontiers for Young Minds': "Tiny But Powerful: How Tiny Amounts of Certain Gases Can Make a Big Difference in the Earth's Climate".

2021:

- Abschluss der Labormessungen und Auswertung der Daten
- Veröffentlichung des Artikels für 'Frontiers for Young Minds': "Tiny But Powerful: How Tiny Amounts of Certain Gases Can Make a Big Difference in the Earth's Climate".
- Schreiben und Veröffentlichung eines Übersichtsartikels für die CAO-Special Issue in 'Ambio': "The role of a changing Arctic Ocean and climate for the biogeochemical cycling of dimethyl sulphide and carbon monoxide"
- Teilnahme am CAO Abschlusstreffen (virtuell)
- Vorbereitung des Artikels "Carbon monoxide (CO) cycling in the Fram Strait, Arctic Ocean"

3. Wesentliche Ergebnisse und Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Wesentliche Ergebnisse: Die in PETRA gesammelten Daten unterstreichen, dass die Umweltbedingungen in der Framstraße innerhalb kurzer zeitlicher und räumlicher Distanzen stark variieren und bestätigt, dass es notwendig ist, diese bei der Untersuchung der Bildungs- und Abbauewege von CO und DMS im Arktischen Ozean zu berücksichtigen. Darüber hinaus kann man davon ableiten, dass die An- bzw. Abwesenheit einer Eiskante bereits einen erheblichen Unterschied für die DMS und CO- Oberflächenkonzentrationen und damit potenziell auch die Emissionen in die Atmosphäre machen kann. Die Auswertung unserer Inkubationsexperimente ergaben keinen Einfluss von Ozeanversauerung auf die CO-Abbauratenkonstante und CO-Produktionsraten. Wir konnten mittels unserer Inkubationsexperimente zwei Umweltparameter identifizieren, die den CO-Abbau und die CO-Produktion in einem sich wandelnden Arktischen Ozean potentiell beeinflussen werden: Hohe Abundanzen von lichtabsorbierendem organischen Material (CDOM) und Nitratmangel haben einen verstärkenden Effekt und sowohl CO-Abbau als auch CO-Produktion könnten in Zukunft steigen. Um abzuschätzen, ob Abbau oder Produktion dominieren wird, sind weitere Experimente und Untersuchungen notwendig.

Zusammenarbeit: Es gab eine enge Zusammenarbeit mit den Kollegen/innen vom Plymouth Marine Laboratory (PML) in Plymouth in Bezug auf die Messkampagnen auf Polarstern und JCR, insbesondere bei den Inkubationsexperimenten und Unterwegs-Messungen. Außerdem wurde eine Kollaboration mit Jon Todd (University of East Anglia in Norwich, UK) initiiert, die sich mit dem Zusammenhang von Vorgängen auf molekularbiologischer Ebene und DMSO/P-Produktion bzw. -aufnahme beschäftigt. Außerdem wird in Zusammenarbeit mit Birthe Zäncker (Mar. Biol. Ass., Plymouth) der Zusammenhang von Bakteriengesellschaften und CO-Konzentration näher untersucht.

Teil II Eingehende Darstellung

1. Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse

Für die Laufzeit von PETRA wurde Frau Hanna Campen, MSc, als wissenschaftliche Mitarbeiterin angestellt. Die hier vorgestellten wissenschaftlichen Ergebnisse basieren auf den Arbeiten von Hanna Campen in PETRA.

Die wissenschaftlichen und technischen Arbeitsziele von PETRA waren:

- A. Messungen der Verteilung von CO und DMS (inkl. DMSP und DMSO) in der Wassersäule während der PS114 und JR18007-Expeditionen in der Framstraße (Arktischer Ozean) (-> *Beitrag zum PETRA Arbeitspaket (AP) 1*),
- B. Durchführung von Inkubationsexperimenten während der PS114 und JR18007-Expeditionen zur Bestimmung der vorherrschenden CO- und DMS- Bildungs- und Abbauege (inkl. DMSP und DMSO) und der Empfindlichkeit der CO- und DMS- Bildungs- und Abbauege sowohl gegenüber der voranschreitenden Ozeanversauerung (mit pH Manipulationsexperimenten) als auch gegenüber weiteren Umweltparametern (Licht, Nährstoffe, Zusammensetzung der Phytoplankton- und Bakteriengesellschaften) (-> *Beitrag zum PETRA AP 3*) und
- C. Quantifizierung der CO- und DMS- Emissionen aus dem Arktischen Ozean (-> *Beitrag zum PETRA AP 2*)

In folgenden werden die wichtigsten wissenschaftlichen und technischen Ergebnisse dargestellt:

Arbeitsziel A (-> PETRA AP 1).

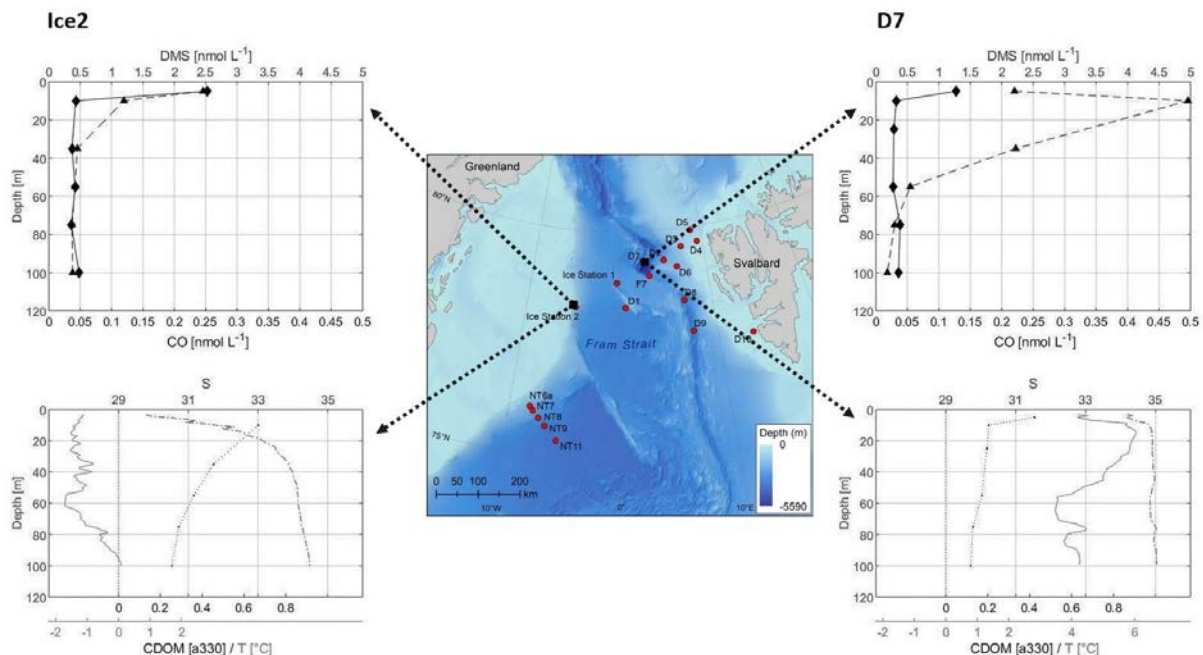


Abb. 1: DMS und CO Tiefenprofile an zwei gegensätzlichen Stationen in der Framstraße, Arktischer Ozean. Station Ice2 (links) befand sich nahe einer Eiskante und D7 im offenen Ozean (siehe Fahrtskizze in der Mitte). Die oberen Graphen zeigen die DMS- (Dreiecke, gestrichelte Linie) und CO-Konzentrationen (Diamanten, durchgezogene Linie) in nmol L⁻¹. Die unteren Graphen zeigen weitere ozeanographische Parameter: Salinität (gepunktet-gestrichelte Linie, obere Achse), CDOM Absorption bei 300 nm (gepunktete Linie, schwarze untere Achse) und Temperatur (durchgezogene graue Linie, untere Achse).

Abb. 1 zeigt ausgewählte Daten von zwei sehr kontrastreichen Stationen in der Framstraße, an denen die Wassersäule bis 100 m hinsichtlich DMS, CO, CDOM, Salinität und Temperatur untersucht wurde. Es wurden auch Inkubationsexperimente an diesen Stationen durchgeführt, auf die wir später noch zu sprechen kommen. Die Daten wurden auf der JR18007-Expedition in der Framstraße im Aug/Sep 2019 gesammelt und verdeutlichen die stark variierenden Umweltcharakteristika im Arktischen Ozean, die Auswirkungen auf die CO- und DMS-Konzentrationen haben können. Die Profile von Salinität und Temperatur zeigen, dass das Oberflächenwasser an der Schelfkante an Station Ice2 arktischen Ursprungs war (Ice2): Frischwassereinfluss bei 5 m, Temperatur -1°C , durchmischte Wassersäule), wohingegen die Oberflächenwasser an der Station D7 im offenen Ozean dem nördlichen Atlantik zu entstammen scheinen (D7: vergleichsweise wärmer und salziger, weniger durchmischte Wassersäule zwischen 10 und 50 m). Die CO-Konzentrationen waren generell in der Oberfläche (5m) und vor allem in der Nähe der Eiskante höher (Ice2: 0.25 nmol L^{-1} , D7: 0.13 nmol L^{-1}). DMS Konzentrationen waren eher unterhalb von 10 m Wassersäule und in der Station D7 im offenen Ozean höher (D7: 5.0 nmol L^{-1} , Ice2: 1.2 nmol L^{-1} jeweils bei 10 m). Generell waren die CO-Konzentrationen relativ gering im Vergleich zu publizierten Daten. Dies spiegelt vermutlich saisonale Unterschiede wieder.

Arbeitsziel B (-> PETRA AP 3).

Auf der JR18007-Expedition im Juli/August 2019 in die Framstraße wurden auch die geplanten vier Inkubationsexperimente durchgeführt. Ziel war es zu untersuchen, ob und welchen Einfluss verschiedene Umweltparameter in einem sich wandelnden Arktischen Ozean auf die Entwicklung von CO- und DMS- Konzentrationen haben. Die Experimente liefen über 48h und wurden im Licht und im Dunklen durchgeführt. Wir fokussieren uns hier auf die Ergebnisse der CO-Konzentrationen. Es zeigte sich, dass die Rate der CO-Konzentrations-Abnahme im Dunklen in erster Linie von der Ausgangskonzentration abhängt und somit einer Rate 1. Ordnung folgt (Abb. 2). Folglich konnten wir für jedes Experiment eine Abbauratenkonstante bestimmen und miteinander vergleichen.

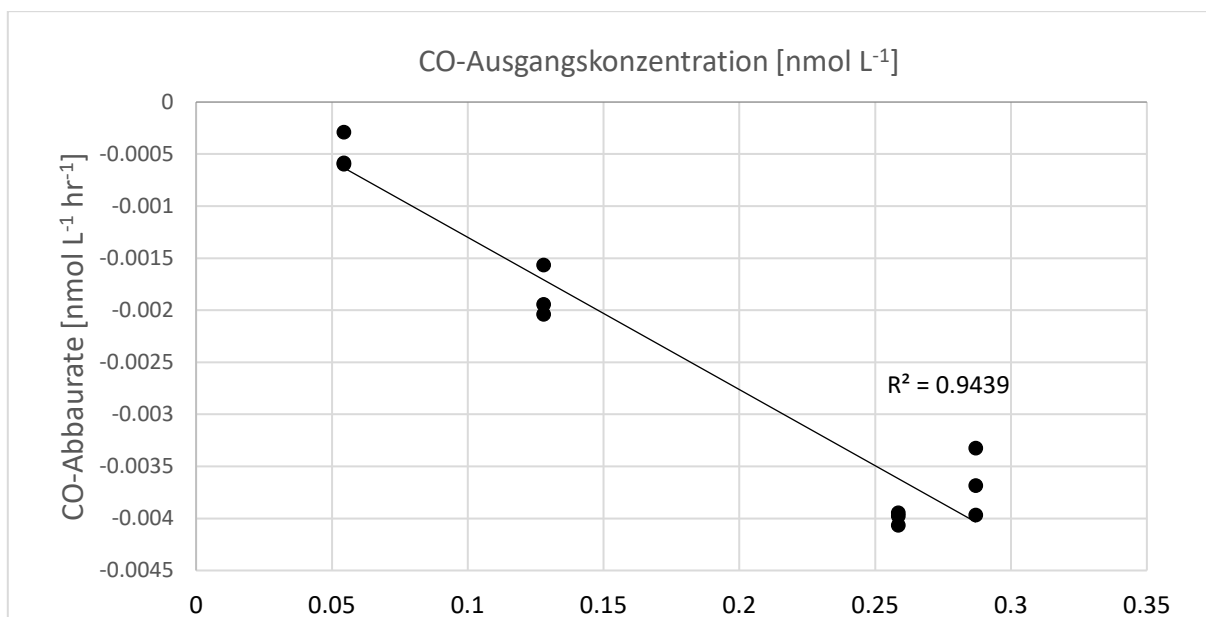


Abb.2: Die CO-Abbauraten ($\text{nmol L}^{-1} \text{ hr}^{-1}$) der einzelnen Inkubationsexperimente korrelieren negativ mit der CO-Ausgangskonzentration (nmol L^{-1}).

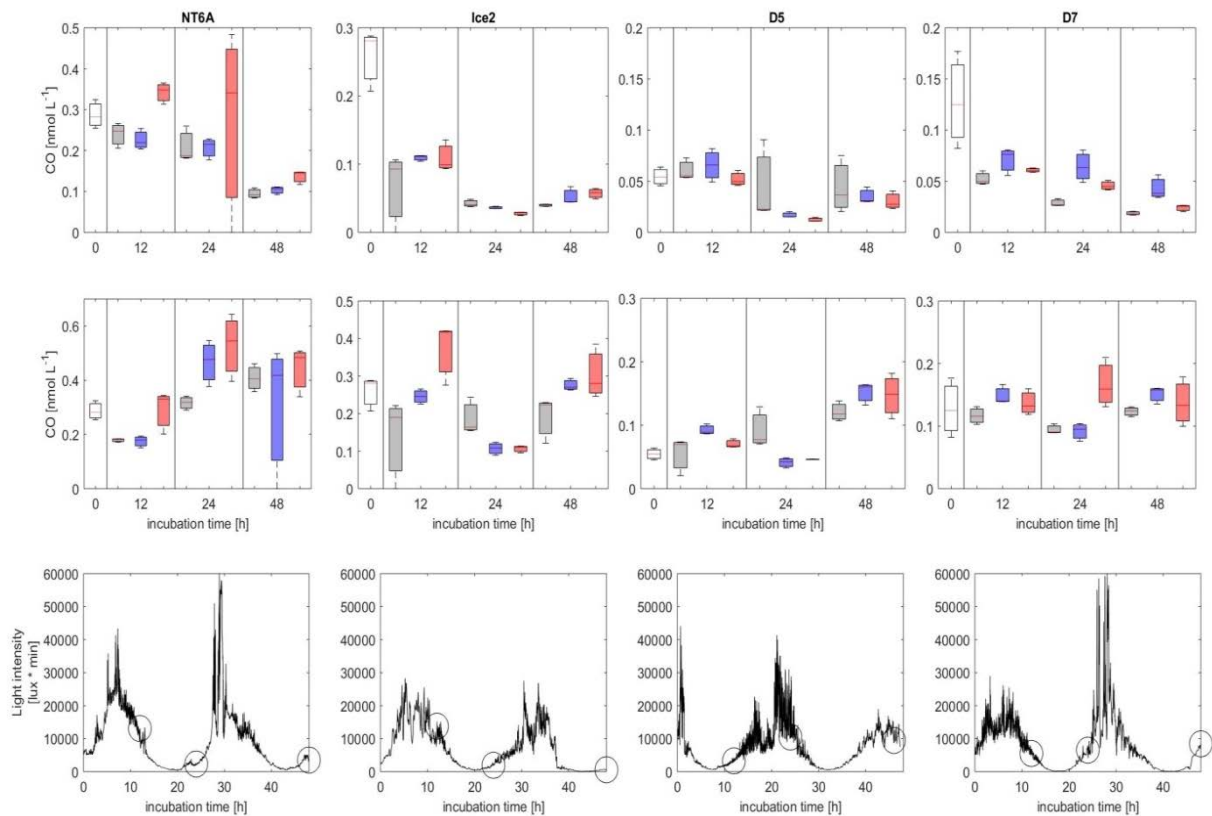


Abb. 3: Entwicklung der CO-Konzentration über 48 Stunden in Dunkelheit (oben) und im Licht (unten), in den Inkubationsflaschen mit unterschiedlichen pH-Levels (grau=Kontrolle, blau=pH Level 1, rot=pH Level 2). Anmerkung: Die Achsenskalierungen variieren entsprechend der jeweiligen maximalen CO-Konzentration.

Als Übersicht ist der Verlauf der CO-Konzentrationen über die Zeit während der Inkubationsexperimente an den einzelnen Stationen in Abb. 3 dargestellt. Die CO-Ausgangskonzentrationen variierten zwischen den Stationen und abhängig von ihrer Höhe sanken sie im Dunkeln unterschiedlich stark über die Zeit. Im Licht fand an allen Stationen CO-Produktion statt, jedoch erklärte die einfallende Lichtintensität nicht die CO-Produktionsraten, sondern weitere Faktoren spielten dafür eine Rolle. Dabei ließ sich kein Einfluss von Ozeanversauerung auf die CO-Abbauratenkonstanten und CO-Produktionsraten beobachten (Abb. 4).

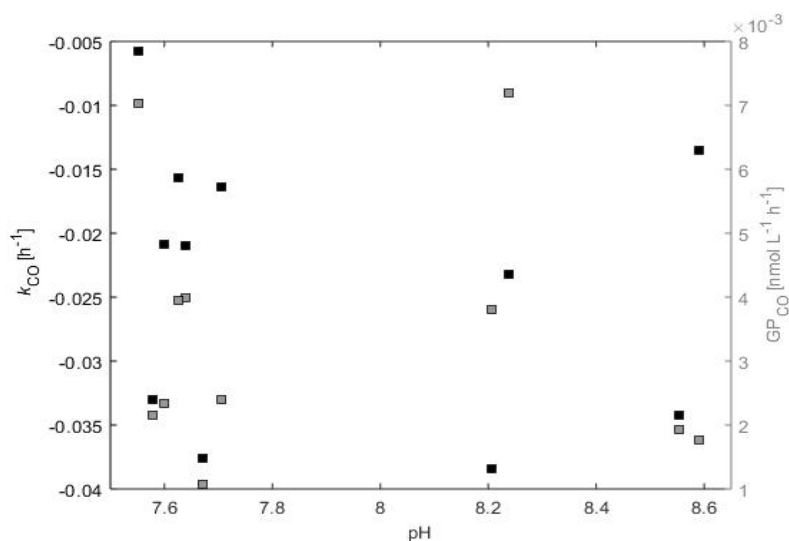


Abb.4: pH (als Indikator der Ozeanversauerung) vs. CO-Abbauratenkonstanten (schwarz, k_{CO}) und CO-Produktionsraten (grau, GP_{CO}).

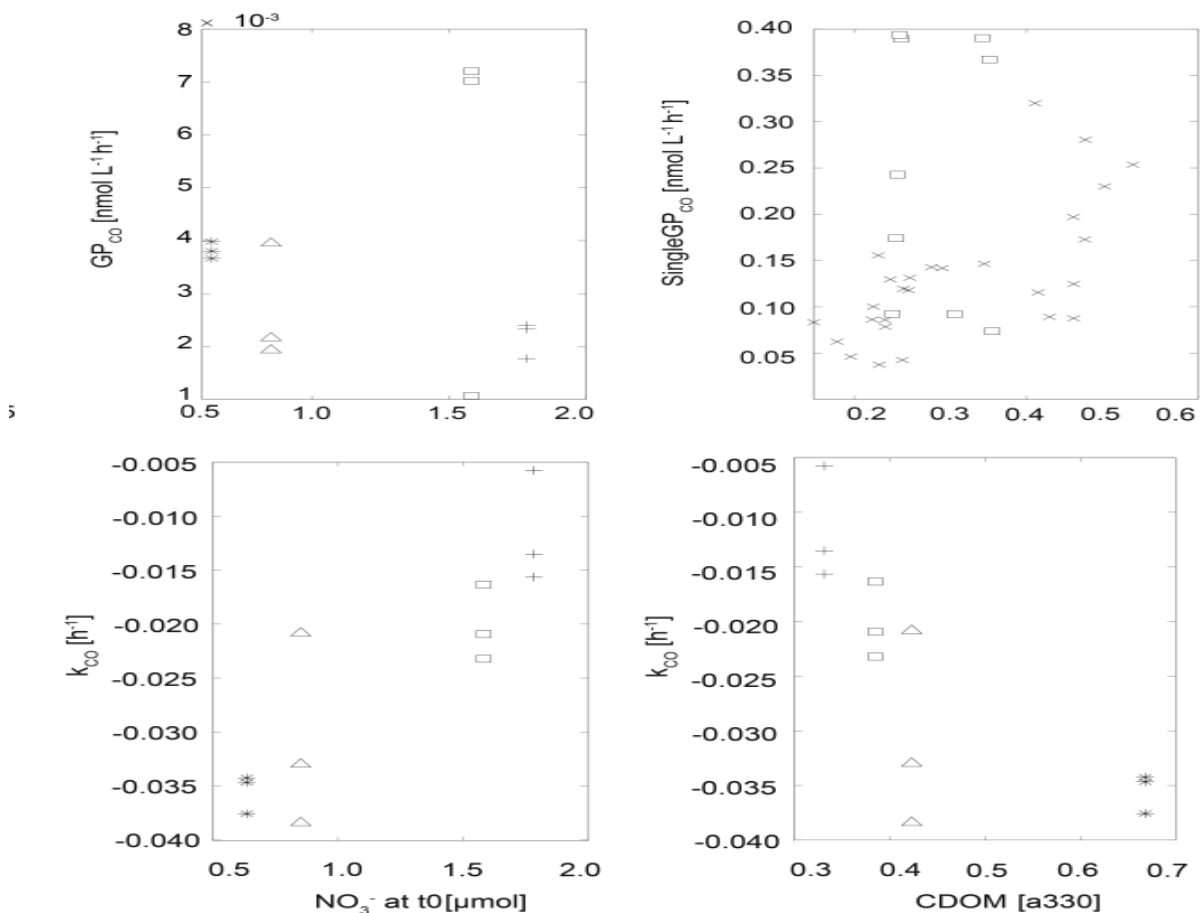


Abb.5: Obere Reihe: Zusammenhang zwischen CO-Produktionsrate (GP_{CO}) und Nitrat (links) bzw. CDOM (rechts). Untere Reihe: Zusammenhang zwischen CO-Abbauratenkonstante (k_{CO}) und Nitrat (links) bzw. CDOM (rechts). \square = NT6A, $*$ = Ice2, $+$ = D5, Δ = D7, \times = CDOM-Werte einzelner Zeitpunkte aller Stationen (außer NT6A).

Die unterschiedlich hohen Abbauratenkonstanten scheinen dabei in erster Linie von den Ausgangsmengen von CDOM und auch von der Nitratkonzentration abzuhängen (Abb. 5). Die Daten zeigen einen Zusammenhang zwischen der CO-Abbauratenkonstante (Abb. 5 untere Reihe) sowohl mit CDOM, dem Vorläufermolekül von CO im Oberflächenwasser, als auch mit Nitrat. Nitratmangel scheint einen verstärkenden Effekt auf die CO-Abbauratenkonstante zu haben (Abb. 5 unten links). Hohe CDOM-Konzentrationen haben erwartungsgemäß einen verstärkenden Effekt auf die CO-Produktion (oben rechts) und in Folge darauf auch einen verstärkenden Zusammenhang mit der CO-Abbauratenkonstante (Abb. 5 unten rechts).

Zusammenfassung A-B:

- A. Die in PETRA gesammelten Daten unterstreichen, dass die Umweltbedingungen in der Framstraße innerhalb kurzer zeitlicher und räumlicher Distanzen stark variieren und bestätigt, dass es notwendig ist, diese bei der Untersuchung der Bildungs- und Abbauege von CO und DMS im Arktischen Ozean zu berücksichtigen. Darüber hinaus kann man davon ableiten, dass die An- bzw. Abwesenheit einer Eiskante bereits einen erheblichen Unterschied für die DMS und CO- Oberflächenkonzentrationen und damit potenziell auch die Emissionen in die Atmosphäre machen kann.
- B. Die Auswertung unserer Inkubationsexperimente ergaben keinen Einfluss von Ozeanversauerung auf die CO-Abbauratenkonstante und CO-Produktionsraten. Wir

konnten mittels unserer Inkubationsexperimente zwei Umweltparameter identifizieren, die den CO-Abbau und die CO-Produktion in einem sich wandelnden Arktischen Ozean potentiell beeinflussen werden: Hohe Abundanzen von lichtabsorbierendem organischen Material (CDOM) und Nitratmangel haben einen verstärkenden Effekt und sowohl CO-Abbau als auch CO-Produktion könnten in Zukunft steigen. Um abzuschätzen, ob Abbau oder Produktion dominieren wird, sind weitere Experimente und Untersuchungen notwendig.

Die CO- und DMS- Messungen wurden den Projektpartnern vom PML zur Modellierung der CO- und DMS- Produktion bzw. Abbauprozessen im Arktischen Ozean zur Verfügung gestellt (-> PETRA AP 4).

Arbeitsziel C (-> PETRA AP 2).

Leider kam es durch die Corona-Pandemie zu einer erheblichen Verzögerung in der Durchführung des Projektes, was vor allem das Erreichen von Arbeitsziel C betrifft. Zurzeit werden CO- und DMS- Messungen aus dem Arktischen Ozean zusammengestellt. Diese Datensammlung wird als Grundlage für eine beckenweite Abschätzung der Spurengas-Emissionen aus dem Arktischen Ozean, unter Berücksichtigung der saisonalen Eisbedeckung, dienen.

Detaillierte Beschreibung der Arbeiten in PETRA

Ab 1. Juli 2018:

Kontinuierliche Unterwegs-Messungen (underway) von Methan (CH₄), Distickstoffmonoxid (N₂O) und Kohlenstoffdioxid (CO₂) in der Ozeanoberfläche während der PS114-Expedition. Zur Erweiterung der bisher wenigen Datenpunkte dieser Gase in arktischen Gewässern, um die natürliche Variabilität und Wechselwirkungen mit weiteren hydrodynamischen Parametern zu untersuchen.

- a) Messungen diskreter Proben von CH₄, N₂O, CO₂, Dimethylsulfid/-sulfoxid/-propionat (DMS/O/P) an ausgewählten Stationen, um die physikalische und biogeochemische Umgebung zu charakterisieren, die die Produktions- und Aufnahmeprozesse dieser Gase in der Arktis beeinflussen
- b) An vier ausgewählten Stationen wurden Inkubationsexperimente mit verschiedenen Zukunftsszenarien durchgeführt um den Einfluss von Ozeanversauerung (N₂O, CH₄, DMS), Erwärmung (N₂O, CH₄) und erhöhter Lichteinstrahlung (DMS) auf Produktions- und Aufnahmeprozesse der Spurengase im Arktischen Ozean zu untersuchen. Bei den Experimenten wurden die Temperatur (aktuell und +2°C), der pH (durch entsprechende Zugabe von 1M HCl und 1M Hydrogencarbonat) und die Lichtverfügbarkeit (natürliches Sonnenlicht inkl. UVA/B, Dunkelheit) manipuliert.
- c) Desweiteren wurden CDOM Proben genommen, um dessen horizontale sowie vertikale Verteilung mit Kohlenstoffmonoxid (CO)- Bildung in Beziehung zu setzen. Zusätzlich wurden UV-Lichtmessungen durchgeführt.
- d) DNA Proben wurden ebenfalls genommen um die Verteilung CO oxidierender Bakterien zu untersuchen (Kollaboration mit Carolin Löscher, University of Southern Denmark, Odense, DK)

2019

Im Januar 2019 hat Das PETRA-Projektteam am CAO Jahrestreffen in Birmingham teilgenommen. Hier wurde das Projektvorhaben deutscher sowie britischer Projektpartner auf Postern und durch Vorträge der CAO-Community vorgestellt.

In den Folgemonaten wurde die nächste PETRA-Expedition auf der James Clark Ross (JR18007) vorbereitet, die im August stattfand. Zentraler Bestandteil der Expeditionsvorbereitungen war die intensive Auseinandersetzung mit der Messmethodik für Kohlenstoffmonoxid (CO). Dazu wurden ausführliche Experimente zur Probenhandhabung, zum experimentellen sowie instrumentellen Aufbau durchgeführt. Hierbei wurde die bestehende CO-Headspace-Messmethode (in gasdichten 100 ml Flaschen) erfolgreich weiterentwickelt. Infolgedessen konnten auf der JR18007 im August erste erfolgreiche CO-Felddaten (Tiefenprofile und Inkubationsexperimente) mit unserem Gerät aufgenommen werden.

Im August 2019 haben 7 Personen (3x GEOMAR, 4x PML) des PETRA-Projektteams an der James-Clark-Ross-Expedition (JR18007) vom 03. August 2019 bis 07. September 2019 teilgenommen. Auf der Fahrt in der Framstraße (s. Abb. 6) wurden die Messungen und Experimente des Vorjahres (PS114) weitestgehend wiederholt (Details s.u.). Zusätzlich wurden Proben für die molekulargenetische Analyse DMSP-verstoffwechselnder Organismen genommen. Diese werden innerhalb einer Kollaboration mit Dr. Jon Todd, University East Anglia (UEA), analysiert und mit unseren Messungen von Dimethylsulphid/sulphoxid/propionat (DMS/O/P) in Zusammenhang gebracht.

Auf der JR18007 wurden folgende Messungen entsprechend der Projektziele durchgeführt:

- Messungen diskreter Proben von CO, CH₄, N₂O, DMS/O/P, Primärproduktion an ausgewählten Stationen, um die physikalische und biogeochemische Umgebung zu charakterisieren, die die Produktions- und Aufnahmeprozesse dieser Gase in der Arktis beeinflussen
- An vier ausgewählten Stationen wurden Inkubationsexperimente mit verschiedenen Zukunftsszenarien durchgeführt um den Einfluss von Ozeanversauerung (N₂O, CH₄, DMS), Erwärmung (N₂O, CH₄) und erhöhter Lichteinstrahlung (CO, DMS) auf Produktions- und Aufnahmeprozesse der Spurengase im Arktischen Ozean zu untersuchen. Bei den Experimenten wurden die Temperatur (aktuell und +2°C für CH₄, N₂O), der pH (durch entsprechende Zugabe von 1M HCl und 1M Hydrogencarbonat, für alle Gase) und die Lichtverfügbarkeit (natürliches Sonnenlicht inkl. UVA/B, Dunkelheit, für CO, DMS) manipuliert.
- Desweiteren wurden bei Tiefenprofilmessungen und Inkubationsexperimenten CDOM-Proben genommen, um dessen horizontale sowie vertikale Verteilung mit Kohlenstoffmonoxid (CO)- Bildung in Beziehung zu setzen.

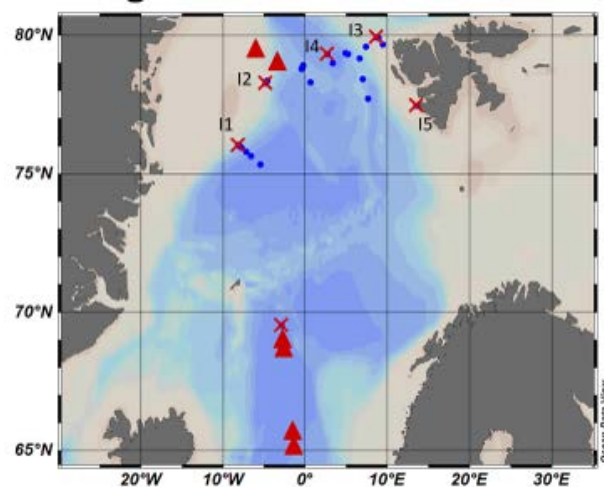


Abb. 6: JR18007 Route in der Framstraße;
 Punkt=Station, Kreuz=Start Inkubationsexperiment &
 Tiefenprofil, Dreieck=Start Primärproduktionsexperiment

- d) Außerdem wurden Pigmentproben genommen, um Rückschlüsse auf photosynthetisch-aktive Organismen zu ermöglichen, die an biologischer CO-Produktion beteiligt sein könnten.
- e) DNA Proben wurden ebenfalls genommen um die Verteilung und Entwicklung DMSO/P produzierender Organismen zu untersuchen (Jon Todd, UEA)

Ab Oktober wurden die Probenmessungen im Heimlabor begonnen bzw. vorbereitet. Außerdem wurde die Auswertung der CO-Daten nach erfolgreicher Qualitätsprüfung begonnen. Die DMS-Daten, die auf der JR18007 gemessen wurden, liegen vor. Außerdem wurden weitere Datensätze, die für die Interpretation unserer Daten entscheidend sind, von den Projektpartnern und der Fahrtleitung bezogen. Die CDOM-Proben sind fast vollständig analysiert und werden im nächsten Schritt mit den CO-Daten der JR18007 in Beziehung gesetzt. Mit den DMSP/O wurde begonnen. In den nächsten Schritten werden die CO und DMS Daten in Relation mit weiteren Parametern (Licht, Chl a, Sauerstoff, Salinität, Nährstoffe) gesetzt.

Im November wurde außerdem ein Artikel über CO und DMS für eine jugendliche Zielgruppe verfasst und bei der Kollektion „Changing Arctic Ocean“ in der Rubrik “The Earth and its Resources” des Journals „Frontiers for Young Minds“ eingereicht. Der Artikel befindet sich seit November im Reviewprozess, der sich laut Frontiers durch die Corona-Pandemie leider noch weiter verzögern wird.

2020

Im Januar 2020 hat das PETRA-Projektteam am CAO Jahrestreffen in Potsdam teilgenommen. Hier wurde der Projektfortschritt deutscher sowie britischer Projektpartner auf Postern und durch Vorträge der CAO-Community vorgestellt und diskutiert.

Im Januar bis März wurden DMSO/P-Proben, die auf der PETRA-Expedition auf der James Clark Ross (JR18007) im August 2019 genommen wurden, im Labor begonnen zu messen. Die CDOM- sowie Pigment-Messungen wurden fertig gestellt.

Im April bis Juli lagen unter anderem durch die pandemie-bedingte Home-Office Situation ganz im Zeichen der Datenauswertung von der JR18007-Expedition. Alle ergänzenden Datensätze zur Einordnung und Auswertung der CO und DMS-Daten wurden bereits von Projektpartnern akquiriert und liegen vor. Der CO-Datensatz wurde fertig ausgewertet und zentrale Berechnungen wurden angestellt. Außerdem wurde an einem Outreach-Projekt mitgearbeitet, bei dem ein Quartettspiel zu Themen des Projektes „Changing Arctic Ocean“ entworfen wurde. Wir haben Zeichnungen und Inhalte für den PETRA-Themenblock gestaltet.

Im August gab es die erste Rückmeldung zum Artikel über CO und DMS im internationalen Journal „Frontiers for Young Minds“ in der Kollektion „Changing Arctic Ocean“ in der Rubrik “The Earth and its Resources” für eine jugendliche Zielgruppe. Er wurde zur Veröffentlichung angenommen. Letzte Korrekturen wurden in den darauffolgenden Wochen vorgenommen (im folgenden Januar wurde der Artikel veröffentlicht).

Im August bis Dezember In den nächsten Schritten wurden die von den Tiefenprofilen und Inkubationen stammenden CO und DMS Daten in Verbindung mit weiteren Parametern (Licht, Chl a, Sauerstoff, Salinität, Nährstoffe) ausführlich untersucht, nach Zusammenhängen geschaut und weitere Berechnungen angestellt. Anschließend wurde mit der Vorbereitung

eines Manuskriptes zur Veröffentlichung der CO-Daten im internationalen Fachjournal „Biogeosciences“ begonnen.

Außerdem wurden regelmäßige Online-Besprechungen sowohl mit den Projektpartnern aus der Arbeitsgruppe von Jon Todd (UEA) durchgeführt als auch mit den britischen PETRA-Kollaborationspartnern durchgeführt um die Zusammenarbeit voranzutreiben und auch in Pandemie-Zeiten ein Teamarbeitsgefühl aufrecht zu erhalten. In der Kollaboration mit Jon Todd werden molekulargenetische Proben DMSP-verstoffwechselnder Organismen mit unseren Messungen von Dimethylsulphid/-sulphoxid/-propionat (DMS/O/P) in Zusammenhang gebracht.

2021

Im Januar wurde der Artikel in Frontiers for Young Minds „Tiny but Powerful“ über CO und DMS für eine jugendliche Zielgruppe und bei der Kollektion „Changing Arctic Ocean“ in der Rubrik “The Earth and its Resources” des Journals „Frontiers for Young Minds“ veröffentlicht. Im Februar bis April wurde ein Überblicksartikel mit dem Titel „The role of a changing Arctic Ocean and climate for the biogeochemical cycling of dimethyl sulphide and carbon monoxide“ für die Fachzeitschrift Ambio verfasst. Der Artikel wurde im August desselben Jahres veröffentlicht. Anschließend bereiteten wir eine weitere Veröffentlichung vor, die die Ergebnisse der Inkubationsexperimente vorstellt. Der Titel lautet „Carbon monoxide (CO) cycling in the Fram Strait, Arctic Ocean“. Außerdem ist ein weiterer Artikel in Planung und Vorbereitung, der die Zusammenhänge zwischen der bakteriellen Zusammensetzung in der Wassersäule und der Konzentrationsverteilung von Kohlenstoffmonoxid in der Framstraße behandeln soll. Dies geschieht in Zusammenarbeit mit Birthe Zäncker (Mar Biol Ass in Plymouth).

2. Wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Pos. 0813 Material

- Verbrauchsmittel zur Messung von CO und DMS/P/O in Seewasserproben an Bord und im Labor; und während der Inkubationsexperimente an Bord.

Pos. 0837 Personal

- Anstellung von Frau Hanna Campen, MSc (wissenschaftliche Mitarbeiterin, Doktorandin; E13, 75%, 42 Monate): Koordination der Labormessungen, Koordination der Inkubationsexperimente; Teilnahme an der FS Polarstern-Ausfahrt PS114 (Juli/August 2018) und der JCR-Ausfahrt JR18007 (Aug./Sept 2019): Arktischer Ozean, Fram-Straße. Auswertung der finalen CO- und DMS/P/O- Datensätze, Koordination der Zusammenarbeit mit den Kollegen/innen vom PLM, Organisation von etlichen Videokonferenzen mit den Kollegen von PML, Berichtswesen: Erstellen von Zwischenberichten und Schlussbericht, Veröffentlichung der Daten in Fachzeitschriften.

- Anstellung von Frau Tina Baustian (Technikerin, E9b, 50%, 24 Monate): Technische Unterstützung der Messungen im Labor und an Bord. Organisation der Logistik (Containertransporte, Gefahrgut-/Zolllisten für JR18007).

- Entgelte für studentische Hilfskräfte: Labormessungen von DMSP/DMSO-Proben, Hilfe bei den Messungen während der PS114 und JR18007 Ausfahrten.

Pos. 0850 Reisekosten & Containertransporte

- Reisekosten für Teilnahme an Projekttreffen (Birmingham, Potsdam) und Ausfahrten (PS114, JR18007). Notwendige Kosten zur Verschickung des Expeditionsausrüstung zu den Fahrten.

Pos. 0860G Verwaltungsgemeinkosten auf Personal
- Administrative Betreuung von PETRA durch die GEOMAR-Verwaltung.

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Die geleistete Arbeit war notwendig, weil das Projekt sonst nicht durchgeführt hätte werden können und angemessen, weil das Projekt erfolgreich durchgeführt wurde:

1) Die durch die studentischen Hilfskräfte und Frau Baustian geleisteten Arbeiten waren notwendig und angemessen, um die langwierigen DMSP- und DMSO-Messungen im Labor und die CO- und DMS/P/O- Messungen an Bord erfolgreich durchzuführen.

2) Frau Hanna Campen hat durch ihren Einsatz ganz wesentlich dazu beigetragen, dass PETRA zu einem Erfolg geworden ist. Ohne ihre wissenschaftliche Autorität als Doktorandin und ihre Arbeit wären die Inkubationsexperimente für CO und DMS nicht erfolgreich zustande gekommen. Darüber hinaus hat Frau Campen die Ergebnisse von PETRA als Erstautorin in Fachzeitschriften veröffentlicht.

3) Die von der GEOMAR-Verwaltung geleistete Verwaltungsarbeit für PETRA war ebenfalls notwendig und angemessen.

4. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit (fortgeschriebener Verwertungsplan)

Alle Projektdaten werden in Datenbanken (z.B. PANGAEA, MEMENTO; SOCAT; BODC – British Oceanographic Data Centre etc.) archiviert und veröffentlicht. Somit werden alle Projektdaten spätestens zwei Jahre nach Projektende (Dez. 2023) der internationalen Öffentlichkeit (Forschern und Forschungsstellen, Behörden, Entscheidungsträgern etc.) zugänglich sein und die Projektergebnisse werden in entsprechenden Fachzeitschriften veröffentlicht. Darüber hinaus sollen die Projektergebnisse zur Verbesserung der Parametrisierung der CO- und DMS-Bildung und -Emissionen in biogeochemischen Modellen führen. Dessen Projektionen können in internationale Berichte zur Abschätzung der zukünftigen Folgen des globalen Klimawandels in der Arktis einfließen. Durch die Zusammenarbeit im CAO Projekt wurde deutschen und britischen Studenten/innen und Mitarbeitern/innen die Möglichkeit geboten, Ideen für zukünftige gemeinsame Forschungsprojekte und deutsch-britische Kollaborationen zu entwickeln. Es ist z.B. vorstellbar, dass weitere Expeditionen in die Framstraße oder angrenzende Gebiete in Kooperation mit den britischen Partnern durchgeführt werden, um weitere Fragestellungen zur Biogeochemie klimarelevanter Spurengase in der Arktis und deren globale Auswirkungen zu untersuchen.

5. Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens von anderer Seite

Sind nicht bekannt.

6. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Veröffentlichungen

- **Campen, H.** and **Bange, H. W.:** Tiny but powerful: how tiny amounts of certain gases can make a big difference, *Frontiers for Young Minds*, 9:516417, 2021; doi: 10.3389/frym.2021.516417.
- **Campen, H. I.**, Arévalo-Martínez, D. L., Artioli, Y., Brown, I. J., Kitidis, V., Lessin, G., Rees, A. P., and **Bange, H. W.:** The role of a changing Arctic Ocean and climate for the biogeochemical cycling of dimethyl sulphide and carbon monoxide, *Ambio*, 51, 411-422, 2022; doi: 10.1007/s13280-021-01612-z.
- Rees, A. P., **Bange, H. W.**, Arévalo-Martínez, D. L., Artioli, Y., Ashby, D. M., Brown, I., **Campen, H. I.**, Clark, D. R., Kitidis, V., Lessin, G., Tarran, G. A., and Turley, C.: Nitrous oxide and methane in a changing Arctic Ocean, *Ambio*, 51, 398-410, 2022; 10.1007/s13280-021-01633-8.

Geplante Veröffentlichungen

- **Campen, H. I.**, Arévalo-Martínez, D. L., and **Bange, H. W.:** Carbon monoxide (CO) cycling in the Fram Strait, Arctic Ocean, *Limnology and Oceanography Letters*, in preparation, 2022.