

Juni 2014

Abschlussbericht des BMBF-Forschungsprojekts

Die Rolle pelagischer Amphipoden im Hinblick auf die Erwärmung des Arktischen Ozeans

Projektleiter:

Prof. Dr. Ulrich V. Bathmann, Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde

Projektverantwortliche am AWI:

Dr. Eva-Maria Nöthig, Stiftung Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung

Autoren:

Prof. Dr. Ulrich V. Bathmann und Dr. Eva-Maria Nöthig

Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2011 bis 31.03.2014

Berichtszeitraum: 01.04.2011 bis 31.03.2014

Förderkennzeichen: 03F0629A

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03F0629A gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Inhaltsverzeichnis

I. Kurze Darstellung

1 Aufgabenstellung	1
2 Voraussetzungen, unter denen das FE-Vorhaben durchgeführt wurde	1
3 Planung und Ablauf des Vorhabens	2
4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	3
5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	4

II. Eingehende Darstellung

1 Erzielte Projektergebnisse mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele	5
1.1 Gemeinschaftsstrukturen und saisonale Lebenszyklen der freischwimmenden Amphipoden <i>Themisto</i> spp. und <i>Cyclocaris guilelmi</i> in der europäischen Arktis	9
1.1.1 Amphipodenbestände aus den epipelagischen Wasserschichten	9
1.1.2 Amphipodenbestände aus den meso- und bathypelagischen Wasserschichten	14
1.1.3 Neue biogeographische Ausbreitung der nordatlantischen Amphipodenart <i>Themisto compressa</i> als Indikator des Klimawandels in der Arktis	16
1.2 Fressverhalten und Nährwert pelagischer Amphipoden im Arktischen Nahrungsnetz	17
1.2.1 Ergebnisse der Mageninhaltsanalysen	17

1.2.2 Nährwert, Lipidklassen- & Fettsäurezusammensetzung	20
1.3 Optimierung und Anpassung von Amphipodendaten für ihren Einsatz in gekoppelten Modellsystemen	22
1.3.1 Potentielle Veränderungen im arktischen Nahrungsnetz	22
1.3.2 Toy-Modell-Ansatz in Kooperation mit dem Umweltforschungszentrum Leipzig	24
2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	28
3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	28
4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit der Projektergebnisse	29
4.1 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende	29
4.2. Wissenschaftlich-technische Erfolgsaussichten nach Projektende	29
4.3 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit	30
5 Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	31
6 Erfolgte und geplante Veröffentlichung der Forschungsergebnisse	31
Quellen	34

Anlagen: Erfolgskontrollbericht; Berichtsblatt

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Position, Zeitpunkt der Probennahme, Wassertiefe und Verankerungstiefe der eingesetzten Sinkstofffallen im Langzeitobservatorium HAUSGARTEN, die während dieser Studie im Hinblick auf das Vorkommen pelagischer Amphipoden untersucht wurden	7
Tabelle 2: Im Rahmen dieser Studie durchgeführte Schiffsexpeditionen während des polaren Sommers und Winters im Seegebiet zwischen dem Svalbard-Archipel und Grönland	7
Tabelle 3: Vorkommen und Vertikalverteilung der während dieser Studie erfassten Amphipodenarten aus Planktonnetzfangen und Sinkstofffallen in der nördlichen Framstraße und den Gewässern um das Svalbard Archipel	11
Tabelle 4: Allometrische Populationsdaten der vier schwerpunktmäßig untersuchten Amphipodenarten <i>Themisto abyssorum</i> , <i>T. libellula</i> , <i>T. compressa</i> und <i>Cyclocaris guilelmi</i> basierend auf Netzfängen aus dem arktischen Sommer- und Winterexpeditionen in 2011 und 2012. Abkürzungen: n – Probenumfang; L – Körperlänge; DM – Trockenmasse (Dry mass); r^2 - Regressionskoeffizient	24

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1:** Schematische Darstellung des Wassermassentransports in der europäischen Arktis. Abkürzungen: EGC - East Greenland Current /Ostgrönlandstrom; WSC - West Spitsbergen Current/Westspitzbergenstrom; NwAC - Norwegian Atlantic Current; RAC - Return Atlantic Current **6**
- Abbildung 2:** Hovmöller-Diagramm; gezeigt ist die der interannuelle Verlauf der mittleren Monatstemperatur des Ostgrönland- (EGC) und Westspitzbergenstroms sowie der Mischwasser-gebiete auf einer Wassertiefe von 250 m entlang des 78°50' N Framstraßen-Transekts; angepasst nach Beszczynska-Möller et al. (2012) **6**
- Abbildung 3:** Hauptuntersuchungsgebiete in der Framstraße und in den Gewässern um das Svalbard Archipel und die dazugehörigen Expeditionsreisen mit R/V *Polarstern* im Sommer 2011 (rote Bereiche, *Polarstern* Expedition ARK-XXVI/1 und ARK-XXVI/2) und mit R/V *Helmer Hanssen* im Herbst 2011 (blaue Bereiche, IMR Ecosystem survey) und im Winter 2012 (grüne Bereiche, ARCTOS polar night cruise). Zusätzlich zeigt die Karte die Positionen der einzelnen Probennahmestationen im AWI-HAUSGARTEN (schwarze Punkte) und entlang des 78°50' N Transekts (weiße Punkte) in der Framstraße, sowie die Probennahmen entlang und nördlich des Svalbard-Archipels im Herbst 2011 (weiße Sterne) und Winter 2012 (schwarze Sterne) **8**
- Abbildung 4:** Ansteigende Temperaturentwicklung auf 250 m Wassertiefe und die einhergehende Bestandsentwicklung der epipelagischen Amphipoden-populationen von *Themisto abyssorum*, *T. compressa* und *T. libellula* (Abundanz der Individuen pro m² und Tag) in der zentralen, oberen Sinkstofffallenverankerung auf ~280 m Tiefe des Langzeitobservatoriums HAUSGARTEN im Zeitraum 2000 bis 2012. Es wird auf die unterschiedliche Skalierung der Abundanz (y-Achse) und die deutliche Zunahme der nordatlantischen Art *T. compressa* hingewiesen **12**
- Abbildung 5:** Gegenüberstellung der wichtigsten biologisch-ökologischen Eigenschaften und Erkenntnisse der vier Schwerpunktkarten dieser Pilotstudie über die pelagischen Amphipoden der europäischen Arktis **13**

Abbildung 6: Entwicklung der Amphipodenbestände der in meso-/bathypelagischen Fallen (~800-1300 m Tiefe) dominierenden Arten *Cyclocaris guilelmi* und *Themisto abyssorum* (Abundanz der Individuen pro m² und Tag) in der zentralen, tiefen Sinkstofffallenverankerung des Langzeitobservatoriums HAUSGARTEN im Zeitraum Juli 2004 bis Juli 2008 **15**

Abbildung 7: Die Tiefsee-Amphipodenart *Cyclocaris guilelmi* aus Sinkstofffallenproben aus der nordöstlichen Framstraße. **a** Weibchen; **b** Männchen; **c** Weibchen mit sich entwickelnden Oozyten in dorsalen Ovarien; **d** juveniles Tier **15**

Abbildung 8: Erstmaliger Fund reproduzierender weiblicher Individuen der nordatlantischen Art *Themisto compressa* in der europäischen Arktis. Mit dem Auftreten dreier Kohorten bestehend aus juvenilen, sub-adulten und adulten Tieren konnte der jahreszeitlich gesteuerte Entwicklungsprozess dieser Art in der nördlichen Framstraße untersucht und dokumentiert werden. Der Fortpflanzungserfolg dieser invasiven Art mit ihrem eigentlichen Verbreitungsschwerpunkt in der südlichen norwegischen See deutet auf die zunehmende Erwärmung des atlantischen Einstroms in die zentrale Arktis hin **17**

Abbildung 9 a-d: Identifizierte Copepod-Mandibeln aus einer Mageninhaltsanalyse von *Themisto libellula*. **a** Mandibel der Art *Metridia longa*; **c** Mandible der Art *Calanus finmarchicus*; **b** Zeichnung der Mandibelstruktur als Erkennungsgrundlage für **b**, *M. longa*, und **d**, *C. finmarchicus* nach Dalpadado et al. (2008) und Karlson and Bamstedt (1994) **19**

Abbildung 10 a-b: **a** Gregariner Parasit der Gattung *Ganymedes* sp., wahrscheinlich zur Art *Ganymedes themistos* gehörend. Dieser Endoparasit wurde während der Mageninhaltsanalyse in Sommer- und Winterproben von *Themisto libellula* und *T. abyssorum* gefunden und besitzt einen ovalförmigen Zellkern (Nucleus) und ein rundliches Ende, auch Mucron genannt, mit dem er sich an der Epithelschicht des Wirtsdarms verankert. **b** Rote Pfeile zeigen auf *Ganymedes*-Individuen, die sich an der Darmwand des Amphipodenwirts verankert haben. Die hellbraune Farbe der *Ganymedes*-Individuen wird wahrscheinlich durch die Einlagerung von Stärkemolekülen (Amylopektin) im Zytoplasma der Einzeller verursacht **20**

Abbildung 11: Biomassenentwicklung (in mg durchschnittlichem Trockengewicht pro m² und Tag) der pelagischen Amphipodenarten *T. abyssorum*, *T. compressa* und *T. libellula* in den epipelagischen Sinkstofffallen (190-280 m Wassertiefe) des AWI-HAUSGARTENS (79°01' N / 04°20' E) in der nordöstlichen Framstraße **21**

Abbildung 12: Saisonaler Anteil der Biomarker für Diatomeen, Flagellaten und Copepoden der Gattung *Calanus* in der Fettsäurezusammensetzung der vier Zielarten. Es wird im Besonderen auf die winterliche Zunahme der Flagellaten-Biomarker in den Winterproben aller Amphipodenarten hingewiesen. Diese Entwicklung kann als eine jahreszeitlich bedingte Anpassung an das veränderte Nahrungsangebot für diese überwiegend räuberisch lebenden Arten angesehen werden **22**

Abbildung 13: Schematische Darstellung der unterschiedlichen Nahrungsgefüge und Weitergabe der Primärproduktion (in Gramm [g] Kohlenstoff [C] pro m² und Jahr [y]) in der arktischen und subarktischen Region, mit *Themisto libellula* als Repräsentant eines kurzen polaren Nahrungsnetzes und *Themisto abyssorum* als borealer Vertreter eines breiter gefächerten subarktischen Nahrungsnetzes **23**

Abbildung 14 a-d: Allometrische Populationsentwicklung zwischen Trockenmasse (dry mass - DM in mg) und Körperlänge (total body length in mm) und die dazugehörigen Längenhäufigkeitsverteilungen (Anteil (proportion) in %) von *Themisto abyssorum* (**a**), *T. libellula* (**b**), *T. compressa* (**c**) und *Cyclocaris guilelmi* (**d**) basierend auf Netzfängen aus dem arktischen Sommer- und Winterexpeditionen in 2011 und 2012 **26**

I. Kurze Darstellung

1 Aufgabenstellung

Im Nahrungsnetz mariner Ökosysteme nimmt die Gruppe der pelagischen Amphipoden eine entscheidende Rolle ein, da sie als Schlüsselkomponenten des Zooplanktons eine wichtige Nahrungsquelle für höhere trophischen Ebenen wie Seevögel, Fische und marine Säuger darstellen. Vor dem Hintergrund des globalen Klimawandels, mit besonderem Augenmerk auf die eisbedeckten Gewässer der Arktis, setzte sich die Aufgabenstellung für die vorliegende Studie wie folgt zusammen:

- 1.) Im Hinblick auf die Erwärmung des Arktischen Ozeans sollte die biologische Leistungs- und Anpassungsfähigkeit der ausschließlich pelagischen Amphipoden *Themisto* spp. und *Cyclocaris guilelmi* analysiert werden und
- 2.) die ökologischen Auswirkungen dieser bisher unterschätzten Gruppe auf die polaren Nahrungsnetze unter dem Aspekt von sich verändernden Temperatur- und Meereisbedingungen soll festgestellt und bewertet werden.

2 Voraussetzungen, unter denen das FE-Vorhaben durchgeführt wurde

Immer mehr Anzeichen weisen darauf hin, dass sich im Arktischen Ozean ein wärmerer Klimazustand einstellt, der durch physikalische Veränderungen in der Umwelt und in der Atmosphäre hervorgerufen wird. Solche Veränderungen zeigen sich zum Beispiel in der Erwärmung des in die zentrale Arktis fließenden Westspitzbergenstroms sowie im Abschmelzen des arktischen Meereseises. Gleichzeitig ist davon auszugehen, dass diese Entwicklung das Potential besitzt, die Zusammensetzung arktischer Planktonorganismen zu verändern und umweltbedingte Anpassungen ihrer Lebensweise und ihrer Biologie nach sich zieht.

Gerade in der Arktis sind Planktonorganismen, und damit auch die zur Ordnung der Amphipoden (Flohkrebse) untersuchten Krebstiere, drastischen Umweltveränderungen ausgesetzt. Dies lässt sich beispielsweise an der zunehmenden Ozean-Versauerung, steigenden Wassertemperaturen und den starken Rückgang des Meereises beobachten. Am Langzeitobservatorium HAUSGARTEN (79° N / 4° E), das 1999 vom Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung im Seegebiet der nördlichen Framstraße etabliert wurde, bot sich im Rahmen dieser Studie die einmalige Möglichkeit, Amphipodenproben aus einer

Langzeitbeobachtungsreihe zu analysieren. Die Verbindung von diesen ganzjährig erfassten Daten mit stichprobenartig erfassten Netzfängen während des arktischen Sommers und Winters soll neue Rückschlüsse auf die vollständige saisonale Artenverteilung und -zusammensetzung der Schlüsselgruppe der Amphipoden in der Framstraße, und in den nördlichen Gewässern des Svalbard-Archipels, zulassen.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Diese Studie basiert auf dem Vergleich stationsbasierter Langzeitdatensätze pelagischer Amphipoden aus Sinkstofffallen (2000-2012) mit Kurzzeitdatenreihen aus Planktonnetzen, welche im Rahmen von Sommer- und Winterexpeditionen in das Nordpolarmeer erfasst wurden. Ziel dieses Vergleiches ist es, einen umfassenden Einblick in die Verbreitung und Ökologie pelagischer Amphipoden zu erlangen und gleichzeitig unser Verständnis für diese Schlüsselgruppe des arktischen Zooplanktons vor dem Hintergrund sich verändernder Umweltbedingungen zu stärken. Zusätzlich sollten die Erfassung und Bewertung dieser Parameter so optimiert und angepasst werden, dass sie im Rahmen gekoppelter Modellsysteme eingesetzt werden können und dazu beitragen, die regionalen und langzeitlichen Veränderungen des pelagischen Nahrungsnetzes in der Arktis vorherzusagen.

Die zum Einsatz kommenden Methoden beinhalteten taxonomische Studien, Abundanz- und Längenhäufigkeitsanalysen wie auch eine Untersuchung der Mageninhalte und Fettsäurenbiomarker der dominanten Amphipoden-Zielarten der epipelagischen (*Themisto* spp.) und meso-/bathypelagischen Wasserschichten (*Cyclocaris guilelmi*). Im Detail wurden die folgenden Arbeitspakete und die damit verbundenen Tätigkeiten durchgeführt:

- Detaillierte Recherche zur ökologischen Datensätzen & Beurteilung des Standes der wissenschaftlichen Forschung für die Zielgruppe
- Expeditionsplanung und Beprobung der Amphipodengemeinschaften in der Framstraße und in den nördlichen Gewässern des Svalbard-Archipels
- Identifizierung der Schlüsselarten des arktischen Epi-, Meso- und Bathypelagials und Untersuchung ihres saisonalen Auftretens und artspezifischer Lebenszyklen
- Untersuchung des Fressverhaltens der Schlüsselarten *Themisto* spp. und *Cyclocaris guilelmi* während des arktischen Sommers und Winters anhand von

Mageninhaltsuntersuchungen und Analysen des Gesamtlipidgehaltes, sowie der dominanten Lipidklassen- und Fettsäurezusammensetzung

- Statistische Auswertung und Bewertung der erfassten Datensätze im Rahmen univariater und multivariater Verfahren
- Bewertung der erfassten Amphipoden- Parameter vor dem Hintergrund des erfassten Temperaturanstiegs des atlantischen Wassereinstroms in die Arktis unter Berücksichtigung ihres zukünftigen möglichen Einsatzes im Rahmen gekoppelter Modellsysteme
- Projektkoordination und -durchführung unter Einbeziehung der norwegischen und kanadischen Kooperationspartner, sowie die Zusammenstellung und Veröffentlichung der Ergebnisse in Form von wissenschaftlichen Publikationen bei international anerkannten Fachzeitschriften, sowie die Präsentation der Ergebnisse innerhalb von Workshops und auf internationalen Konferenzen

4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

In den Polargebieten, mit besonderem Hinblick auf die eisbedeckten Gewässer der Arktis, ist die Gruppe der pelagischen Amphipoden kaum erforscht. Der bisherige wissenschaftliche Stand basierte fast ausschließlich auf jahreszeitlich eingeschränkten Beprobungen während der Sommermonate, so dass ihre ganzjährige Verbreitung, die Saisonalität ihrer biogeographischen Verbreitung, ihre Reproduktionszyklen sowie ihr Nährwert für Seevögel und marine Säugetiere als weitgehend unbekannt gelten (siehe u.a. Dalpadado and Bogstad 2004; Weslawski et al. 2006; Dalpadado et al. 2008; Noyon et al. 2011). Im Rahmen dieses Projektes sollten diese Wissenslücken durch ganzjährige Untersuchungen der Gruppe der pelagischen Amphipoden in der Arktis geschlossen werden. Als Grundlage dienten die Ergebnisse einer Publikation erster Langzeitdatensätze (Kraft et al. 2011), die im Zeitraum September 2000 bis Juli 2008 einen Hinweis darauf lieferte, dass die Amphipodenarten *T. abyssorum*, *T. compressa* und *T. libellula* als Bioindikatoren und Anzeiger eines sich verändernden pelagischen Ökosystems in der europäischen Arktis angesehen werden können.

5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

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

Innerhalb des AWI:

- Brückengruppe Tiefsee-Ökologie und –Technologie zwischen der Helmholtz Gemeinschaft und der Max Planck Gesellschaft unter Leitung von Prof. Dr. Antje Boetius und Beteiligung von Dr. Eduard Bauerfeind, Dr. Michael Klages und Dr. Thomas Soltwedel

National:

- Umweltforschungszentrum (UFZ) Leipzig unter Beteiligung von Prof. Dr. Karin Frank, Prof. Dr. Karin Johst und Thorben Jensen

International:

- Norwegian Polar Institute, University of Tromsø und University Center Svalbard, unter Beteiligung von Prof. Dr. Stig Falk-Petersen, Dr. Jørgen Berge und Dr. Øystein Varpe
- Atlantic Reference Centre, einer Abteilung des Huntsman Marine Science Center und St. Andrews Biological Station des Department of Fisheries and Oceans Canada, unter Beteiligung von Dr. David Wildish, Prof. Dr. Gerhard Pole und Lou van Guelpen.

II. Eingehende Darstellung

Insgesamt wurden in diesem Vorhaben eine Doktorarbeit, die mit ‘summa cum laude’ abgeschlossen wurde, sowie 5 weitere Publikationen erstellt, die bis auf eine alle veröffentlicht sind; die letzte Arbeit ist zur Begutachtung eingereicht (s.a. Punkt 6, Berichtsblatt, sowie Anlagen). Die wichtigsten Erkenntnisse werden im Folgenden auf das Projekt bezogen dargestellt.

1 Erzielte Projektergebnisse mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Ergebniskontext: Klimatische Veränderungen in der Arktis

Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte vor dem Hintergrund sich verändernder abiotischer Parameter wie Meereisbedeckung und steigende Temperaturen der durch die Framstraße einströmenden atlantischen Wassermassen in die zentrale Arktis. Dabei stellt die Framstraße mit einer durchschnittlichen Tiefe von etwa 2.500 m die einzige Tiefenwasserverbindung zwischen dem zentralen Arktischen Ozean und dem Nordatlantik dar. Ihre hydrogeographische Struktur wird von zwei Hauptströmungen bestimmt: westlich von Svalbard über dem Kontinentalschelf verläuft der Westspitzbergenstrom (WSC - West Spitsbergen Current), der relativ warme, atlantische Wassermassen nordwärts in die zentrale Arktis transportiert (Quadfasel et al. 1987; Manley 1995) und somit die lokalen Bedingungen z.B. im Hinblick auf Wärme- und Frischwasseraustausch in großen Teilen des Untersuchungsgebietes bestimmt (Abbildung 1). Im Bereich der nordöstlichen Framstraße führt eine komplexe Bathymetrie zudem zu einer Verzweigung des Westspitzbergenstroms in drei Teile, von denen zwei die zentrale Arktis erreichen während ein dritter Teil der Wassermassen das der sogenannte Return Atlantic Current (RAC) wieder südwärts in den Nordatlantik zurückgeleitet wird (Gascard et al. 1995; Schauer et al. 2008). An der Westseite Grönlands befindet sich eine polare Gegenströmung zum Westspitzbergenstrom, der Ostgrönlandstrom (EGC - East Greenland Current), der kältere, arktische Wassermassen und Meereis südwärts durch die Meeresenge in den Nordatlantik treibt (Rudels et al. 2004; Walczowski and Piechura 2011) (Abbildung 2). Diese komplexe Hydrographie und lokale Stromwirbel sorgen dafür, dass sich weite Teile des Untersuchungsgebiets in Grenzgebieten mit atlantischen und polaren Wassermassen befinden, was das Auftreten von Arten atlantischen als auch polaren Ursprungs begünstigt.

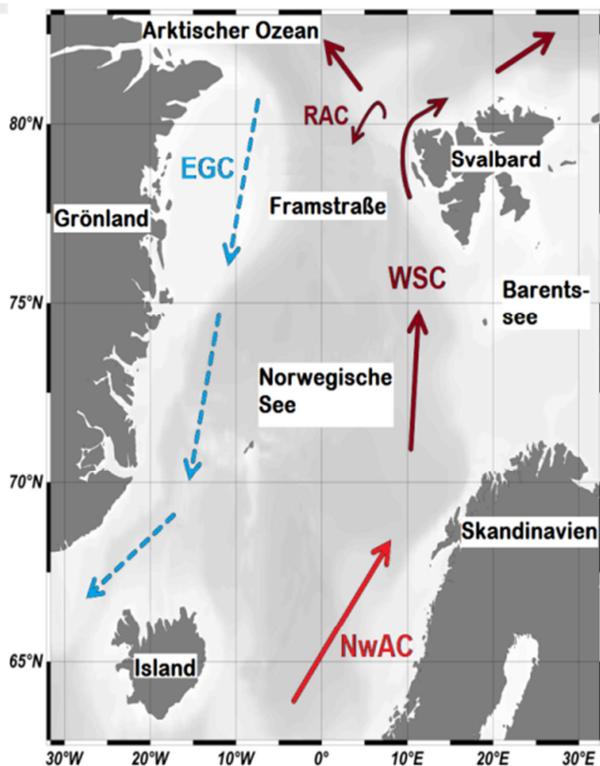


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Wassermassentransports in der europäischen Arktis.

Abkürzungen: EGC - East Greenland Current/Ostgrönlandstrom; WSC – West Spitzbergen Current/Westspitzbergenstrom; NwAC - Norwegian Atlantic Current; RAC - Return Atlantic Current

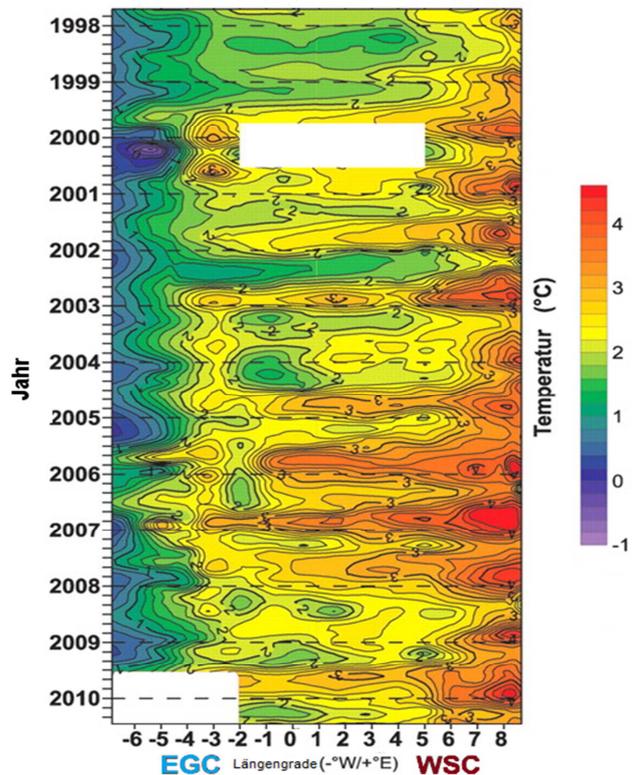


Abbildung 2: Hovmöller-Diagramm; gezeigt ist die der interannuelle Verlauf der mittleren Monatstemperatur des Ostgrönland- (EGC) und Westspitzbergenstroms (WSC) sowie der Mischwasser-gebiete auf einer Wassertiefe von 250 m entlang des 78°50' N Framstraßen-Transsekts; angepasst nach Beszczynska-Möller et al. (2012)

Der Beprobungsumfang und die -methode, die zur Beantwortung der zentralen Fragestellungen des Projektes zum Einsatz kamen, wurde den logistischen und technischen Möglichkeiten auf den Forschungsschiffen (FS) *Polarstern* und R/V *Helmer Hanssen* angepasst. Dies beinhaltete neben einer ganzjährigen Untersuchung mit Sinkstofffallen (Model 'Kiel', Salzgitter Electronic GmbH) auf ~300 m, ~1200 m und ~2500 m Wassertiefe im Gebiet des Langzeitobservatoriums HAUSGARTEN (79° N, 4° E; Tabelle 1) auch mehrere Schiffsexpeditionen während des polaren Sommers und Winters in das Seegebiet zwischen dem Svalbard-Archipel und Grönland (Tabelle 2, Abbildung 3).

An Bord des FS *Polarstern* fand die Beprobung der Amphipodenpopulationen mit Hilfe eines vertikal gefahrenen Multinetzes (Model 'Maxi, mit einer Maschenweite von 1000 µm, HYDRO-BIOS Apparatebau GmbH) in den Tiefenstufen 0 m - 50 m - 200 m - 600 m - 1000 m und 1500 m statt. An Bord des R/V *Helmer Hanssen* wurde für die Probennahme ein Methot Isaac Kidd (MIK) Netz (Maschenweite 1,5 mm) und ein WP3 Netz (Maschenweite 1,0 mm) in den Tiefenstufen 20/30 m - 60/75 m - 225 m - 1200 m eingesetzt (Tabelle 2).

Tabelle 1: Position, Zeitpunkt der Probennahme, Wassertiefe und Verankerungstiefe der eingesetzten Sinkstofffallen im Langzeitobservatorium HAUSGARTEN, die während dieser Studie im Hinblick auf das Vorkommen pelagischer Amphipoden untersucht wurden

Zeitpunkt der Probennahme	geographische Breite (° N)	geographische Länge	Wassertiefe (m)	Fallentiefe (m)	Anzahl der Proben
18.09.2000-17.09.2001	74°23.93'	10°19.48' W	3146	2700	20
31.08.2000-14.08.2001	79°01.70'	04°20.86' E	2456	280	18
12.07.2004-19.08.2005	79°00.99'	04°20.62' E	2584	280	20
12.07.2004-19.08.2005	79°00.99'	04°20.62' E	2584	800	20
23.08.2005-31.08.2006	79°01.01'	04°20.63' E	2530	1230	17
23.08.2005-31.08.2006	79°01.01'	04°20.63' E	2530	2357	19
05.08.2006-20.06.2007	79°00.82'	04°20.50' E	2540	230	20
05.08.2006-20.06.2007	79°00.83'	04°20.60' E	2540	1300	20
21.07.2007-15.07.2008	79°00.82'	04°20.62' E	2589	190	20
21.07.2007-15.07.2008	79°00.82'	04°20.62' E	2589	1316	18
21.07.2007-15.07.2008	79°00.82'	04°20.62' E	2589	2370	20
17.07.2008-18.07.2009	79°00.40'	04°20.00' E	2557	201	20
10.07.2010-30.06.2011	79° 00.41'	04°19.90' E	2567	200	20
10.07.2011-30.06.2012	79° 00.40'	04°19.90' E	2555	200	20

Tabelle 2: Im Rahmen dieser Studie durchgeführte Schiffsexpeditionen während des polaren Sommers und Winters im Seegebiet zwischen dem Svalbard-Archipel und Grönland

Expedition	Dauer	Schiff	Methode der Probennahme	Maschenweite (µm)	Beprobungstiefe (m)	Untersuchungsgebiet
ARK-XXVI/1	15.06-13.07.2011	R/V <i>Polarstern</i>	Multinetz	1000	0-2000	Framstraße
ARK-XXVI/2	13.07-03.08.2011	R/V <i>Polarstern</i>	Multinetz	1000	0-2000	HAUSGARTEN, Framstraße
IMR Survey	09.08-24.08.2011	R/V <i>Helmer Hanssen</i>	Pelagisches Schleppnetz	10000	0-100	Gewässer um Svalbard
ARCTOS-8510	12.01-18.01.2012	R/V <i>Helmer</i>	a) Methot Isaac Kidd Netz	1500	20-225	Rijpfjorden und Isfjorden, Svalbard

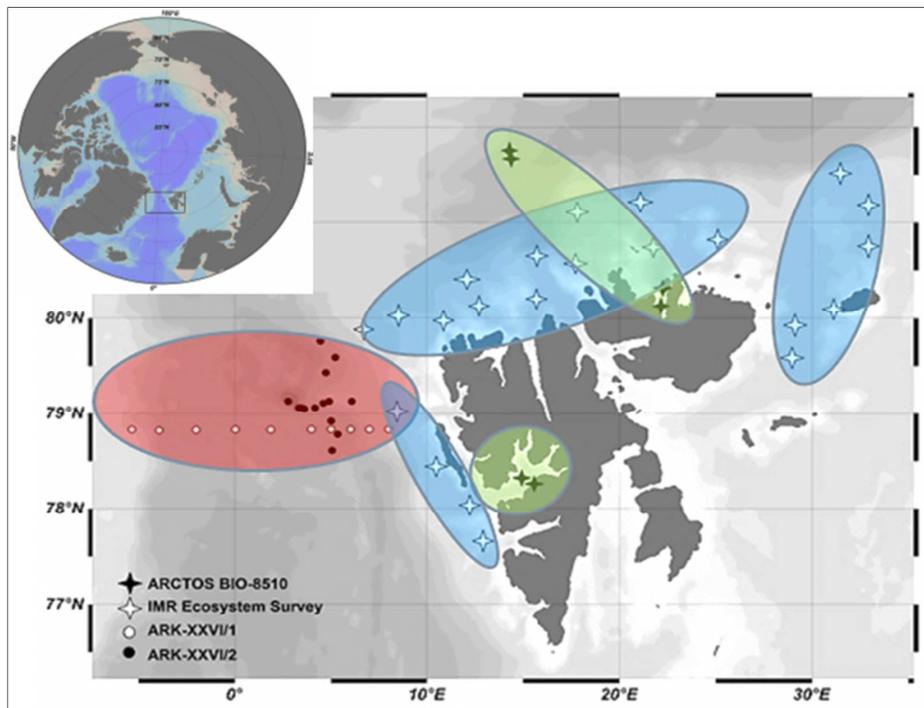


Abbildung 3: Hauptuntersuchungsgebiete in der Framstraße und in den Gewässern um das Svalbard Archipel und die dazugehörigen Expeditionsreisen mit R/V *Polarstern* im Sommer 2011 (rote Bereiche, *Polarstern* Expedition ARK-XXVI/1 und ARK-XXVI/2) und mit R/V *Helmer Hanssen* im Herbst 2011 (blaue Bereiche, IMR Ecosystem survey) und im Winter 2012 (grüne Bereiche, ARCTOS polar night cruise). Zusätzlich zeigt die Karte die Positionen der einzelnen Probennahmestationen im AWI-HAUSGARTEN (schwarze Punkte) und entlang des 78°50' N Transekts (weiße Punkte) in der Framstraße, sowie die Probennahmen entlang und nördlich des Svalbard-Archipels im Spätsommer 2011 (weiße Sterne) und Winter 2012 (schwarze Sterne)

Alle Expeditionen an Bord des R/V *Helmer Hanssen* erfolgten Probennahmen erfolgten in enger Zusammenarbeit mit norwegischen Wissenschaftlern der Universität Tromsø. Durch die gleichzeitige Beprobung mit Sinkstofffallen und Planktonnetzen fand eine Verknüpfung stationsbasierter Daten, welche über eine sehr gute temporale Auflösung verfügen, mit den Kurzzeitdatenreihen der Schiffsexpeditionen im polaren Sommer und Winter statt. Es wurde erwartet, dass diese neue Vorgehensweise ein detailliertes wissenschaftliches Verständnis der biologischen Leistungs- und Anpassungsfähigkeit pelagischer Amphipoden unter dem Aspekt von sich verändernden Temperatur- und Meereisbedingungen zulässt.

Erzielte Projektergebnisse:

Die erzielten Projektergebnisse werden im Folgenden mit den drei übergeordneten Arbeitsabschnitten

1.1 Gemeinschaftsstrukturen und saisonale Lebenszyklen der freischwimmenden Amphipoden *Themisto* spp. und *Cyclocaris guilelmi* in der europäischen Arktis

1.2 Fressverhalten und Nährwert pelagischer Amphipoden im Arktischen Nahrungsnetz

1.3 Optimierung und Anpassung von Amphipodendaten für ihren Einsatz in gekoppelten Modellsystemen vorgestellt.

1.1 Gemeinschaftsstrukturen und saisonale Lebenszyklen der freischwimmenden Amphipoden *Themisto* spp. und *Cyclocaris guilelmi* in der europäischen Arktis

1.1.1 Amphipodenbestände aus den epipelagischen Wasserschichten

In den epipelagischen Sinkstofffallenproben, die aus einer Wassertiefe von 190-280 m stammen, dominieren hyperiide Flohkrebse der Gattung *Themisto* die Artengemeinschaft der Amphipoden. Die drei Hauptarten bilden hierbei *T. abyssorum*, *T. libellula* und *T. compressa* (Abbildungen 4 und 5). Diese freischwimmenden Arten besitzen einen unterschiedlichen biogeographischen Ursprung, der im Verlauf dieses Projekts bestätigt werden konnte: während *T. libellula*, die größte freischwimmende Amphipodenart im Nordpolarmeer, als eine typisch arktische Art und Anzeiger polarer Wassermassen gilt, sind *T. abyssorum* und *T. compressa* boreal-subarktische bzw. atlantische Arten und können somit als Indikatoren wärmerer Wassereinströme in das Nordpolarmeer dienen.

Die Bewertung der dokumentierten Amphipodenbestände von 2000 bis 2012 (Tabelle 3) erfolgte vor dem Hintergrund eines Temperaturanstiegs des atlantischen Wassereinstroms im Untersuchungsgebiet. Dieser positive Trend konnte anhand von Strömungs- und Temperaturmessgeräten (Aanderaa® Strömungsmesser, Modell RCM 11), die im unmittelbaren Umfeld der jeweiligen Sinkstofffallen verankert waren nachgewiesen werden (Abbildung 4).

Die Bestandsentwicklung in den Sinkstofffallen von 2000 bis 2012 zeigte zudem einen eindeutigen Trend zur relativen Zunahme der nordatlantischen Art *T. compressa* an der insgesamt erfassten Amphipodenpopulation. Des Weiteren konnte ein fünfzehnfacher Anstieg des Vorkommens aller drei epipelagischen Arten festgestellt werden (Abbildung 4). Die sichtbaren jahreszeitlichen Muster mit den Hauptvorkommen der Amphipoden im Zeitraum Juni bis September sind sehr wahrscheinlich durch saisonale Wanderungsverhalten in der Wassersäule bedingt; demnach halten sich die Tiere im Zeitraum Februar bis September vornehmlich in den epipelagischen Wasserschichten auf während sie in den Wintermonaten in tiefere, mesopelagische Gewässer vordringen und damit ihrer Hauptnahrungsquelle, den calanoiden Copepoden (Ruderfußkrebse) folgen, die auf 500-1000 m Wassertiefe in der nördlichen Framstraße in einen physiologischen Ruhezustand (die Diapause) übergehen.

Aus der Analyse von ganzjährigen Längenhäufigkeitsverteilungen dieser drei Arten für die Jahre 2000 bis 2009 zeigte sich auch, dass diese Tiere eine unterschiedliche Lebenserwartung besitzen: die subarktische Art *T. abyssorum* wies eine Lebenserwartung von zwei Jahren auf, während die rein arktische Art *T. libellula* mit mindestens drei Jahren deutlich älter werden kann. Zudem konnte dargestellt werden, dass sich die weiblichen Tiere beider Arten im Zeitpunkt der Freisetzung ihrer Nachkommen unterscheiden. *T. libellula* Weibchen entlassen ihren Nachwuchs deutlich früher aus der Bruttasche (Zeitraum Februar bis März) als die Weibchen der subarktischen Art *T. abyssorum* (Zeitraum April bis Juni).

Tabelle 3: Vorkommen und Vertikalverteilung der während dieser Studie erfassten Amphipodenarten aus Planktonnetzfangen und Sinkstofffallen in der nördlichen Framstraße und den Gewässern um das Svalbard Archipel

Taxon	Jahr Expedition	2011 ARK-XXVI/1	2011 ARK-XXVI/2	2011 IMR Survey	2012 ARCTOS-8510	Sinkstofffalle HAUSGARTEN (Jahr, Monat, Tiefe)
Calliopiidae						
<i>Apherusa glacialis</i> (Hansen 1887)		-	400-2000 m	-	-	-
Cyclocaridae						
<i>Cyclocaris guilelmi</i> (Chevreux 1899)		400-2000 m	400-2000 m	-	-	2000-2012; ganzjährig; 280-2495 m
Cyphocarididae						
<i>Cyphocaris bouvieri</i> (Chevreux 1916)		1000-2000 m	-	-	-	2009-2012; Okt-Mai; 1313-2495 m
Eusiridae						
<i>Eusirogenes arctica</i> (Tencati 1968)		1000-1500 m	-	-	-	-
<i>Eusirus holmi</i> (Hansen 1887)		600-800 m	800-1000 m	-	-	2004-2012; ganzjährig; 190-1230 m
Gammaridae						
<i>Gammarus wilkitzkii</i> (Birula 1897)		-	0-600 m	0-100 m	-	2000-2012; ganzjährig; 190-280 m
Hyperiididae						
<i>Hyperia galba</i> (Montagu 1813)		-	-	-	0-60 m	2008-2009; ganzjährig; 201 m
<i>Hyperia medusarum</i> (Müller 1776)		-	-	-	-	2000-2001; ganzjährig; 280 m
<i>Themisto abyssorum</i> (Boeck 1870)		0-2000 m	0-2000 m	0-100 m	20-225 m	2000-2012; ganzjährig; 190-2495 m
<i>Themisto compressa</i> (Goës 1866)		0-50 m	0-600 m	-	60-225 m	2004-2012; ganzjährig; 190-1300 m
<i>Themisto libellula</i> (Lichtenstein 1822)		0-600 m	0-600 m	0-100 m	20-225 m	2000-2012; ganzjährig; 190-1250 m
Lanceolidae						
<i>Lanceola clausi</i> (Bovallius 1885)		200-2000 m	0-2000 m	-	-	2004-2012; ganzjährig; 190-2370 m
Lysianassidae						
<i>Tryphosella</i> sp. (Bonnier 1885)		-	-	-	-	2005-2012; ganzjährig; 2357-2495 m
Scinidae						
<i>Scina borealis</i> (G. O. Sars 1882)		600-800 m	-	-	-	2005; Jan-Feb; 280 m
Stegocephalidae						
<i>Andaniexis abyssi</i> (Boeck 1871)		-	-	-	-	2007; Dez; 1316 m
Stilipedidae						
<i>Astyra longipes</i> (Stephensen 1933)		1500-2000 m	1000-1500 m	-	-	-
Uristidae						
<i>Onisimus glacialis</i> (Sars 1900)		-	-	-	-	-
<i>Onisimus nansenii</i> (Sars 1900)		400-600 m	0-600 m	-	-	2006; Dec; 1300 m

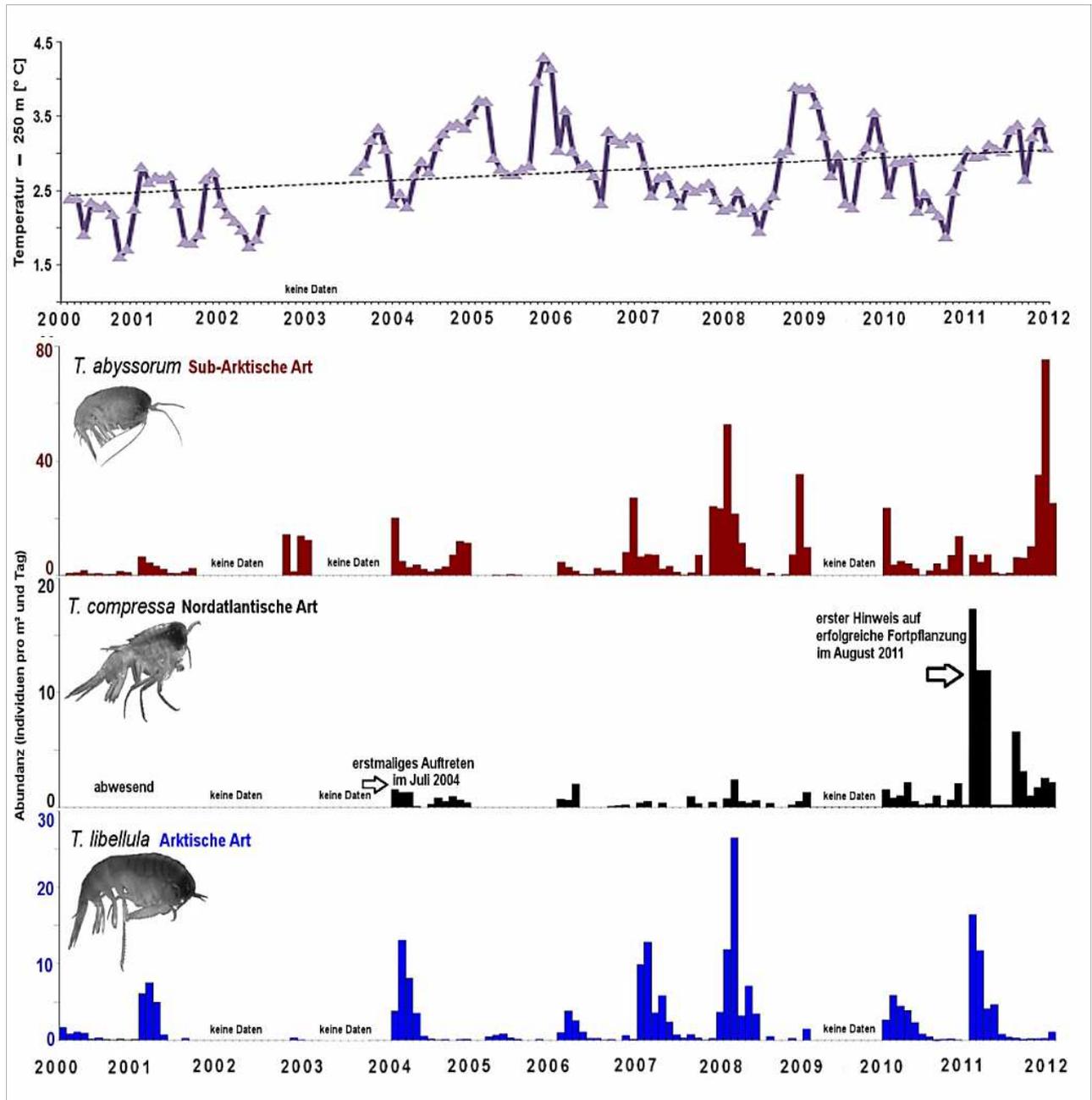


Abbildung 4: Ansteigende Temperaturentwicklung auf 250 m Wassertiefe und die einhergehende Bestandsentwicklung der epipelagischen Amphipodenpopulationen von *Themisto abyssorum*, *T. compressa* und *T. libellula* (Abundanz der Individuen pro m² und Tag) in der zentralen, oberen Sinkstofffallenverankerung auf ~280 m Tiefe des Langzeitobservatoriums HAUSGARTEN im Zeitraum 2000 bis 2012. Es wird auf die unterschiedliche Skalierung der Abundanz (y-Achse) und die deutliche Zunahme der nordatlantischen Art *T. compressa* hingewiesen

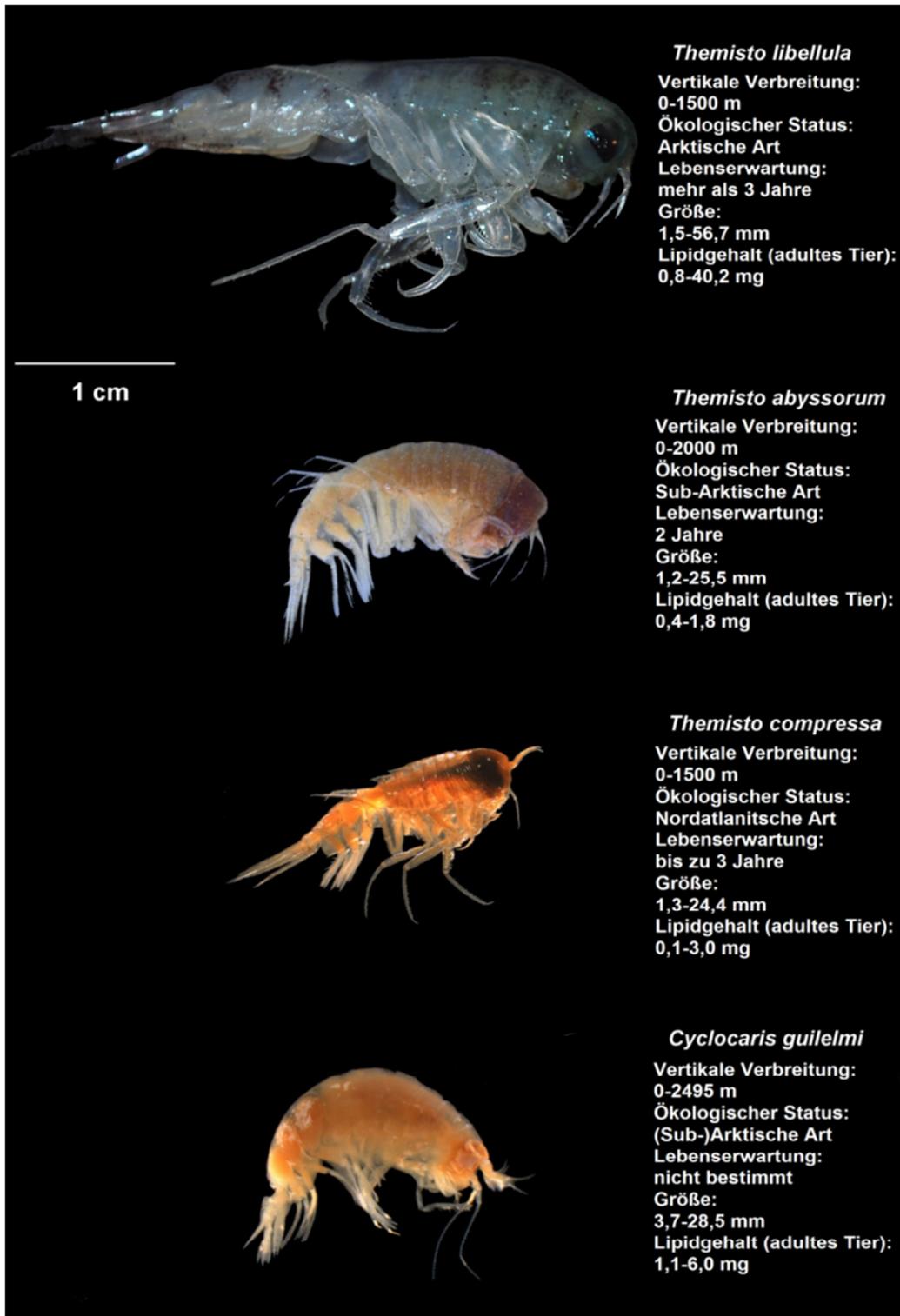


Abbildung 5: Gegenüberstellung der wichtigsten biologisch-ökologischen Eigenschaften und Erkenntnisse der vier Schwerpunktsarten dieser Pilotstudie über die pelagischen Amphipoden der europäischen Arktis

1.1.2 Amphipodenbestände aus den meso- und bathypelagischen Wasserschichten

Die Untersuchungen der Zusammensetzung der meso- und bathypelagischen Amphipodengemeinschaft zeigten das häufige Auftreten des Tiefseeamphipoden *C. guilelmi* (Abbildungen 5, 6 und 7a-d) in den Sinkstofffallenproben der Jahre 2004-2008 auf einer Wassertiefe von 800-1300 m (Tabelle 3). Diese Art zeigte im Gegensatz zu *Themisto* spp. eine stabile Populationsentwicklung mit Abundanz-Spitzen den mesopelagischen Fallen von November bis Februar, die auf das vermehrte Auftreten juveniler Individuen zurückzuführen war. Neben *C. guilelmi* war zeigte nur die Art *T. abyssorum* regelmäßige Vorkommen in geringen Abundanzen auf 800-1300 m Tiefe (Abbildung 6). Die bathypelagisch-verankerten Sinkstofffallen auf 2500 m wiesen mit 0,1 bis 1,4 Individuen pro m² und Tag nur eine sehr geringes Vorkommen von *C. guilelmi* auf, was darauf schließen ließ dass sich die vertikale Verbreitung dieser Art auf die mesopelagischen und oberen bathypelagischen Wasserschichten zwischen ~800 bis 1300 m Tiefe konzentriert.

Diese erste detailliertere Studie dieser Art zeigte zudem, dass die Populationsstruktur von *C. guilelmi* aus vier Kohorten besteht, welche ganzjährig in der nördlichen Framstraße auftraten. Zudem sind das ganze Jahr hindurch eiertragende Weibchen und kleine juvenile Tiere anwesend, was auf eine ganzjährig stattfindende Fortpflanzung von *C. guilelmi* schließen ließ (Abbildung 7c-d). Diese Erkenntnisse bilden die ersten ökologischen Untersuchungen überhaupt zu dieser Tiefseeart. Aufgrund ihres Lipidgehalts von bis zu 6,0 mg in adulten Individuen stellt diese Art eine wichtige Nahrungsquelle in den meso- und bathypelagischen Wasserschichten der europäischen Arktis dar, beispielsweise für Tiefseefische wie den Schwarzen Heilbutt (*Reinhardtius hippoglossoides*).

Eine detaillierte Analyse der Fettsäurezusammensetzung von *C. guilelmi* zeigte zudem, dass sie sich überwiegend carnivor ernährt (Abbildung 12). Damit konnte gezeigt werden, dass diese Art in der Tiefsee die Rolle von *Themisto* spp. als aktiven Jäger von Mesozooplankton übernimmt. Mit der Etablierung von *C. guilelmi* als eine wichtige Nahrungsquelle in den meso- und bathypelagischen Wassertiefen der europäischen Arktis ist zu erwarten, dass weitere, künftige Studien zusätzliche Erkenntnisse über die Biologie und Ökologie dieser Tiefseeart aufzeigen werden.

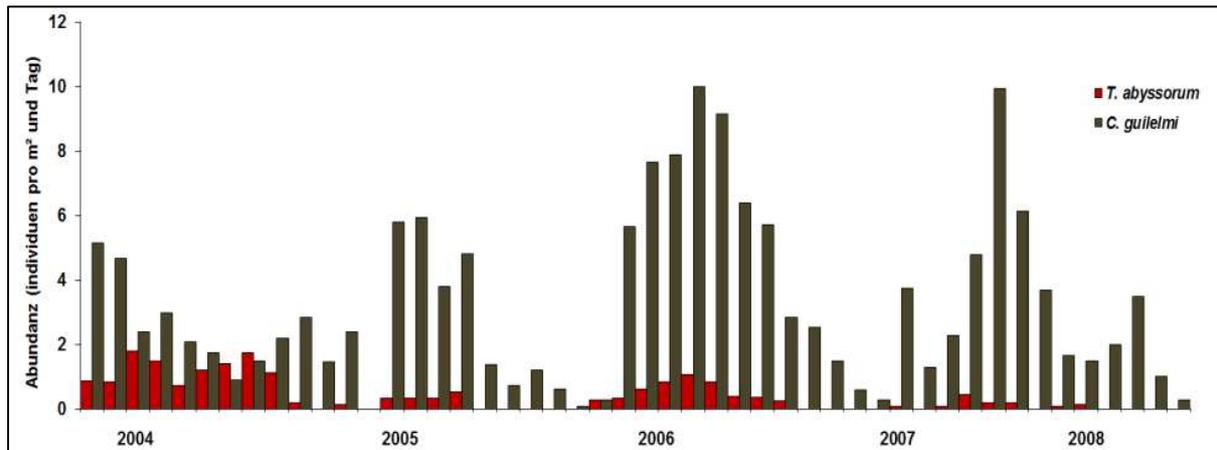


Abbildung 6: Entwicklung der Amphipodenbestände der in meso-/bathypelagischen Fallen (~800-1300 m Tiefe) dominierenden Arten *Cyclocaris guilelmi* und *Themisto abyssorum* (Abundanz der Individuen pro m² und Tag) in der zentralen, tiefen Sinkstofffallenverankerung des Langzeitobservatoriums HAUSGARTEN im Zeitraum Juli 2004 bis Juli 2008

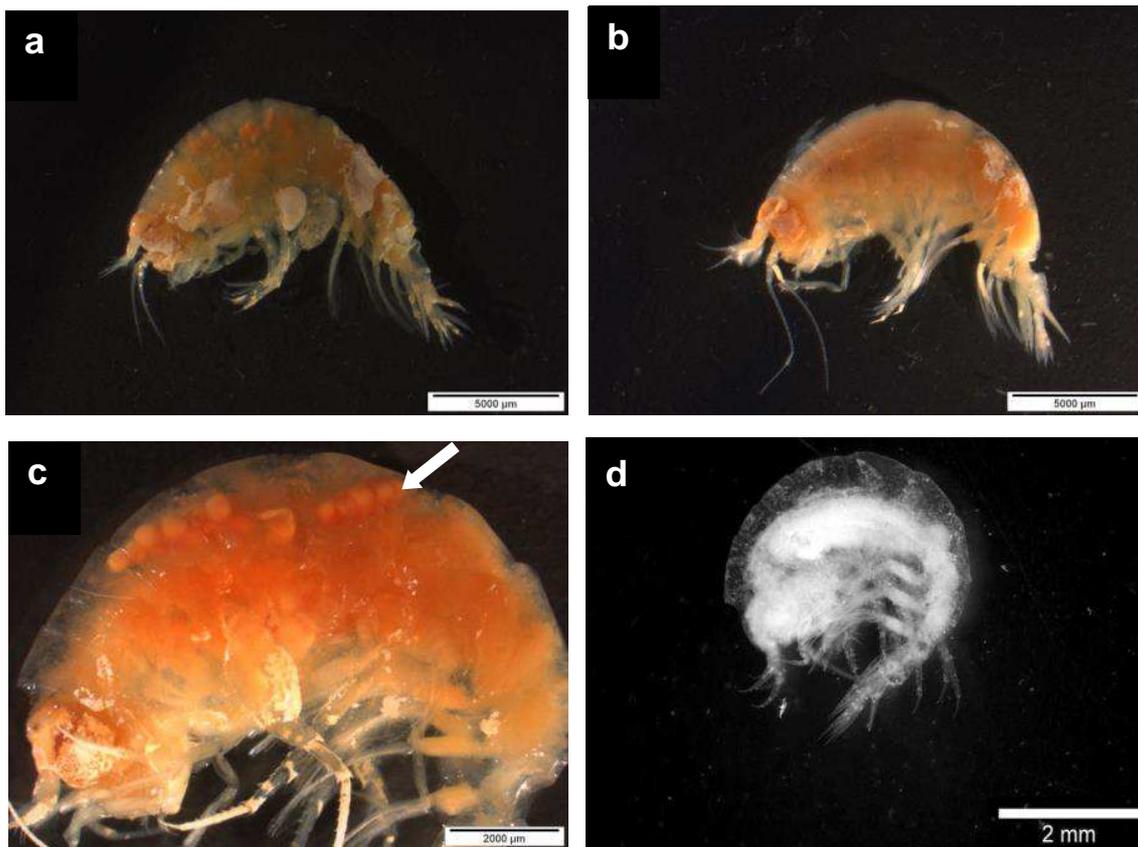


Abbildung 7: Die Tiefsee-Amphipodenart *Cyclocaris guilelmi* aus Sinkstofffallenproben aus der nordöstlichen Framstraße. **a** Weibchen; **b** Männchen; **c** Weibchen mit sich entwickelnden Oozyten in dorsalen Ovarien; **d** juveniles Tier

1.1.3 Neue biogeographische Ausbreitung der nordatlantischen Amphipodenart *Themisto compressa* als Indikator des Klimawandels in der Arktis

Eine wichtige Feststellung innerhalb dieses Projektes war der erste Nachweis von *T. compressa*, einer invasiven Art nordatlantischen Ursprungs, auf 79° nördlicher Breite im Juli 2004 (Tabelle 3, Abbildung 4), sowie das erstmalige Auftreten von 21 eiertragenden Weibchen von *T. compressa* in der Framstraße in den Proben des Untersuchungszeitraums 2011-2012. In den aktuellsten Proben des Untersuchungszeitraumes 2012-2013 hat sich diese Etablierung weiterhin bestätigt und zeigt damit, dass die Periode von 2011-2012 keine Ausnahme darstellt. Damit konnte erstmals die erfolgreiche Ausbreitung und Fortpflanzung einer nordatlantischen Amphipodenart in den offenen Gewässern der europäischen Arktis belegt werden (Abbildung 8). Aufgrund der Langzeitdatensätze aus Sinkstofffallen konnte zudem der Entwicklungs- und Wachstumsprozess der auftretenden Kohorten von *T. compressa* festgehalten werden und ihre Entwicklung von juvenilen Stadien zu Sub-Adulten bis zur anschließenden Geschlechtsreife innerhalb eines Entwicklungsjahres festgehalten werden. Am Beispiel *T. compressa* konnte gezeigt werden, dass innerhalb des Untersuchungsgebiets dieser Studie bereits eine Regime-Veränderung des arktischen Nahrungsnetzes hin zu der stärkeren Etablierung atlantischer Arten vonstattengeht.

Es ist zu erwarten, dass diese Etablierung atlantischer Arten weitreichende Konsequenzen für die Einschätzung des fortschreitenden Klimawandels in der Arktis hat, und auf eine umwälzende Veränderung der Biodiversität in der pelagischer Gemeinschaft und der durch die beteiligten Arten getriebenen biogeochemischen Stoffumsätze hindeutet. Zur weiteren Analyse dieser möglichen Auswirkungen wurde in Kooperation mit dem Umweltforschungszentrum Leipzig ein erster Ansatz eines theoriebasierten Toy-Modell-Ansatzes zur Analyse regionaler und langzeitlicher Veränderungen des pelagischen Nahrungsnetzes am Beispielgebiet des AWI-HAUSGARTENS entwickelt, das in Abschnitt 1.3.2 dieses Berichtes genauer erläutert wird.

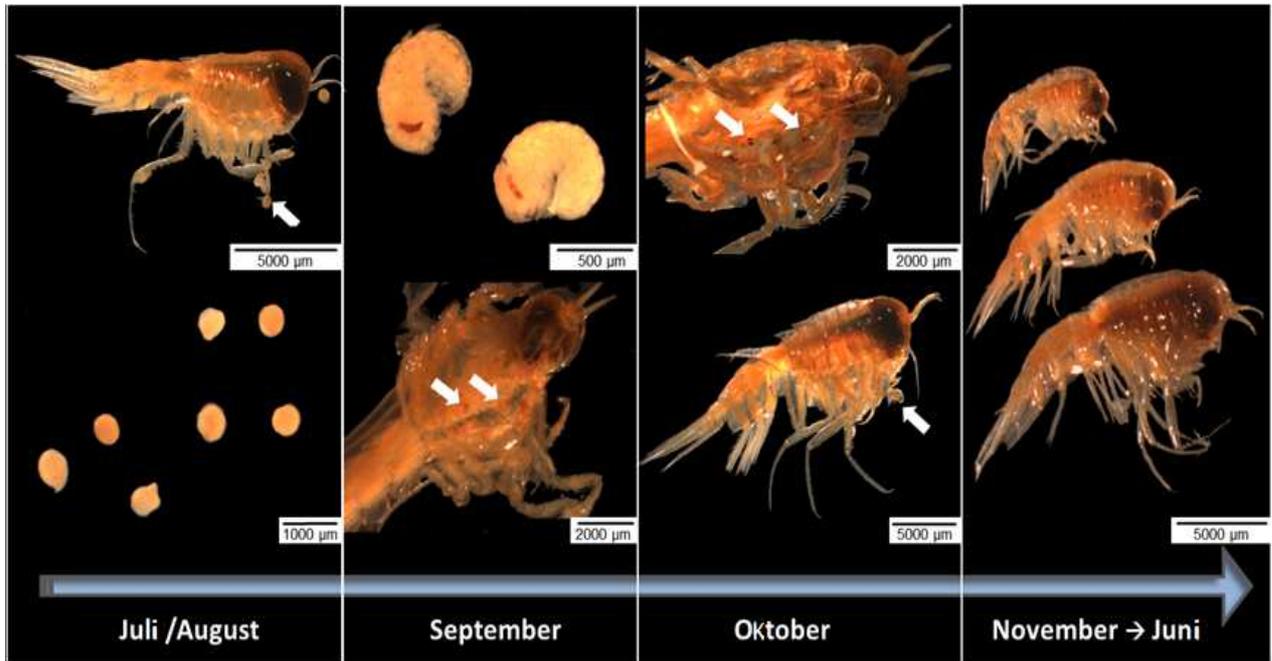


Abbildung 8: Erstmaliger Fund reproduzierender weiblicher Individuen der nordatlantischen Art *Themisto compressa* in der europäischen Arktis. Mit dem Auftreten dreier Kohorten bestehend aus juvenilen, sub-adulten und adulten Tieren konnte der jahreszeitlich gesteuerte Entwicklungsprozess dieser Art in der nördlichen Framstraße untersucht und dokumentiert werden. Der Fortpflanzungserfolg dieser invasiven Art mit ihrem eigentlichen Verbreitungsschwerpunkt in der südlichen norwegischen See deutet auf die zunehmende Erwärmung des atlantischen Einstroms in die zentrale Arktis hin

1.2 Fressverhalten und Nährwert pelagischer Amphipoden im Arktischen Nahrungsnetz

1.2.1 Ergebnisse der Mageninhaltsanalysen

Ein weiterer Schwerpunkt dieses Projekts lag auf der Analyse des Fressverhaltens der Zielarten *Themisto* spp. und *Cyclocaris guilelmi*, mit einem Focus auf einem saisonalen Vergleich ihres Ernährungsmusters zwischen den Jahreszeiten des arktischen Sommers und Winters. Für diese Analyse wurden die Amphipodenbestände in den Gewässern der nördlichen Framstraße und Svalbards im Sommer und Winter beprobt. Dies umfasste die Teilnahme an einer Sommerexpedition mit dem Forschungseisbrecher FS *Polarstern* im Juni und Juli 2011, sowie die Teilnahme an einer Herbst- und einer Winterexpedition auf dem Forschungsschiff *Helmer Hanssen* im August 2011 und Januar 2012. Mit der Auswertung dieser Proben konnte gezeigt werden, dass *T. abyssorum* und *T. libellula* auch während der arktischen Polarnacht aktiv fressen indem sie bevorzugt calanoide Copepoden (eine Gruppe der Ruderfußkrebse) bejagen. Dabei

handelte es sich beispielsweise um die Arten *Metridia longa* (Abbildung 9a-b) und *Calanus finmarchicus* (Abbildung 9c-d), die anhand ihrer Mandibelgröße und -struktur aus Verdauungsresten zugeordnet werden konnten. Ein direkter Vergleich der aufgenommenen Nahrung von Sommer- und Winterproben zeigte zudem keine zwischenartlichen Unterschiede bei den drei untersuchten *Themisto*-Arten (*T. abyssorum*, *T. compressa* und *T. libellula*) und des Tiefsee-Amphipoden *C. guilelmi*, was auf ein breites, überlappendes Nahrungsspektrum und eine stark räuberisch geprägte Lebensweise aller vier untersuchten Zielarten hinwies (Abbildung 12). Die Verknüpfung dieser Ergebnisse mit dem in Abschnitt 1.1 festgestellten vermehrten Auftreten und der Reproduktionsfähigkeit der Nordatlantischen Art *T. compressa* lässt den Schluss zu, dass die Konkurrenz um Nahrungsressourcen innerhalb der Amphipodenpopulationen in den nächsten Jahren und Jahrzehnten zunehmen wird.

Im Zuge der Mageninhaltsanalysen der Amphipoden *T. abyssorum* und *T. libellula* wurde zudem der Befall mit Endoparasiten der Gattung *Ganymedes* festgestellt (Abbildung 10). Damit konnte erstmalig das Auftreten von *Ganymedes* sp. im Verdauungstrakt von *T. abyssorum* nachgewiesen werden. Dieser Parasitenbefall kann als ein weiteres Indiz dafür betrachtet werden, dass sich im Seegebiet der europäischen Arktis die ökologischen Nischen von *T. abyssorum* und *T. libellula* stark überschneiden. Interessanter Weise konnte für die Nordatlantische Art *T. compressa* kein Parasitenbefall festgestellt werden. Dies bestätigt die Annahme dieser Studie, dass eine erfolgreiche Ansiedlung einer Population von *T. compressa* in der nördlichen Framstraße erst seit einem kurzen Zeitraum (2011-heute) erfolgt ist.

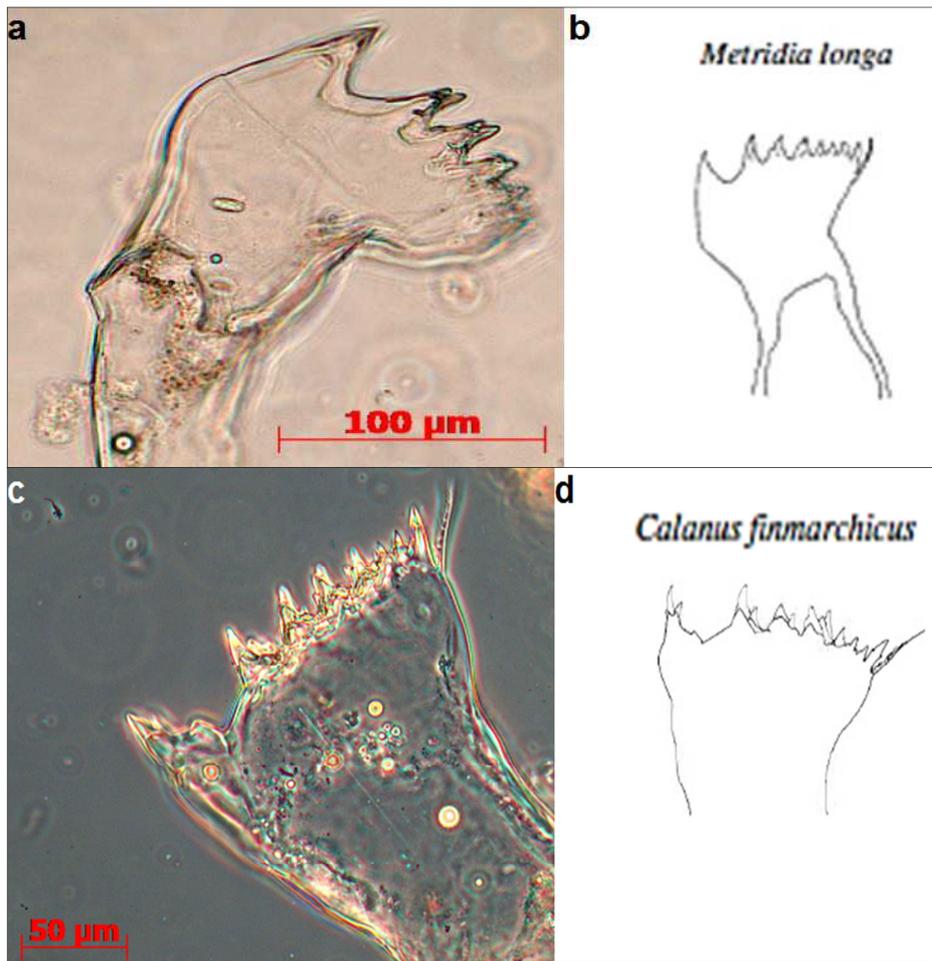


Abbildung 9 a-d: Identifizierte Copepod-Mandibeln aus einer Mageninhaltsanalyse von *Themisto libellula*. **a** Mandibel der Art *Metridia longa*; **c** Mandible der Art *Calanus finmarchicus*; **b** Zeichnung der Mandibelstruktur als Erkennungsgrundlage für **b**, *M. longa*, und **d**, *C. finmarchicus* nach Dalpadado et al. (2008) und Karlson and Bamstedt (1994)

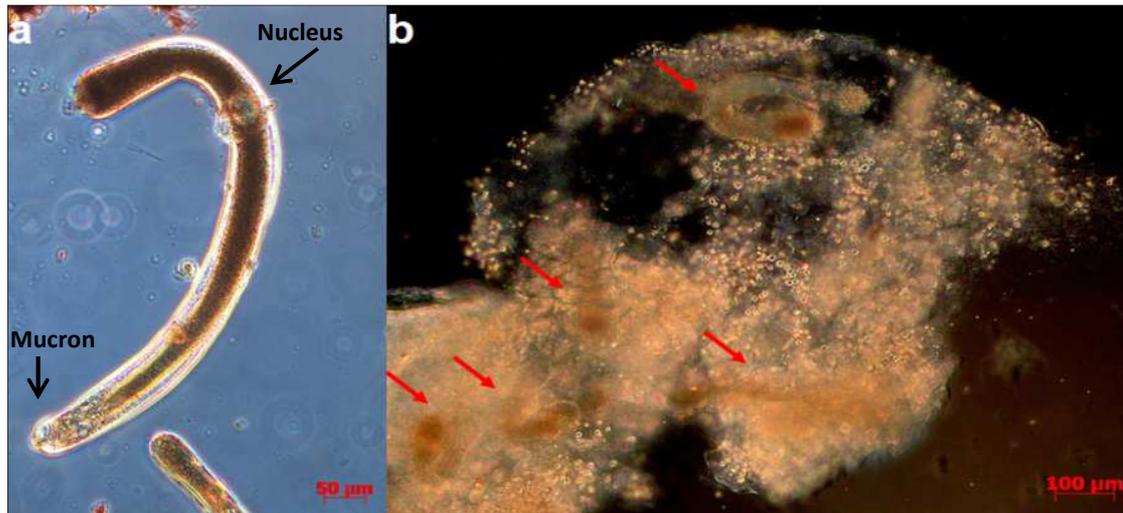


Abbildung 10 a-b: **a** Gregariner Parasit der Gattung *Ganymedes* sp., wahrscheinlich zur Art *Ganymedes themistos* gehörend. Dieser Endoparasit wurde während der Mageninhaltanalyse in Sommer- und Winterproben von *Themisto libellula* und *T. abyssorum* gefunden und besitzt einen ovalförmigen Zellkern (Nucleus) und ein rundliches Ende, auch Mucron genannt, mit dem er sich an der Epithelschicht des Wirtsdarms verankert. **b** Rote Pfeile zeigen auf *Ganymedes*-Individuen, die sich an der Darmwand des Amphipodenwirts verankert haben. Die hellbraune Farbe der *Ganymedes*-Individuen wird wahrscheinlich durch die Einlagerung von Stärkemolekülen (Amylopektin) im Zytoplasma der Einzeller verursacht

1.2.2 Nährwert, Lipidklassen- & Fettsäurezusammensetzung

Mit einem Lipidgehalt von bis zu 40,2 mg besaßen die adulten Tiere der Art *T. libellula* einen deutlich höheren Nährwert, auch bedingt durch ihre Körpergröße, als die subarktisch und atlantischen Arten *T. abyssorum* (bis zu 1,8 mg) und *T. compressa* (bis zu 3,0 mg) (Abbildung 5). Da in dieser Studie im Zeitraum von 2000 bis 2012 eine deutliche Zunahme der Abundanzen (Abbildung 4) und Biomasse von *T. abyssorum* und *T. compressa* (Abbildung 11) festgestellt werden konnte ist zu erwarten, dass es mit einer weiteren Erwärmung des Atlantikwassereinstroms in die nördliche Framstraße und zentrale Arktis zu einer Verschiebung in der Nahrungsverfügbarkeit für die Hauptprädatoren der pelagischen Amphipoden, z.B. dem Polardorsch (*Boreogadus saida*) kommt. Erste Indizien eines solchen Trends wurden auch für angrenzende polare Seegebiete wie die Barentssee bestätigt, wo eine 25-jährige Zooplankton-Zeitreihe einen signifikanten Rückgang in der Population der arktischen Art *T. libellula* zeigte, die von der einhergehenden Abnahme dieser Art in den Mageninhalten der ersten und zweiten Polardorsch-Kohorten begleitet wurde (Dalpadado et al. 2012).

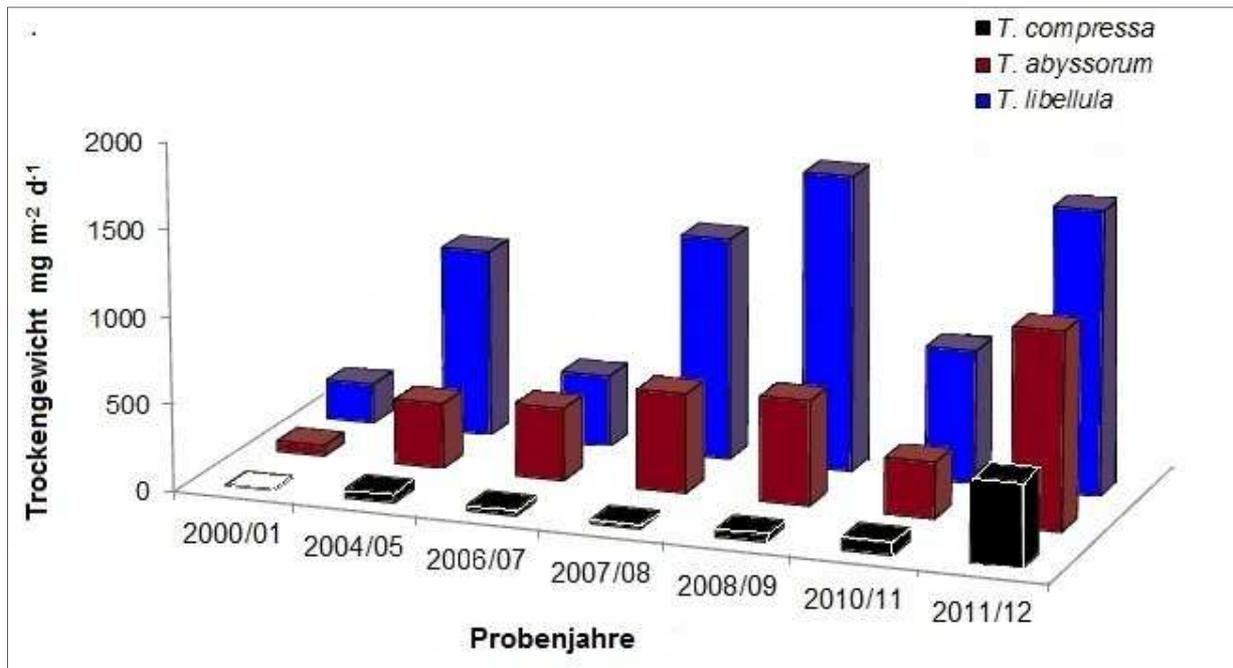


Abbildung 11: Biomassenentwicklung (in mg durchschnittlichem Trockengewicht pro m² und Tag) der pelagischen Amphipodenarten *T. abyssorum*, *T. compressa* und *T. libellula* in den epipelagischen Sinkstofffallen (190-280 m Wassertiefe) des AWI-HAUSGARTENS (79°01' N / 04°20' E) in der nordöstlichen Framstraße

Ein weiterer Untersuchungsaspekt dieses Projekts befasste sich mit der Analyse saisonaler Muster in der Zusammensetzung der Lipidklassen der vier untersuchten Amphipodenarten. Die Auswertung verdeutlicht die herausragende Rolle einer Gruppe von Langzeitspeichermolekülen, den Waxestern, welche ganzjährig die Hauptspeicherform für Stoffwechselenergie in den Arten *T. libellula*, *T. compressa* und *C. guilelmi* bilden. Zudem wird die Verwendung der in Waxestern gespeicherten Energie zu Zeiten eines erhöhten Energiebedarfs, zum Beispiel während der Fortpflanzungsphase, diskutiert. Des Weiteren zeigt ein Vergleich der Fettsäurezusammensetzung in Sommer- und Winterproben aller vier Zielarten ein vermehrtes Auftreten von Copepoden-Biomarkern, wie sie in der Gattung *Calanus* zu finden sind. Dieses Ergebnis bestätigt die Funde der Mageninhaltsuntersuchungen und macht deutlich, dass neben *T. abyssorum* und *T. libellula* auch die Arten *T. compressa* und *C. guilelmi* ganzjährig aktive Prädatoren im arktischen Nahrungsnetz sind und herbivore Copepoden eine Hauptnahrungsquelle darstellen (Abbildung 12). Das Vorhandensein substantieller Mengen von Wachsestern und Triacylglycerolen bei allen untersuchten Amphipodenarten lässt zusätzlich darauf schließen, dass

es hierdurch den Amphipoden gelingt, ungünstige Nahrungszeiträume zu überbrücken. Zusätzlich ist festzustellen, dass der Nahrungstransfer von Eisalgen und Phytoplankton via Copepoden essentiell für Wachstum und Fortpflanzung der Amphipoden ist, die ihrerseits wiederum die Konsumenten höher trophischer Ebenen ernähren.

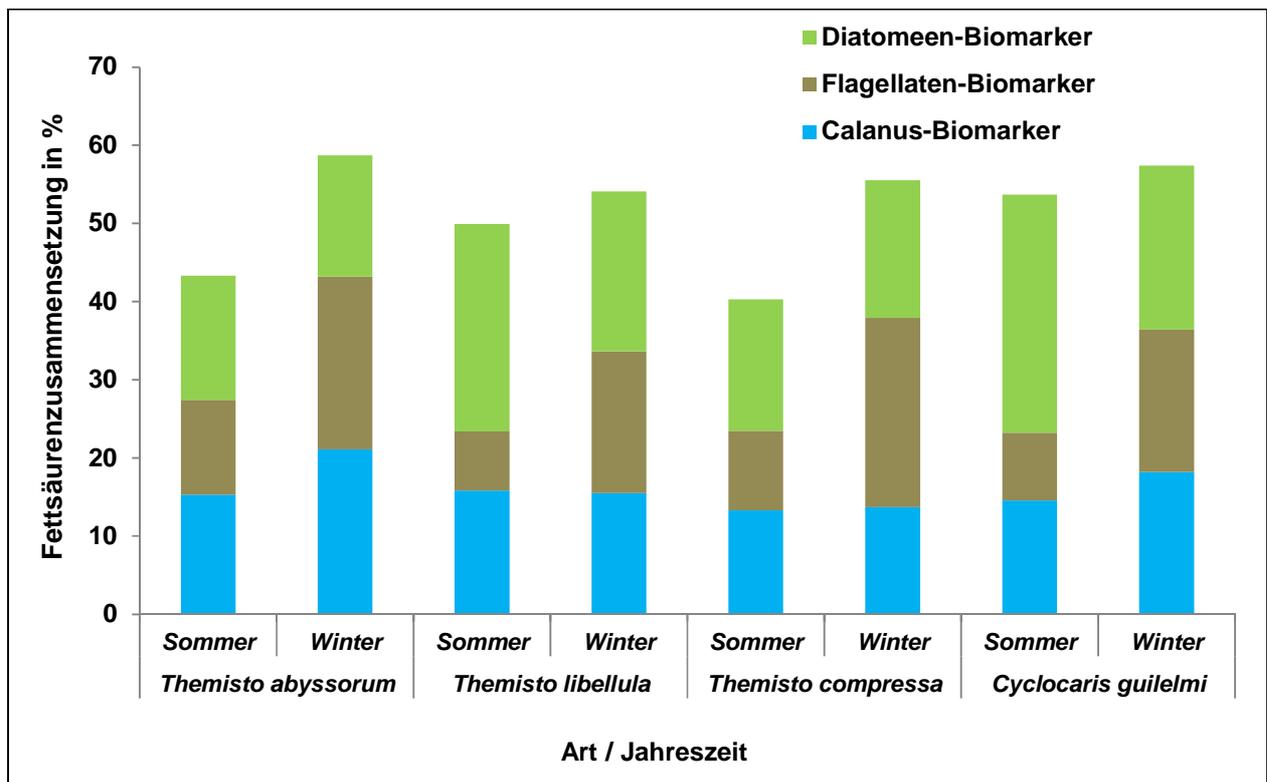


Abbildung 12: Saisonaler Anteil der Biomarker für Diatomeen, Flagellaten und Copepoden der Gattung *Calanus* in der Fettsäurezusammensetzung der vier Zielarten. Es wird im Besonderen auf die winterliche Zunahme der Flagellaten-Biomarker in den Winterproben aller Amphipodenarten hingewiesen. Diese Entwicklung kann als eine jahreszeitlich bedingte Anpassung an das veränderte Nahrungsangebot für diese überwiegend räuberisch lebenden Arten angesehen werden

1.3 Optimierung und Anpassung von Amphipodendaten für ihren Einsatz in gekoppelten Modellsystemen

1.3.1 Potentielle Veränderungen im arktischen Nahrungsnetz

Anhand der Ergebnisse der Gemeinschaftsstrukturen und saisonale Lebenszyklen sowie des herausragenden trophischen Status der Amphipoden als ganzjährig aktive Jäger im Ökosystem des arktischen Pelagials ist festzustellen, dass Langzeitstudien und ein gutes Verständnis der

Ökologie der Arten von zentraler Bedeutung sind. Dies trifft vor allem auf die Identifizierung möglicher Verschiebungen der Zooplanktonstrukturen in der Arktis zu, als auch für die Voraussage möglicher Konsequenzen eines solchen Strukturwandels auf das Nahrungsgefüge des arktischen Ökosystems. Anhaltspunkte hierfür bildet das vermehrte Auftreten der nordatlantischen Art *T. compressa* in der Gemeinschaft pelagischer Amphipoden, und der kürzlich erfolgte Nachweis einer aktiven Fortpflanzung von *T. compressa* in den Gewässern der nördlichen Framstraße. Diese Befunde lassen auf die wachsende Bedeutung kleinerer, subarktischer und atlantischer Arten im arktischen Nahrungsnetz schließen (Abbildung 13).

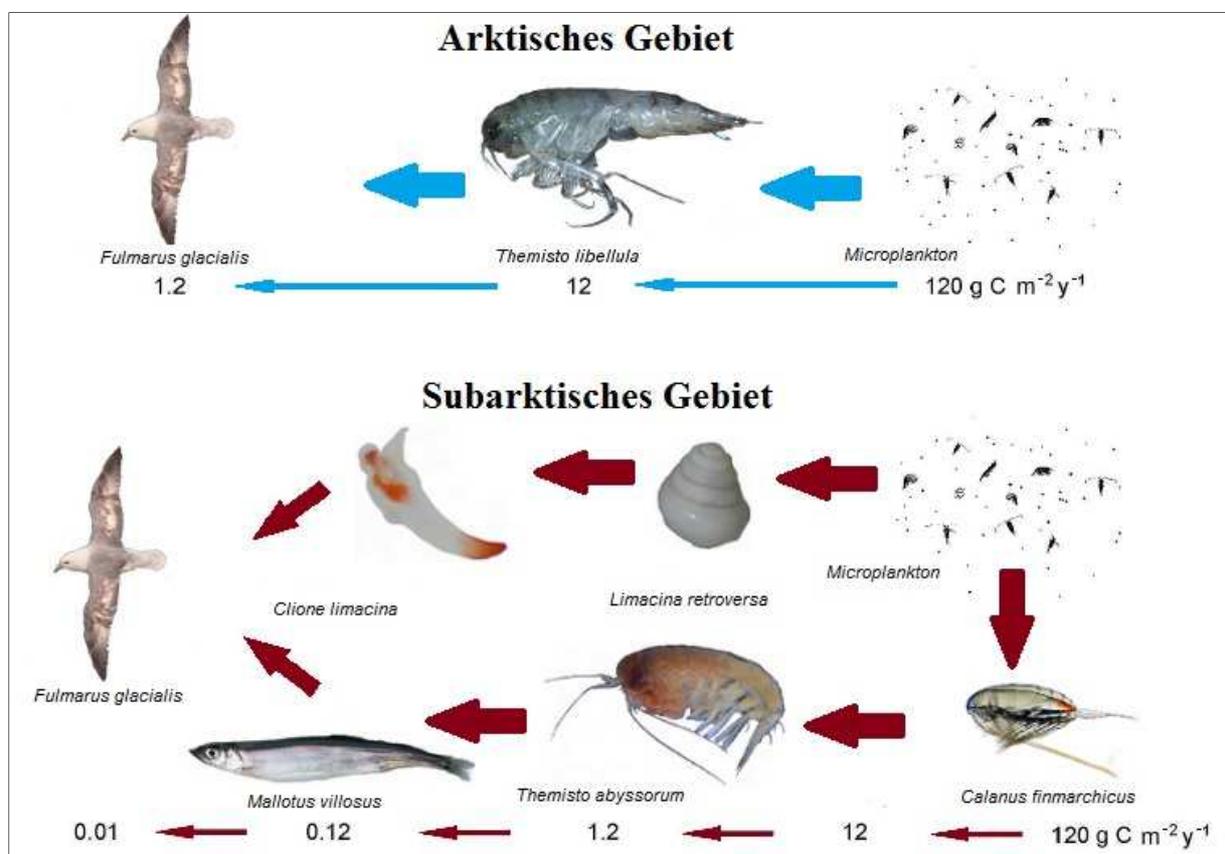


Abbildung 13: Schematische Darstellung der unterschiedlichen Nahrungsgefüge und Weitergabe der Primärproduktion (in Gramm [g] Kohlenstoff [C] pro m² und Jahr [y]) in der arktischen und subarktischen Region, mit *Themisto libellula* als Repräsentant eines kurzen polaren Nahrungsnetzes und *Themisto abyssorum* als borealer Vertreter eines breiter gefächerten subarktischen Nahrungsnetzes

1.3.2 Toy-Modell-Ansatz in Kooperation mit dem Umweltforschungszentrum Leipzig

Für die im Projektrahmen vorgesehene Optimierung und Anpassung der erfassten Amphipodendaten für ihren Einsatz in gekoppelten Modellsystemen wurde eine Kooperationsvereinbarung mit Prof. Dr. Karin Frank vom Umweltforschungszentrum (UFZ) Leipzig und ihres Masterstudenten Thorben Jensen getroffen. Im Rahmen dieser Kooperation erfolgte eine erste Planung eines theoriebasierten Toy-Modell-Ansatzes, bei dem untersucht werden soll in wie weit Veränderungen in der arktisch-pelagischen Lebensgemeinschaft eine direkte Folge des Klimawandels sind, bzw. durch abiotische Veränderungen der Temperatur und des pH-Wertes hervorgerufen werden. Dazu wurden unter anderem die erfassten allometrischen Populationsdaten in Gleichungssystemen dargestellt (Tabelle 4 und Abbildung 14a-d)

Tabelle 4: Allometrische Populationsdaten der vier schwerpunktmäßig untersuchten Amphipodenarten *Themisto abyssorum*, *T. libellula*, *T. compressa* und *Cyclocaris guilelmi* basierend auf Netzfängen aus dem arktischen Sommer- und Winterexpeditionen in 2011 und 2012. Abkürzungen: n – Probenumfang; L – Körperlänge; DM – Trockenmasse (Dry mass); r^2 - Regressionskoeffizient

Art /	Stadium	n	Körperlänge (mm ± SD)	Trockenmasse (mg ±SD)	Allometrische Beziehung
<i>Themisto abyssorum</i>					
Sommer	Juvenile	62	4.1 ±1.8	0.7 ±0.7	$DM = 0.0455L^{1.92}$ $r^2 = 0.9385$
	Weibchen	40	14.9 ±2.6	9.5 ±4.2	
	Männchen	16	14.3 ±1.5	7.9 ±1.7	
Winter	Juvenile	6	7.2 ±1.1	3.0 ±1.0	$DM = 0.1093L^{1.67}$ $r^2 = 0.8758$
	Weibchen	14	13.2 ±2.1	8.3 ±2.6	
	Männchen	10	13.5 ±1.7	8.6 ±1.6	
<i>Themisto libellula</i>					
Sommer	Juvenile	32	7.3 ±1.6	1.3 ±0.9	$DM = 0.0056L^{2.65}$ $r^2=0.9358$
	Weibchen	18	17.8 ±4.2	13.2 ±10.2	
	Männchen	-	-	-	
Spätsommer	Juvenile	-	-	-	$DM = 0.0028L^{2.99}$ $r^2 = 0.9546$
	Weibchen	20	26.4 ±11.8	84.1 ±78.0	
	Männchen	19	26.9 ±8.2	70.2 ±54.6	
Winter	Juvenile	-	-	-	$DM = 0.00004L^{4.11}$ $r^2 = 0.7462$
	Weibchen	6	29.8 ±3.9	51.3 ±24.3	
	Männchen	7	26.1 ±4.7	33.1 ±22.4	
<i>Themisto compressa</i>					
Sommer	Juvenile	3	6.0 ±1.6	0.9 ±0.4	$DM = 0.0224L^{2.11}$ $r^2 = 0.9441$
	Weibchen	3	12.0 ±0.8	5.0 ±0.6	
	Männchen	3	16.7 ±1.3	8.5 ±2.3	
Winter	Juvenile	-	-	-	-
	Weibchen	1	13.0	5.1	
	Männchen	1	14.0	6.4	
<i>Cyclocaris guilelmi</i>					

Abschlussbericht des Forschungsvorhabens 03F0629A

Sommer	Juvenile	25	5.6 ±1.3	0.9 ±0.7	$DM = 0.0068L^{2.72}$ $r^2 = 0.9206$
	Weibchen	19	13.3 ±3.1	9.4 ±6.6	
	Männchen	3	17.0 ±0.8	16.0 ±2.7	
Winter	Juvenile	-	-	-	$DM = 0.0301L^{2.29}$ $r^2 = 0.8955$
	Weibchen	4	11.5 ±0.9	8.1 ±1.4	
	Männchen	1	17.0	20.5	

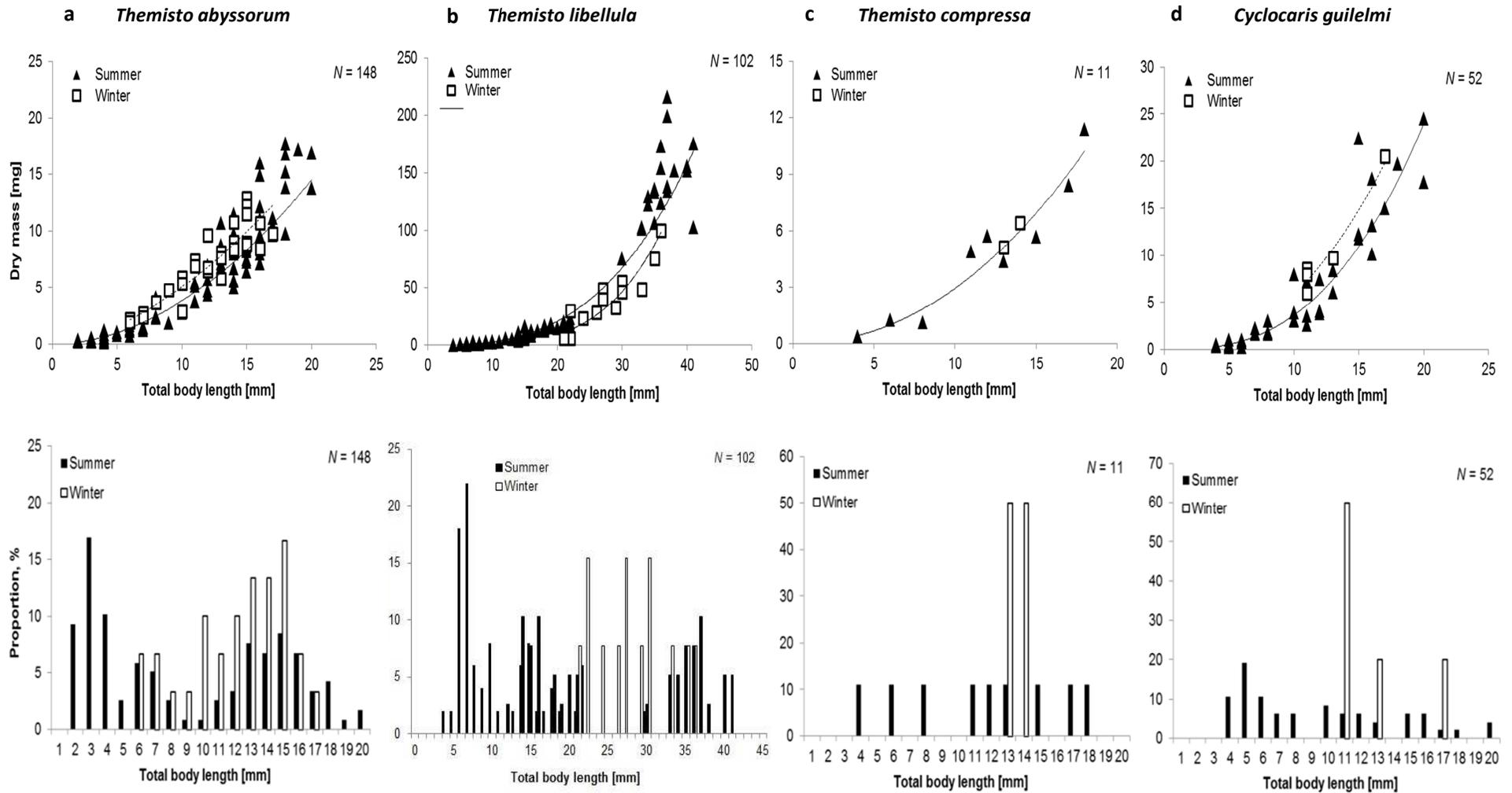


Abbildung 14 a-d: Allometrische Populationsentwicklung zwischen Trockenmasse (dry mass - DM in mg) und Körperlänge (total body length in mm) und die dazugehörigen Längenhäufigkeitsverteilungen (Anteil (proportion) in %) von *Themisto abyssorum* (a), *T. libellula* (b), *T. compressa* (c) und *Cyclocaris guilelmi* (d) basierend auf Netzfängen aus dem arktischen Sommer- und Winterexpeditionen in 2011 und 2012

Bei diesem Toy-Modell handelt es sich um einen bewusst reduktionistischem Ansatz, indem z.B. einzelne Faktoren im Modell gezielt ausschaltet werden können um verschiedene „-Was wäre wenn?“ Szenarios zu entwickeln. Für das AWI Langzeitobservatorium HAUSGARTEN ist beispielsweise bekannt, dass sich die Menge an exportiertem Kohlenstoff vom Epipelagial in die bathypelagischen Wasserschichten mit Werten, die zwischen $1,7 - 2,5 \text{ g C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ im Zeitraum 2000 bis 2012 schwanken (siehe Bauerfeind et al. 2009; E. Nöthig/E. Bauerfeind, persönliche Mitteilung), nicht signifikant verändert hat, während sich sowohl im Phyto- als auch im Zooplankton eine Änderung der Artenzusammensetzung hin zu einem vermehrten Auftreten typisch Atlantischer Arten (*Phaeocystis pouchetii*, Prymnesiophyceae; *T. compressa*, Amphipoda; *C. finmarchicus*, Copepoda) abzeichnet.

Es ist vorgesehen die in dieser Studie gewonnenen Daten, z.B. zum saisonalen Auftreten der verschiedenen Amphipodenarten und deren ökologischen Charakteristika in zukünftigen Studien, u.a. zusammen mit Daten zu Primärproduktions- und Sedimentationsraten, ozeanographischen Strömungsparametern und Fraßraten in ein Individuen-basiertes Toy-Modell für atlantisch-beeinflussten Seegebiete der nördliche Framstraße zu implementieren. Die dazu notwendigen Grundlagendaten, besonders im Hinblick auch Amphipodenbestände und ozeanographisch-physikalische Parameter werden den involvierten AWI-Arbeitsgruppen um Dr. Eva-Maria Nöthig und Dr. Thomas Soltwedel zu Verfügung gestellt. Es wird erwartet, dass dieser der Toy-Modell-Ansatz zudem einen wichtigen Beitrag für künftige Vorhersagen regionaler und langzeitlicher Veränderungen des pelagischen Nahrungsnetzes am Beispielgebiet des AWI-HAUSGARTENS liefern wird.

2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der Nachweis zur Verwendung der finanziellen Mittel ist in dem bereits am 20.05.2014 gesendeten zahlenmäßigen Verwendungsnachweis (gem. Nr.19.3 NKBF 98) in den einzelnen Positionen beschrieben. Die Ausgabenplanung erfolgte gemäß der bewilligten Mittel. Neben den Personalkosten wurden dem Zuwendungsempfänger Reisemittel zur Verfügung gestellt, die nicht vollständig ausgeschöpft wurden, bedingt durch geringere Flug- und Unterkunftskosten als in Norwegen und Kanada als vorab im Projektantrag kalkuliert. Die Verwendung des größten Teils der Reisemittel erfolgte für die Präsentation des Projekts und der Ergebnisse der Veränderungen der arktischen Amphipodenzusammensetzung auf fünf nationalen und internationalen Konferenzen & Workshops (ICES/NAFO 2011, Huntsman Marine Science Centre 15th Biennial Benthic Workshop 2011, Arctic Frontiers Konferenz Geopolitics & Marine Production in a Changing Arctic 2013, AWI-UFZ-Projektworkshop 2013 und FRAM Workshop 2013), sowie für drei Forschungsaufenthalte zur Durchführung von Labor- und Freilanduntersuchungen durch die Doktorandin bei den Projektkooperationspartnern in Kanada und Norwegen. Alle für dieses Projekt notwendigen Sachmittel-Investitionen und Expeditionsteilnahmen (FS *Polarstern* und R/V *Helmer Hanssen*) wurden durch Eigenkapital des AWI und der University of Tromsø getragen.

3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Dieses Forschungsvorhaben liefert einen wichtigen Beitrag zur aktuellen Diskussion zu potentiellen Risiken und Anpassungsstrategien im Umgang mit den Folgen des Klimawandels am Beispiel arktischer Planktonorganismen. Dabei folgte der Verlauf der Arbeit im Forschungsvorhaben „Die Rolle pelagischer Amphipoden im Hinblick auf die Erwärmung des Arktischen Ozeans“ der im Projektantrag formulierten Planung. Alle im Arbeitsplan formulierten Aufgaben wurden erfolgreich bearbeitet und in einer Dissertation sowie in fünf weiteren Publikationen und auf wissenschaftlichen Kongressen und über die Öffentlichkeitsarbeit des AWI einem breiten wissenschaftlichen und nicht wissenschaftlichen Publikum dargebracht.

Die Durchführung des Vorhabens entsprach der Arbeits-, Zeit- und Ausgabenplanung. Eine zeitliche Anpassung erfolgte durch eine von Juli 2012 auf Januar 2013 verschobene

Konferenzteilnahme (Arctic Frontiers 2013) zur Präsentation der Fressstudien von den arktischen Amphipoden dieses Projekts. Nach dem Abschluss der Promotion der Doktorandin Angelina Kraft im Februar 2013 und ihrem Ausscheiden zum 31.08.2013 wurden die bis einschließlich 31.03.2014 bewilligten restlichen Personalmittel zur Beschäftigung einer technischen Angestellten (50%) und wissenschaftlichen Hilfskräften bis Projektende, die für den erfolgreichen Abschluss des Projektes die restliche Auswertung der Sinkstofffallenproben des Jahres 2012/13 durchführten, verwendet .

4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit der Projektergebnisse

Die Verwertbarkeit der Ergebnisse ist in vollem Umfang gegeben. Ebenso stellt sich die wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit des Projektes äußerst aussichtsreich dar.

4.1. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende

Das Forschungsvorhaben „Die Rolle pelagischer Amphipoden im Hinblick auf die Erwärmung des Arktischen Ozeans“ lieferte keine unmittelbaren wirtschaftlichen Erfolge. Es sind im Rahmen der biologischen Grundlagenforschung zu den Auswirkungen des Klimawandels innerhalb des Arktischen Nahrungsnetzes sechs wissenschaftliche Studien veröffentlicht worden oder in der Veröffentlichung begriffen, die zu einem besseren Verständnis der Nahrungsnetzstruktur in der Arktis und zur Sensibilisierung im Rahmen der globalen Erwärmung beitragen. Dabei wurde nationale und internationale wissenschaftliche Zusammenarbeit mit Norwegen und Kanada erfolgreich umgesetzt und vertieft. Die Ergebnisse dieser Studien sowie weiterführende Datensätze dieses Projekts stehen durch ihre Veröffentlichung in internationalen Fachzeitschriften und der Open Source Datenbank PANGAEA für künftige Planungsvorhaben in der europäischen Arktis, z.B. den aktiven kommerziellen Fischereiverbänden und Naturschutzverbänden zur Verfügung.

4.2 Wissenschaftlich-technische Erfolgsaussichten nach Projektende

Im Rahmen des Projektes hat die Doktorandin Angelina Kraft ihre Dissertation angefertigt und unter Betreuung von Prof. Dr. Ulrich V. Bathmann und PD Dr. Holger Auel erfolgreich mit dem Prädikat „summa cum laude“ an der Universität Bremen promoviert. Zudem wird das AWI auch im Rahmen der zukünftigen Ausbildung junger Wissenschaftler und Nachwuchskräfte wird das AWI die gewonnenen Forschungsergebnisse in weitere Bachelor-, Master-, und Doktorarbeiten einfließen lassen. Eines dieser Projekte ist die geplante weitere Zusammenarbeit mit dem Umweltforschungszentrum Leipzig, mit dem langfristigen Ziel der Darstellung der pelago-benthischen Kopplungsprozesse im Langzeitobservatorium HAUSGARTEN in einen theoriebasierten Toy-Modell-Ansatz. Dabei soll abgeschätzt werden, in wie weit Veränderungen in der arktisch-pelagischen Lebensgemeinschaft eine direkte Folge des Klimawandels sind, bzw. durch abiotische Veränderungen der Temperatur und des pH-Wertes hervorgerufen werden. Dieser Toy-Modell-Ansatz soll dabei einen wichtigen Beitrag für künftige Vorhersagen regionaler und langzeitlicher Veränderungen des pelagischen Nahrungsnetzes in der Arktis leisten. Zudem sollen die nationale Kooperationsbeziehung zwischen den Helmholtz-Zentren des UFZ Leipzig und des AWI ausgebaut und gefestigt werden.

4.3 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Die Vermittlung des Klimawandels, seiner Folgen, Risiken und Chancen steht heute mehr denn je im Mittelpunkt vieler Klimakonferenzen, in denen es um die Einbindung von Stakeholdern und Dialogprozesse im Vordergrund stehen. Die Darstellung und Verfolgbarkeit eines solchen Klimawandel-Scenarios in der europäischen Arktis mittels der Planktongruppe der Amphipoden bietet die Möglichkeit, in künftigen Studien anhand von wenigen Zeigerarten auftretende Ökosystemveränderungen nachzuverfolgen und mit Hilfe modellbasierter der pelago-benthischen Kopplungsprozesse eine Vorhersagefähigkeit zu entwickeln. Mit der Fokussierung auf wenige Schlüsselarten könnte somit eine kontinuierliche, wirtschaftliche und langfristige Monitoring-Strategie für die nördliche Framstraße und weitere Seegebiete darüber hinaus entwickelt werden.

In diesem Zusammenhang sollte vor allen die Nutzung der Vorteile aus Langzeitbeprobungsreihen, z.B. durch ganzjährig verankerte Sinkstofffallen, angestrebt werden. Nach Einschätzung des Verfassers wird der Aussagefähigkeit dieser Langzeitdatensätze aus arktischen Gewässern als Datengrundlage für Veränderungen im Nahrungsgefüge derzeit eine nur geringe Wertschätzung beigemessen. Dabei ist gerade in ganzjährig schwer erreichbaren

Seegebieten wie der Arktis eine übersaisonale Betrachtung der Ökosystemprozesse essentiell, was am Beispiel der Reproduktionsfähigkeit von *T. compressa* gezeigt werden konnte. Zudem können die im vorherigen Kapitel erwähnten angestrebten Untersuchungen zur ganzjährigen Erfassung der Amphipodenbestände durch Sinkstofffallen können auch auf weitere Seegebiete, z.B. in der Barentssee oder der zentralen Arktis erweitert werden.

5 Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Einen Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen, mit Bezug auf das Untersuchungsgebiet der europäischen Arktis, ist nicht bekannt. Im Bereich der globalen Meeresforschung und des Klimawandels wird jedoch die Planktongruppe der Amphipoden vermehrt untersucht, was z.B. neue Studien zur Verbreitung und Ökologie der Schwesterart *Themisto gaudichaudii* in der antarktische Konvergenzzone des südlichen Ozeans und des Südpolarmeeres zeigen (z.B. Padovani et al. 2012; Watts und Tarling 2012).

6 Erfolge und geplante Veröffentlichung der Forschungsergebnisse

Bereits erfolgte Veröffentlichungen:

a) Wissenschaftliche Publikationen:

Kraft, A. (2013) Arctic pelagic amphipods – community patterns and life-cycle history in a warming Arctic Ocean. Dissertation, Universität Bremen, 181 Seiten.

Kraft, A., Nöthig, E.-M., Bauerfeind, E., Wildish, D.J., Pohle, G.W., Bathmann, U.V., Beszczynska-Möller, A., Klages, M (2013). First evidence of reproductive success in a southern invader indicates possible community shifts among Arctic zooplankton. Marine Ecological Progress Series 493: 291–296. doi: 10.3354/meps10507

Kraft, A., Bauerfeind, E., Nöthig, E.-M., Klages, M., Beszczynska-Möller, A., Bathmann, U.V. (2013) Amphipods in sediment traps of the eastern Fram Strait with focus on the life-history of the lysianassoid *Cyclocaris guilelmi*. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers 73:62-72. doi:10.1016/j.dsr.2012.11.012

Kraft, A., Berge, J., Varpe, Ø., Falk-Petersen, S. (2012) Feeding in Arctic darkness: mid-winter diet of the pelagic amphipods *Themisto abyssorum* and *T. libellula*. *Marine Biology* 160:241-248. doi:10.1007/s00227-012-2065-8

Kraft, A., Bauerfeind, E., Nöthig, E.-M., Bathmann, U.V. (2012) Size structure and life cycle patterns of dominant pelagic amphipods collected as swimmers in sediment traps in the eastern Fram Strait. *Journal of Marine Systems* 95:1-15. doi:10.1016/j.dsr.2012.11.012

b) Wissenschaftliche Konferenzen:

Vortrag: Kraft, A., Graeve, M., Janssen, D., Falk-Petersen, S. (2013) From polar night to midnight sun: Lipid composition and feeding strategies of Arctic pelagic amphipods. Arctic Frontiers Konferenz: "Geopolitics & Marine Production in a Changing Arctic", 20-25. Januar 2013, Tromsø, Norwegen.

Poster: Kraft, A., Bauerfeind, E., Nöthig, E.-M., Bathmann, U.V. (2011) Pelagic amphipod patterns in the eastern Fram Strait at the AWI deep-sea observatory HAUSGARTEN (79°N/4°E) during the years 2000 to 2009. ICES/NAFO Konferenz: "Symposium on the variability of the North Atlantic and its marine ecosystems during 2000-2009", 10-12. Mai 2011, Santander, Spanien.

c) Wissenschaftliche Workshops:

Workshop "The Huntsman Marine Science Centre 15th Biennial Benthic Workshop 2012", mit Vortrag: Kraft, A., Bauerfeind, E., Nöthig, E.-M., Bathmann, U.V.: „Amphipods in sediment trap samples. Investigations at a deep-sea, long-term observatory in the Arctic Ocean“, 07.-09. November 2012, St. Andrews, New Brunswick, Kanada.

AWI-UFZ-Projektworkshop mit Vortrag und Diskussion: Jensen, T. Frank, K., Johst, K. Soltwedel, T., Bauerfeind, E., Hänselmann, C., Kraft, A.: "Modeling vertical particle flux – an individual based approach“, 22-23. Mai 2013, Leipzig.

FRAM Workshop am AWI mit Vortrag: Nöthig, E.-M., Bauerfeind, E., Beszczynska-Möller, A., Bracher, A., Engel, A., Metfies, K. Niehoff, B., Peeken, I., et al.: "Plankton ecology of Fram Strait: current status and future perspectives", 31. Mai 2012, Bremerhaven.

Forschungsdaten in PANGAEA:

Kraft, A., Bauerfeind, E., Nöthig, E.-M., et al. (2013) Amphipods in sediment traps of the eastern Fram Strait. Size: 5 datasets, doi:10.1594/PANGAEA.809453

Kraft, A., Bauerfeind, E., Nöthig, E.-M., et al. (2012) Dominant pelagic amphipods collected as swimmers from a mooring time-series at AWI HAUSGARTEN. Size: 5 datasets. doi:10.1594/PANGAEA.809084

Kraft, A., Bauerfeind, E., Nöthig, E.-M., et al. (2013) Deep-water amphipods from mooring time-series FEVI10 in 2357 m depth at AWI HAUSGARTEN. Size: 70 data points. doi:10.1594/PANGAEA.809440

Kraft, A.; Bauerfeind, E.; Nöthig, E.-M. et al. (2013): Deep-water amphipods from mooring time-series FEVI16 in 2370 m depth at AWI HAUSGARTEN. Size: 100 data points. doi:10.1594/PANGAEA.809443

Weitere geplante Veröffentlichungen:

Kraft, A., Graeve, M., Janssen, D., Falk-Petersen, S. Lipids in Arctic pelagic amphipods – A comparison between summer and winter: do seasons matter? Eingereicht bei Journal of Plankton Research, März 2014.

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

Öffentlichkeitsarbeit

AWI-Pressemitteilung: „Neue Akteure im Ökosystem der Arktis: Atlantische Flohkrebse pflanzen sich jetzt auch in arktischen Gewässern fort“ (Dezember 2013).

AWI Fact Sheet Arktis: „Die Folgen des Klimawandels für das Leben in den Meeren der Arktis“ (März 2014, pp. 8 & 9).

Quellen

- Bauerfeind E, Nöthig E-M, Beszczynska A, Fahl K, Kaleschke L, Kreker K, Klages M, Soltwedel T, Lorenzen C, Wegner J (2009) Particle sedimentation patterns in the eastern Fram Strait during 2000-2005: Results from the Arctic long-term observatory HAUSGARTEN. *Deep-Sea Res I* 56:1471-1487.
- 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.
- Gascard JC, Richez C, Rouault C (1995) New insights on large-scale oceanography in Fram Strait: the Spitsbergen Current. *Coast Estuar Stud* 49:131-182.
- Dalpadado P, Bogstad B (2004) Diet of juvenile cod (age 0-2) in the Barents Sea in relation to food availability and cod growth. *Polar Biol* 27:140-154.
- Dalpadado P, Ellertsen B, Johannessen S (2008) Inter-specific variations in distribution, abundance and reproduction strategies of krill and amphipods in the Marginal Ice Zone of the Barents Sea. *Deep-Sea Res II* 55:2257-2265.
- Dalpadado P, Ingvaldsen RB, Stige LC, Bogstad B, Knutsen T, Ottersen G, Ellertsen B (2012) Climate effects on Barents Sea ecosystem dynamics. *ICES J Mar Sci* 69:1303-1316.
- Karlson K, Bamstedt U (1994) Planktivorous predation on copepods. Evaluation of mandible remains in predator guts as a quantitative estimate of predation. *Mar Ecol Prog Ser* 108:79-89.
- Kraft A, Bauerfeind E, Nöthig E-M (2011) Amphipod abundance in sediment trap samples at the long-term observatory HAUSGARTEN (Fram Strait, ~79°N/4°E). Variability in species community patterns. *Mar Biodiv* 41:353-364.
- Kraft, A., Bauerfeind, E., Nöthig, E.-M., Bathmann, U.V. (2012) Size structure and life cycle patterns of dominant pelagic amphipods collected as swimmers in sediment traps in the eastern Fram Strait. *J Mar Sys* 95:1-15.
- Kraft, A. (2013) Arctic pelagic amphipods – community patterns and life-cycle history in a warming Arctic Ocean. Dissertation, Universität Bremen, 181 Seiten.
- Kraft, A., Berge, J., Varpe, Ø., Falk-Petersen, S. (2013a) Feeding in Arctic darkness: mid-winter diet of the pelagic amphipods *Themisto abyssorum* and *T. libellula*. *Mar Biol* 160:241-248.
- Kraft, A., Bauerfeind, E., Nöthig, E.-M., Klages, M., Beszczynska-Möller, A., Bathmann, U.V. (2013b) Amphipods in sediment traps of the eastern Fram Strait with focus on the life-history of the lysianassoid *Cyclocaris guilelmi*. *Deep-Sea Res I* 73:62-72.
- Manley TO (1995) Branching of Atlantic Water within the Greenland-Spitsbergen Passage: An estimate of recirculation. *J Geophys Res* 100:20627-20634.
- Noyon M, Narcy F, Gasparini S, Mayzaud P (2011) Growth and lipid class composition of the Arctic pelagic amphipod *Themisto libellula*. *Mar Biol* 158:883-892.
- Quadfasel D, Gascard JC, Koltermann KP (1987) Large-scale oceanography in Fram Strait during the 1984 marginal ice zone experiment. *J Geophys Res-Oceans* 92:6719-6728.

- Padovani LN, Viñas MD, Sánchez F, Mianzan H (2012) Amphipod-supported food web: *Themisto gaudichaudii*, a key food resource for fishes in the southern Patagonian Shelf. *Journal of Sea Research* 67:85-90.
- Rudels B, Jones EP, Schauer U, Eriksson P (2004) Atlantic sources of the Arctic Ocean surface and halocline waters. *Polar Res* 23:181-208.
- Schauer U, Beszczynska-Möller A, Walczowski W, Fahrback E, Piechura J, Hansen E (2008) Variation of measured heat flow through the Fram Strait between 1997 and 2006. In: Dickson RR, Meincke J, Rhines P (eds) *Arctic-Subarctic Ocean Fluxes: Defining the Role of the Northern Seas in climate*. Springer Science + Business Media BV, Berlin, pp 385-404.
- Walczowski W, Piechura J (2007) Pathways of the Greenland Sea warming. *Geophys Res Lett* 34:L10608.
- Watts J, Tarling GA (2012) Population dynamics and production of *Themisto gaudichaudii* (Amphipoda, Hyperiididae) at South Georgia, Antarctica. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 59-60:117-129.
- Weslawski JM, Kwasniewski S, Stempniewicz L, Blachowiak-Samolyk K (2006) Biodiversity and energy transfer to top trophic levels in two contrasting Arctic fjords. *Pol Polar Res* 27:259-278.