

3.3 Das Meereis als Lebensraum

IRIS WERNER

The habitat sea-ice: Sea ice of both polar regions serves as a unique habitat for specialized communities which occur on the upper ice surface, in the interior of the ice within brine channels and pockets, or at the underside at the interface between ice and water. Species using the surface of a lasting sea ice cover include emperor penguins and Weddell seals in the Antarctic or polar bears in the Arctic. Within the brine-channel system a variety of highly adapted viruses, bacteria, unicellular algae, proto- and metazoans, are thriving, whereas the underside is colonized by algae and used by higher trophic levels such as krill, amphipods and fish as a feeding ground and nursery area. Feeding activities and migrations closely connect the sea ice with adjacent ecosystems.

Riesige Flächen in beiden Polarmeeren sind vom Meereis bedeckt (s. Kap. 2.8 - NOTZ), das trotz großer saisonaler Schwankungen in seiner Meereisausdehnung von einer Reihe von Tieren intensiv genutzt wird. Hierzu gehört in der Antarktis vor allem der Kaiserpinguin. Er brütet und zieht seine Jungen ausschließlich auf dem Meereis auf und ist daher auf stabile Eisverhältnisse von etwa sieben Monaten angewiesen (s. Kap. 3.7 - PETER). Einige antarktische Robbenarten (Weddellrobbe, Krabbenfresserrobbe, Seeleopard) suchen ebenfalls das Meereis zum Gebären ihrer Jungen sowie für unterschiedlich lange Säugephasen auf (s. Kap. 3.8 - PLÖTZ et al.). In der Arktis sind es vor allem Eisbär, Polarfuchs und Ringelrobbe (s. Kap. 3.9 - BLANCHET et al.), die zum Jagen und Fressen oder zur Jungenaufzucht auf das Meereis angewiesen sind. Zusätzlich gibt es in der Arktis in den Sommermonaten einen weiteren Lebensraum auf dem Eis, die Schmelztümpel. Sie entstehen durch oberflächliches Tauen der Schnee- und Eisdecken und können im Sommer bis zu 40% der gesamten arktischen Meereisfläche einnehmen. In den Tümpeln leben Protisten und kleine mehrzellige Tiere, die so genannte Meiofauna (KRAMER & KIKO 2011).

Lebensgemeinschaften im Innern des Eises

Beim Gefrieren von Meerwasser bilden sich Süßwasser-Eiskristalle, die durch Wind- und Wellenbewegung zu kompakteren Formen (Eisbrei, kleine Schollen, feste Eisdecke) verdichtet werden. Bei fortschreitender Eisbildung wird das zwischen den Eiskristallen zurückbleibende Meerwasser immer weiter aufgesalzen. Dieses hoch saline, flüssige Wasser verbleibt in einem dreidimensionalen System von Kanälchen und Taschen, dem Salzlaugenkanalsystem (s. Kap. 2.8 - NOTZ). Diese Kanäle mit Durchmessern im Mikrometer- bis Zentimeterbereich bilden ein Netzwerk innerhalb des Eises (Abb. 3.3-1) und sind der Lebensraum einer sehr spezialisierten und hoch angepassten Flora und Fauna aus Viren, Bakterien, Pilzen, einzelligen Algen sowie ein- und mehrzelligen kleinen Tieren. Alle

diese im Meereis vorkommenden Lebewesen werden als sympagische (im Eis lebende) Organismen bezeichnet, viele dieser Arten kommen ausschließlich im Meereis vor und sind daher auf eine ganzjährige Eisdecke angewiesen. Die Hauptprimärproduzenten innerhalb des Eises sind die Diatomeen (Kieselalgen), die sowohl von der Artenzahl als auch von der Biomasse her in beiden Meereisregimes dominierend sind. So sind aus dem arktischen Eis etwa 300, aus der Antarktis 200 verschiedene Kieselalgenarten beschrieben worden. In dicht besiedelten Abschnitten des Eises, meist in den untersten Zentimetern, können die Algen so konzentriert sein, dass das Eis braun gefärbt ist. An solchen Stellen treten Chlorophyll-Konzentrationen von über 2 mg/l auf, also



Abb. 3.3-1: Salzlaugenkanalsystem von säulig-körnigem Meereis als Kunstharzausguss unter dem Rasterelektronenmikroskop (WEISSENBERGER et al. 1992).

viel mehr als während einer Frühjahrsblüte in temperierten Meeren. Neben den Diatomeen können auch andere einzellige Algen (z.B. Dinoflagellaten, Gold- oder Grünalgen) in hohen Abundanzen auftreten. Die im Eis konzentrierten Bestände an Algen bieten tierischen Konsumenten eine reiche Nahrungsgrundlage. Zu den sympagischen Tieren zählen Einzeller (Protozoen) wie Ciliaten und Foraminiferen, aber auch Mehrzeller, die sich innerhalb des Kanalsystems auf Grund einer schlanken Körpergestalt auf Nahrungssuche begeben können. Hierzu zählen verschiedene wurmartige Organismen wie Nematoden und Turbellarien, aber auch Rotatorien, Copepoden (Ruderfusskrebse), Hydroidpolypen und Nacktschnecken. Sie alle bilden ein verzweigtes Nahrungsnetz (Abb. 3.3-2), bei dem die räuberischen Endglieder im Eis vor noch größeren Prädatoren geschützt sind (KRAMER 2010).

Sehr spannend und noch nicht abschließend geklärt ist die Frage, wie die Organismen in das Eis hineinkommen. Nur wenige Arten, die im Meereis leben, kommen auch in der darunterliegenden Wassersäule vor. Für diese gibt es unterschiedliche Hypothesen, wie sie, z.B. durch aufsteigende Eiskristalle oder durch Wellenpumpen, in das Eis hineinkommen können. Viele Eisorganismen aber sind Verwandte von Bodenbewohnern oder kommen nur im Meereis vor. Für diese Gruppen bleibt der Prozess der Inkorporation weitgehend ungeklärt. Bei der Eisschmelze werden alle Eisorganismen in die Wassersäule freigesetzt, wo sie als Saatzpopulation im Pelagial oder als Nahrung für pelagische oder gar benthische Tiere dienen können (Abb. 3.3-2).

Im Lebensraum Meereis herrschen extreme Umweltbedingungen, v.a. hinsichtlich Temperatur, Salzgehalt und Licht. Antarktische Kieselalgen können z.B.

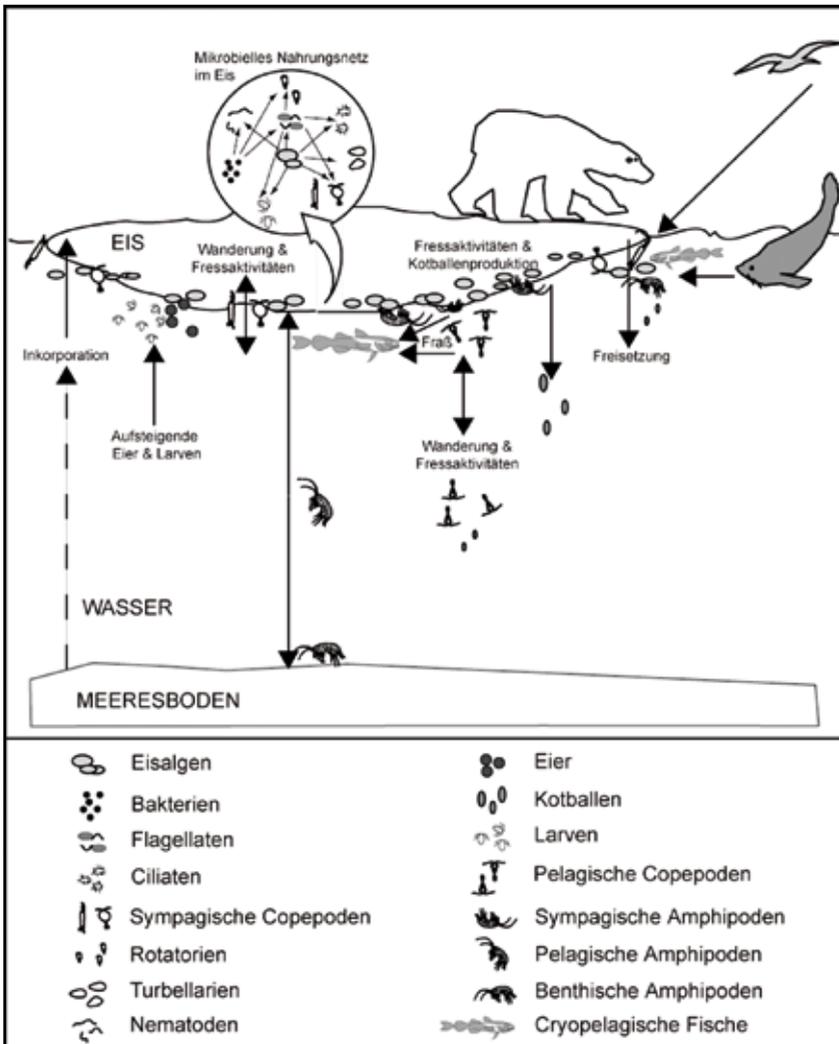


Abb. 3.3-2: Besiedlung, Prozesse und Nahrungsnetze im und unter arktischem Packeis sowie Verknüpfungen mit angrenzenden Lebensräumen.

noch bei Temperaturen bis $-5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ und Salzgehalten von 95 wachsen und sogar für mehrere Wochen noch tiefere Temperaturen (bis $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$) und höhere Salzgehalte (bis 145) zumindest überdauern (BARTSCH 1989). Viele Eisalgen können auch bei den im Eis herrschenden niedrigen Lichtbedingungen noch Photosynthese betreiben, da sie physiologisch extrem schattenadaptiert sind. Die Primärproduktion sämtlicher sympagischer Algen beträgt dennoch etwa ein Viertel bis ein Drittel der Gesamtproduktivität der polaren Meere (LEGENDRE et al. 1992). Auch einige sympagische Tierarten (z.B. die antarktische Nacktschnecke *Tergipes antarctica* und der Copepode *Stephos longipes*) sind mit z.T. speziellem Gefrierschutz, wie der thermalen Hysterese und osmotisch wirksamen Substanzen sehr gut an niedrige Temperaturen und schwankende Salzgehalte angepasst (KIKO 2008). Diese genetischen und physiologischen Anpassungen sind die Voraussetzung für die erfolgreiche Besiedlung des extremen Lebensraumes Meereis.

Das Untereis-Habitat: Fauna und Flora, Umwelteinflüsse und Rolle im Ökosystem

Die Unterseite des Meereises ist ein spezieller Lebensraum, der sowohl von den Eigenschaften des Eises als auch von denen der direkt darunter liegenden Wasserschicht beeinflusst wird. Ein entscheidender Faktor für die Besiedlung dieser Grenzschicht ist die Morphologie der Eisunterseite, die mit ihren Spalten und Löchern, Vorsprüngen und Kielen spezifische Mikrohabitate, z.B. in Bezug auf die Strömungsbedingungen, für unterschiedliche Pflanzen und Tiere schafft. Das Schmelzen und Gefrieren des Eises im Verlauf des

Jahres führt zu schwankenden und zum Teil extremen Temperatur- und Salzgehaltverhältnissen, an die die hier lebenden Organismen angepasst sind. Da die Biomassen der sympagischen Algen, Proto- und Metazoen meistens in den unteren Zentimetern des Eises konzentriert sind, herrschen an der Eisunterseite fast das ganze Jahr durch gute Nahrungsbedingungen vor. In der Arktis gibt es sogar fädige Kolonien der einzelligen Kieselalge *Melosira arctica*, die mehrere Meter lang werden können und in dichten Büscheln von der Eisunterseite herabhängen.

Die auffälligsten tierischen Bewohner sind in der Arktis mehrere Arten von Untereis-Amphipoden (Flohkrebsen), die »kopfüber« von der Eisunterseite herabhängen (Abb. 3.3-3), in diesem Habitat ein ganzjähriges Vorkommen aufweisen und ihren gesamten, mehrjährigen Lebenszyklus hier durchlaufen. Die Biologie und Ökologie dieser wichtigen Schlüsselarten sind mittlerweile vergleichsweise gut untersucht. Dazu beigetragen hat der Einsatz von Forschungstauchern sowie von optischen Systemen, wie z.B. Videokameras, in dem ansonsten nur schwer zugänglichen Lebensraum unter dem Packeis. Die Diversität dieser Gruppe ist niedrig, nur vier Arten kommen regelmäßig und zirkumpolar vor, zwei davon sind dominant und treten in z.T. hohen Abundanzen und Biomassen auf: die kleine (bis zu 1,5 cm lang) herbivore Art *Apherusa glacialis*, die sich v.a. von Eisalgen ernährt, und die große (bis zu 6,5 cm lang) omnivore Art *Gammarus wilkitzkii* (Abb. 3.3-3), die sich von Eisalgen, sympagischen und pelagischen Copepoden sowie von anderen Amphipoden ernährt (WERNER & AUDEL 2005). Artenzusammensetzung, Abundanz und Biomasse der Untereis-Amphipoden zeigen eine ausgeprägte räum-



Abb. 3.3-3: Arktischer Untereis-Amphipode *Gammarus wilkitzkii* von ca. 5 cm Länge.

liche Variabilität, die vor allem vom Alter des Eises abhängt. So weist in allen untersuchten arktischen Gebieten mehrjähriges Eis (multi-year-ice, MYI) meistens viel höhere Besiedlungsdichten auf als einjähriges Eis (first-year ice, FYI), z.B. in der Barentssee 1-20 ind./m² unter FYI, und 10-400 ind./m² unter MYI (HOP et al. 2000, ARNDT & LONNE 2002). Das mehrjährige Packeis der zentralen Arktis wird als Kerngebiet der Amphipodenpopulation und als Grundvoraussetzung für das Bestehen aller autochthonen Lebensformen im Packeis angesehen. Im einjährigen (oder saisonalen) Eis, das nach seiner Entstehung im folgenden Sommer wieder schmilzt, können die Amphipoden ihren Lebenszyklus von 2 (*A. glacialis*) bzw. 6-7 (*G. wilkitzkii*) Jahren nicht durchlaufen. Diese endemischen Arten sind somit auf die Existenz einer ausreichend großen Fläche von mehrjährigem Packeis angewiesen. Andere Steuerungsfaktoren für die Besiedlungsdichte sind die Morphologie der Eisunterseite, die Temperatur- und Salzgehaltsverhältnisse in der Eis-Wasser-Grenzschicht, sowie das Nahrungsangebot, v.a. die saisonal schwankende Eisalgenbiomasse (WERNER & GRADINGER 2002). Die besondere ökologische Rolle der Untereis-Amphipoden besteht in der trophischen Verbindung zwischen Meereis und Wassersäule, die sie als wichtige Beuteorganismen von kryopelagischen Fischen (z.B. Polardorsch) und tauchenden Seevögeln (z.B. Krabbentaucher) darstellen (Abb. 3.3-2). In der Antarktis hingegen sind es vor allem zwei Arten von Krill (*Euphausia superba*, *E. crystallophias*), die als Makrofauna die Unterseite des Packeises besiedeln, allerdings nur im Winter und Frühjahr, wenn die Eisalgenbiomasse als Nahrungsquelle genutzt wird (s. Kap. 3.4 - SIEGEL).

In beiden Polargebieten kommen unter dem Packeis auch eine Vielzahl von Copepoden (Ruderfußkrebsen) in großen Mengen vor, die die Eis-Wasser-Grenzschicht als permanenten oder vorübergehenden Lebensraum zur Nahrungsaufnahme, als Kinderstube für junge Stadien (z.B. Eier, Larven) und als Refugium vor Räubern nutzen (SCHNACK-SCHIEL 2003). Abgesehen von der Funktion eines eigenständigen Habitats spielt die Eisunterseite eine wichtige Rolle bei diversen Prozessen, die die Lebensräume Meereis und Pelagial (und sogar Benthos) über Stoff- und Energieflüsse miteinander verknüpfen, z.B. die genannten Fressaktivitäten und Wanderungen von sympagischen, pelagischen und benthischen Arten, sowie Einschluss und Freisetzung von Organismen bei der Eisbildung bzw. Eisschmelze (Abb. 3.3-2).

Umweltgefährdungen der Meereisgemeinschaften

Verschiedene Umweltgefährdungen können die Lebensgemeinschaften im und unter dem Meereis erreichen und beeinflussen. So würde nach einem möglichen Ölunfall in der marinen Arktis (s. Kap. 5.7 - LANGE) ausgetretenes Öl an der Unterseite des Eises akkumulieren. Auf Grund des geringen spezifischen Gewichtes des Öls ist auch davon auszugehen, dass es in das Eiskanalsystem aufsteigt und damit die internen Meereis-Lebensgemeinschaften dauerhaft schädigt. In arktischen Untereis-Amphipoden und im Polardorsch sind bereits organische Dauergifte (s. Kap. 5.4 - KALLENBORN) nachgewiesen worden, die sich in der polaren marinen Nahrungskette anreichern (HOP et al. 2002), und die – genau wie einige radioaktive Substanzen – an Partikel gebunden mit dem Meereis über weite Strecken transportiert werden können (MASQUÉ et al. 2003). Die sympagischen Organismen in Arktis und Antarktis sind in ihrem Lebensraum im Eis bzw. nahe der Wasseroberfläche auch der durch den Ozonabbau bedingten erhöhten UV-Strahlung ausgesetzt. Die mikrobielle Gemeinschaft in den ohnehin stark lichtexponierten arktischen Schmelzwassertümpeln scheint so gut an die hohen Strahlungsintensitäten, auch im UV-Bereich, angepasst zu sein, dass experimentell kein negativer Effekt von UV-B Strahlung festgestellt werden konnte (WICKHAM & CARSTENS 1998). Der arktische Untereisamphipode *Apherusa glacialis* besitzt Chromatophoren, die einen physiologischen Farbwechsel auslösen. Sie haben auch eine photoprotektive Funktion, möglicherweise als Schutz vor schädlicher UV-Strahlung (FUHRMANN et al. 2010). Erhöhte UV-Strahlung kann außerdem einen Anstieg von Sauerstoffradikalen im Meerwasser auslösen. Der arktische Untereis-Amphipode *Gammarus wilkitzkii* reagiert darauf mit Veränderungen in der antioxidativen Kapazität, also der Fähigkeit, sich gegen die physiologisch aggressiven Sauerstoffradikale zur Wehr zu setzen (CAMUS & GULLIKSEN 2005, KRAPP et al. 2009). Beide Prozesse können als Anpassungsstrategien der Amphipoden gegen die hohe UV-Exposition angesehen werden, die im polaren Sommer besonders an den Rändern der Eisschollen auftritt.

Die wahrscheinlich stärkste Umweltstörung für alle Organismen, die auf, im oder direkt unter dem Eis leben, ist aber die Abnahme von Fläche und Dicke des arktischen Meereises (s. Kap. 2.8 - NOTZ). Sie führt zu einer vielschichtigen Veränderung der Umweltbedingungen, z.B. durch veränderte Lichtbedingungen im dünneren Eis oder eine verstärkte Aussüßung durch Schmelzwasser unter dem Eis, bis hin zum Verlust eines einzigartigen Lebensraumes für die spezialisierte sympagische Flora und Fauna (GRADINGER 1995). Als

bereits sehr sichtbare Folge des Klimawandels kann das vermehrte Auftreten von durchgeschmolzenen, brackigen und salinen Schmelzwassertümpeln auf dem arktischen Meereis angesehen werden. Durch das verbreitete Durchschmelzen hat sich der Lebensraum der Schmelzwassertümpel von einem isolierten Süßwasserhabitat, besiedelt v.a. von limnischen Protisten, zu einem marinen Lebensraum mit diversen sympagischen mehrzelligen Tieren entwickelt (KRAMER & KIKO 2011). Vor allem der Rückgang des mehrjährigen Eises wird zunächst zu einer Artenverschiebung und später zu einer Reduktion der autochthonen Arten führen. Schon mit der Verschiebung vom ehemals vorherrschendem mehrjährigem Eis zu saisonalem oder einjährigem Eis geht eine Abnahme von Diversität und Abundanz der sympagischen Meiofauna und der arktischen Untereis-Amphipoden (WERNER 2006) einher. Sollte die Entwicklung im vorausgesagten Extremfall dazu führen, dass das zentrale Nordpolarmeer im Sommer ganz eisfrei sein wird, könnte es keine endemischen sympagischen Arten mehr geben. Das Meereis müsste dann, wie z.B. in der nördlichen Ostsee, in jedem Herbst von planktischen oder benthischen Arten neu besiedelt werden. Der hiermit verbundene Verlust von Diversität und Produktivität würde auch mit einer tief greifenden Veränderung des marinen Nahrungsnetzes einhergehen, die bis hin zu den Ringelrobben und den Eisbären reicht, die auf das Meereis als Jagdplattform und auf die Eis assoziierte Nahrungskette angewiesen sind (Abb. 3.3-3). Das früher einsetzende Tauen und spätere Gefrieren des Meereises hat schon jetzt einen Einfluss auf die Verbreitung der Bären und die Verfügbarkeit geeigneter Geburtshöhlen, v.a. in den südlichen Verbreitungsgebieten der Arktis (FISCHBACH et al. 2007). Das Durchschwimmen von größeren offenen Wasserflächen kann zur erhöhten Sterblichkeit bei den Eisbären beitragen (MONNETT & GLEASON 2006). Das für die Bären zur Jagd v.a. auf Ringelrobben auf dem Eis zur Verfügung stehende Zeitfenster verkleinert sich und damit auch die Möglichkeit, ausreichende Energievorräte anzufressen, die für die Fortpflanzung benötigt werden. Dies führt bei den Eisbären zu längeren Fastenzeiten, schlechterer Fitness, weniger und schwächeren Jungtieren, geringeren Überlebensraten und letztlich zu einem Rückgang der Population bis hin zu einem eventuellen Aussterben (STIRLING & DEROCHE 2012).

Literatur

ARNDT, C. & O. J. LÖNNE (2002): Transport of bioenergy by large scale Arctic ice drift. In: Ice in the Environment: Proceedings of the 16th IAHR International Symposium on Ice, Dec 2-6 2002, Dunedin, New Zealand. 382-390.

BARTSCH, A. (1989): Die Eisalgenflora des Weddellmeeres (Antarktis): Artenzusammensetzung und Biomasse sowie Ökophysiologie ausgewählter Arten. Ber. Polarforsch. 63, 1-110.

CAMUS, L. & B. GULLIKSEN (2005): Antioxidant defense properties of Arctic amphipods: comparison between deep-, sublittoral and surface-water species. Mar. Biol. 146, 355-362.

FISCHBACH, A.S., S. C. AMSTRUP & D. C. DOUGLAS (2007): Landward and eastward shift of Alaskan polar bear denning associated with recent sea ice changes. Polar Biol. 30: 1395-1405.

FUHRMANN, M., NYGÅRD, H., KRAPP, R., BERGE J. & I. WERNER (2010): The adaptive significance of chromatophores in the Arctic under-ice amphipod *Apherusa glacialis*. Polar Biol. 34(6): 823-832.

HOP, H., K. BORGÅ, G. W. GABRIELSEN, L. KLEIVANE & J. U. SKAARE (2002): Fodd web magnification of persistent organic pollutants in poikilotherms and homeotherms from the Barents Sea. Environ. Sci. Technol. 36, 2589-2597.

HOP, H., M. POLTERMANN, O. J. LÖNNE, S. FALK-PETERSEN, R. KORSNES & W. P. BUDGELL (2000): Ice amphipod distribution relative to ice density and under-ice topography in the northern Barents Sea. Polar Biol. 23, 357-367.

GRADINGER, R. (1995): Climate change and biological oceanography in the Arctic Ocean. Phil Trans.R.Soc.Lond. A 352:277-286.

KIKO, R. (2008): Ecophysiology of Antarctic sea-ice meiofauna, Doktorarbeit, Universität Kiel, 116 S.

KRAMER, M. (2010): The role of sympagic meiofauna in Arctic and Antarctic sea-ice food webs. Doktorarbeit, Universität Kiel, 157 S.

KRAMER, M. & R. KIKO (2011): Brackish meltponds on Arctic sea ice – a new habitat for marine metazoans. Polar Biol. 140: 603-608.

KRAPP, R. H., BASSINET, T., BERGE, J., PAMPANIN, D. M. & L. CAMUS (2009): Antioxidant responses in the polar marine amphipod *Gammarus wilkitzkii* to natural and experimentally increased UV levels. Aquat. Toxicol. 94: 1-7.

LEGENDRE, L., S. F. ACKLEY, G. S. DIECKMANN, B. GULLIKSEN, R. HORNER, T. HOSHIAI, I. A. MELNIKOV, W. S. REEBURGH, M. SPINDLER, C. & W. SULLIVAN (1992): Ecology of sea ice biota. 2. Global significance. Polar Biol. 12, 429-444.

MASQUÉ, P., J. K. COCHRAN, D. HEBBELN, D. J. HIRSCHBERG, D. DETHLEFF & A. WINKLER (2003): The role of sea ice in the fate of contaminants in the Arctic Ocean: plutonium atom ratios in the Fram Strait. Environ. Sci. Technol. 37, 4848-4854.

MONNETT C. & J. S. GLEASON (2006): Observations of mortality associated with extended open-water swimming by polar bears in the Alaskan Beaufort Sea. Polar Biol. 29(8): 681-687.

SCHNACK-SCHIEL, S. B. (2003): The macrobiology of sea ice. In: THOMAS, D. N. & G. S. DIECKMANN (Hrsg.). Sea ice - an introduction to its physics, chemistry, biology and geology. Blackwell Publishers, Oxford. 211-239.

STIRLING, I. & A. E. DEROCHE (2012): Effects of climate warming on polar bears: a review of the evidence. Global Change Biol. 18: 2694-2706.

WEISSENBARGER J., G. S. DIECKMANN, R. GRADINGER & M. SPINDLER (1992): Sea ice: a casting technique to examine and analyze brine pockets and channel structure. Limnol. Oceanogr. 37, 179-183.

WERNER, I. (2006) Seasonal dynamics, cryo-pelagic interactions and metabolic rates of Arctic pack-ice and under-ice fauna: a review. Polarforsch. 75(1): 1-19.

WERNER, I. & H. AUDEL (2005): Seasonal variability in abundance, respiration and lipid composition of Arctic under-ice amphipods. Mar. Ecol. Prog. Ser. 292, 251-262.

WERNER, I. & R. GRADINGER (2002): Under-ice amphipods in the Greenland Sea and Fram Strait (Arctic): environmental controls and seasonal patterns below the pack ice. Mar. Biol. 140, 317-326.

WICKHAM, S. & M. CARSTENS (1998): Effects of ultraviolet-B radiation on two arctic microbial food webs.- Aquat. Microb. Ecol. 16: 163-171.

Kontakt:

Dr. Iris Werner
Universität Kiel
iwerner@gb.uni-kiel.de