

3.13 Wie reagieren die Benthosgemeinschaften der offenen Nordsee auf die globale Erwärmung?

INGRID KRÖNCKE, HERMANN NEUMANN, HENNING REISS & ULRIKE SCHÜCKEL

Response of open North Sea benthic communities to climate change: Long-term studies reveal climate driven changes in the benthic communities of the sublittoral North Sea since the late 1980s. In the shallow mixed water column of the southern North Sea increasing SST (Sea Surface Temperature) correlates with increasing abundance, species number and biomass as well as reproduction success of in- and epifauna species. Changes in the feeding modes of species are mainly related to increasing food supply (= primary production). The dominance of native species has changed in the in- and epifauna communities since the late 1980s, southern species have increased, while northern species have decreased. We expect an increase in invasive macrofauna species with further increase in SST as we see already for epifauna species such as the angular crab. The crab has spread already over large areas in the southern North Sea and will compete with native species for space and food. The future will show how an increasing number of benthic invaders will change the structural and functional diversity of the North Sea.

Als Benthos werden die Lebensgemeinschaften im und auf dem Meeresboden bezeichnet, zu denen hauptsächlich wirbellose Tiere gehören. Die Arten, die eingegraben im Meeresboden leben, werden als Endo- oder Makrofauna (>0,5 mm) bezeichnet, und die, die auf dem Meeresboden leben, als Epifauna (>1 cm). Das Benthos ist eine wichtige Nahrungsquelle für viele Fischarten und spielt eine entscheidende Rolle bei der Remineralisation von sedimentiertem organischen Material. Da die im Meeresboden lebenden Arten relativ standorttreu sind und Störungen nur schwer ausweichen können, werden sie als gute Indikatoren für Veränderungen in einem Ökosystem angesehen. Langzeituntersuchungen sind essentiell, um Trends trotz der natürlicherweise sehr starken saisonalen und Jahr-zu-Jahr Schwankungen deutlich machen zu können.

Während in den 1970er und 1980er Jahren primär sehr kalte Winter Veränderungen in den Benthosgemeinschaften der südlichen Nordsee (<50 m Tiefe) verursachten (KRÖNCKE et al. 1998, SCHRÖDER 2005), wurden seit Ende der 1980er Jahre klimatisch bedingte Veränderungen festgestellt, die an eine Periode mit milden Wintern – mit Ausnahme des kalten Winters 1995/96 (REISS et al. 2006) – und positiven Werten des Nordatlantischen Oszillation Index (NAOI) gekoppelt waren. Die Oberflächentemperatur (Sea Surface Temperature (SST)) der Nordsee ist in den letzten Jahrzehnten im Mittel um 1,1°C gestiegen (BEARE et al. 2002). Messungen der SST und der Bodenwassertemperatur in der Deutschen Bucht weisen seit 2000 sogar Werte von 2–3°C über dem langjährigen Mittel auf (NEUMANN et al. 2008).

Flache südliche Nordsee

KRÖNCKE et al. (1998) fanden im Inselvorfeld von Nordey eine signifikante Zunahme der Artenzahl, der Abundanz und der Biomasse der Makrofauna zwischen 1988 und 1999, die primär im 2. Quartal signifikant

mit einem positiven NAOI korrelierte, der mit milden Wintern seit 1988 einherging. Die höhere SST im Winter bewirkte, dass seit 1988 ein hoher Prozentsatz an heimischen Arten mit südlicher Verbreitung in der Nordsee gefunden wurde, wohingegen in den 1980er Jahren mit negativem NAOI und vielen kalten Wintern vermehrt arktisch-boreale und heimische nördliche Arten auftraten (KRÖNCKE et al. 2001). Auch der Anstieg der Artenzahl wurde nicht durch Zuwanderer verursacht, sondern durch heimische südliche Arten, die über das ganze Jahr auf Grund der fehlenden kalten Winter konstant im Untersuchungsgebiet auftraten. Daten bis 2005 (KRÖNCKE et al. eingereicht) zeigen, dass sich die Gemeinschaften von den Auswirkungen des kalten Winters 1995/96 schnell erholten. Um das Jahr 2001 hat jedoch eine gravierende Veränderung ähnlich der Ende der 1980er Jahre in der Gemeinschaftsstruktur stattgefunden. Die Artenzahl geht seit 2002 zurück, die Abundanz seit 2005, die Biomasse bleibt dagegen relativ stabil. Die Abundanzen einiger dominanter Taxa wie der Amphipodengattung *Bathyporeia* spp. und der Polychaetengattung *Magelona* spp. brach ab 2003 völlig ein (Abb. 3.13-1a), wohingegen die anderer Arten wie z.B. des Polychaeten *Owenia fusiformis* (Abb. 3.13-1b) zunahm. Die bis 2001 gefundene Korrelation zwischen Makrofauna und NAOI ist nicht länger signifikant. DIPPNER et al. (2010) zeigen, dass abrupte und weiche »regime shifts« gekoppelt an lineare und nicht lineare Korrelationen zwischen Klimafaktoren und Makrofauna dafür verantwortlich sind und periodisch abwechseln.

Seit 1998 untersuchen NEUMANN et al. (2008, 2009b) in Kooperation mit dem Institut für Seefischerei in Hamburg (vTI) (EHRICH et al. 2007) die Epifaunagemeinschaften in einem Gebiet nordwestlich von Helgoland und auf großräumiger Skala von 24 ICES-Quadraten, die die deutsche AWZ abdecken. Die Untersuchungen begannen zwei Jahre nach dem kalten Winter 1995/96, dessen Auswirkungen in den hohen

Abundanzen des opportunistischen Schlangensterns *Ophiura albida* in Verbindung mit einer geringen mittleren Diversität in den ersten Jahren der Untersuchung zu sehen waren. In den folgenden Jahren stieg die Bodentemperatur um 2–3°C an, simultan sank die Abundanz von *O. albida*, während die anderer Arten zunahm wie der Garnelen *Crangon crangon* und *C. allmanni* (Abb. 3.13-2a), der Maskenkrabbe *Corystes cassivelaunus*, der Schwimmkrabbe *Liocarcinus hol-satus* (Abb. 3.13-2b), des Kammseesterns *Astropecten irregularis*, der Zwergzunge *Buglossidium luteum*, der Lammzunge *Arnoglossus laterna* und der Sandgrundel *Pomatoschistus minutus*. Die Veränderungen korrelierten primär mit dem Anstieg der Wassertemperatur, besonders im Winter, die eine geringere Wintermortalität, höhere Nahrungsverfügbarkeit, verändertes Migrationsverhalten und veränderte Reproduktionszyklen bedingt. Ab 2001 tritt eine Veränderung in der Gemeinschaftsstruktur auf, die ähnlich wie im Inselvorfeld von Norderney an die seitdem extrem warmen Winter gekoppelt ist (NEUMANN et al. 2008). Außerdem treten in der südlichen Nordsee vermehrt epibenthische Zuwanderer auf, wie die Trapezkrabbe *Goneplax rhomboides* (NEUMANN et al. 2010) (Abb. 3.13-3). Sie ist normalerweise in wärmeren Gefilden des östlichen Atlantiks und des Mittelmeeres zu Hause. Im Oyster

Ground, dem derzeitigen Verbreitungsschwerpunkt der Trapezkrabbe, wurden im Jahr 2008 bis zu 136 Tiere in einem Fang gefunden. Insgesamt sind bislang über 1.500 Exemplare gefunden worden, darunter Männchen, eiertragende Weibchen sowie ausgewachsene Tiere und Jungtiere. Es ist deshalb davon auszugehen, dass sich die Trapezkrabbe in der Nordsee etabliert hat. Auf Grund ihrer grabenden Lebensweise kann die Art zu einem Konkurrenten der heimischen Maskenkrabbe (*Corystes cassivelaunus*), aber auch des Kaisergranats (*Nephrops norvegicus*) werden. Klimatisch bedingte Veränderungen in der funktionellen Diversität der Epifaunagemeinschaften in der Deutschen Bucht zeigen einen Abundanzanstieg von Makrofaunaarten, deren Reproduktionserfolg signifikant mit den erhöhten SST und Bodentemperaturen seit 2002 im Herbst korrelierten (NEUMANN & KRÖNCKE 2010). Auch Veränderungen in den Ernährungstypen der Epifauna korrelierten signifikant mit den erhöhten Temperaturen und der parallel dazu gestiegenen Primärproduktion in der Deutschen Bucht.

Doggerbank

Die Veränderungen in den Makrofaunagemeinschaften auf der Doggerbank im 20. Jahrhundert zeigten die gravierendsten Veränderungen zwischen 1920 und

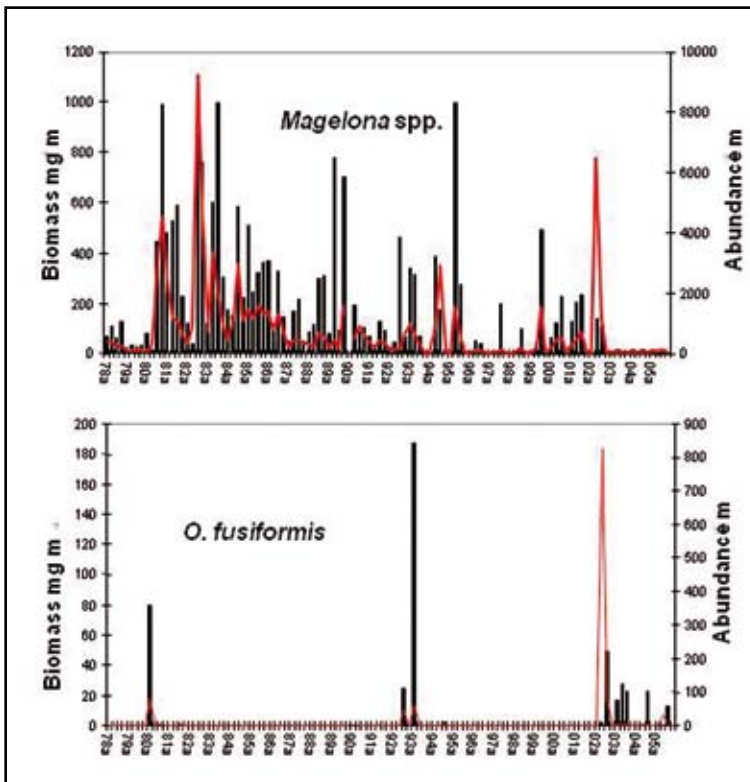


Abb. 3.13-1: Die zeitliche Variabilität der Abundanz und Biomasse pro m² der Polychaeten *Magelona* spp. und *Owenia fusiformis* im Inselvorfeld von Norderney. **Schwarze Säule:** Biomasse. **Rote Linien:** Häufigkeit (aus KRÖNCKE et al. eingereicht).

1950 (KRÖNCKE 2011). Durch die Industrialisierung der Fischereiflotten in diesem Zeitraum wurde der Fischereidruck auf der Doggerbank intensiviert, was die Eliminierung der in den 1920er Jahren gefundenen ausgedehnten Muschelbänke der Arten *Spisula* und *Macra* zur Folge hatte. Die Muscheln wurden als Zielarten oder Beifang gefischt. Die Muschelbänke haben sich aufgrund der anhaltenden Fischerei bis heute nicht erholt. Seit 1950 war die räumliche Ausdehnung der fünf Makrofaunagemeinschaften auf der Doggerbank jedoch relativ stabil, klimatisch bedingte Veränderungen treten ähnlich wie in den küstennahen Gebieten seit den 1980er Jahren auf, die sich in einer Zunahme heimischer südlicher Arten und einer Abnahme von nördlichen Arten äußern. Außerdem nehmen Ernährungstypen wie Interface-feeder im zentralen Bereich der Bank und kleine schnellwüchsige Muschelarten wie *Nucula nitidosa* (Abb. 3.13-4), *Abra alba* und *Corbula gibba* im südlichen Teil der Bank zu, die von der

temperaturbedingten Erhöhung der Primärproduktion (McQUATTERS-GOLLOP et al. 2007) profitieren. Die Muschelarten kamen in früheren Jahrzehnten primär in der inneren Deutschen Bucht vor, dehnen sich seit Ende der 1980er Jahre aber vermehrt in Richtung offene Nordsee aus (KRÖNCKE et al. 2011). Der von der ICES Benthos Working Group durchgeführte Vergleich der Makrofaunagemeinschaften der gesamten Nordsee zwischen 1986 und 2000 zeigt, dass neben dem Rückgang von nördlichen und dem Anstieg von heimischen südlichen Arten sowie der Ausbreitung der oben genannten Muschelarten kaum Veränderungen in der räumlichen Verteilung der Makrofaunagemeinschaften in 2000 gegenüber 1986 gefunden wurden. Die auffälligsten Veränderungen wurden im Bereich der verschiedenen Frontensysteme in der südlichen Nordsee festgestellt, die wahrscheinlich auch auf klimatisch bedingte Veränderungen im Strömungsregime und Nahrungsangebot zurück zu führen sind.

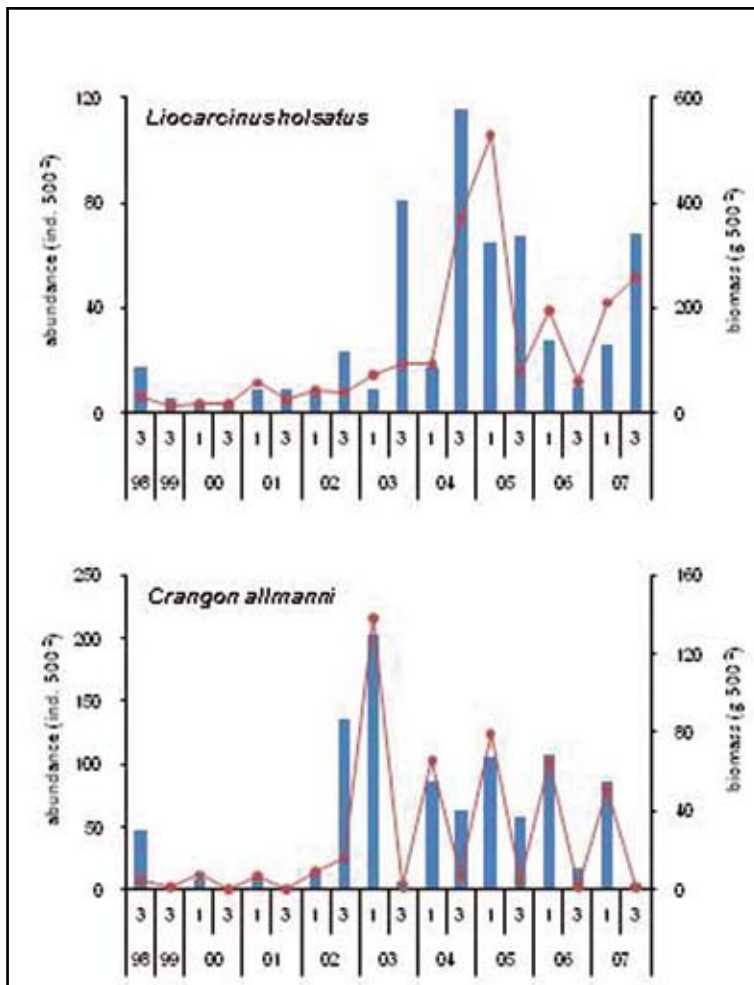


Abb. 3.13-2: Die zeitliche Variabilität der Abundanz und Biomasse der Schwimmkrabbe *Liocarcinus holsatus* (a) und der Furchenkrabbe *Crangon allmanni* (b) pro 500 m² in der südöstlichen Nordsee. **Blau** Säule: Häufigkeit. **Rote Linien:** Biomasse (aus NEUMANN et al. 2008).

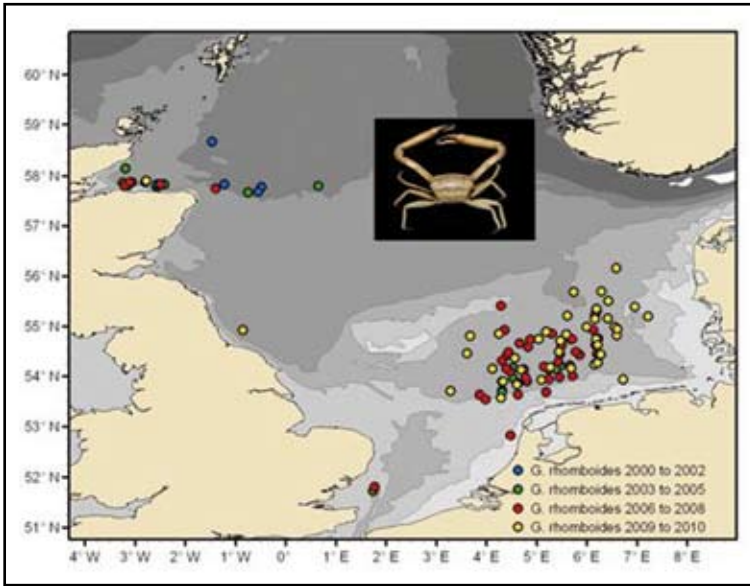


Abb. 3.13-3: Die zeitliche Variabilität im Auftreten der neu eingewanderten Trapezkrabbe *Goneplax rhomboides* in der Nordsee (aus NEUMANN et al. 2010).

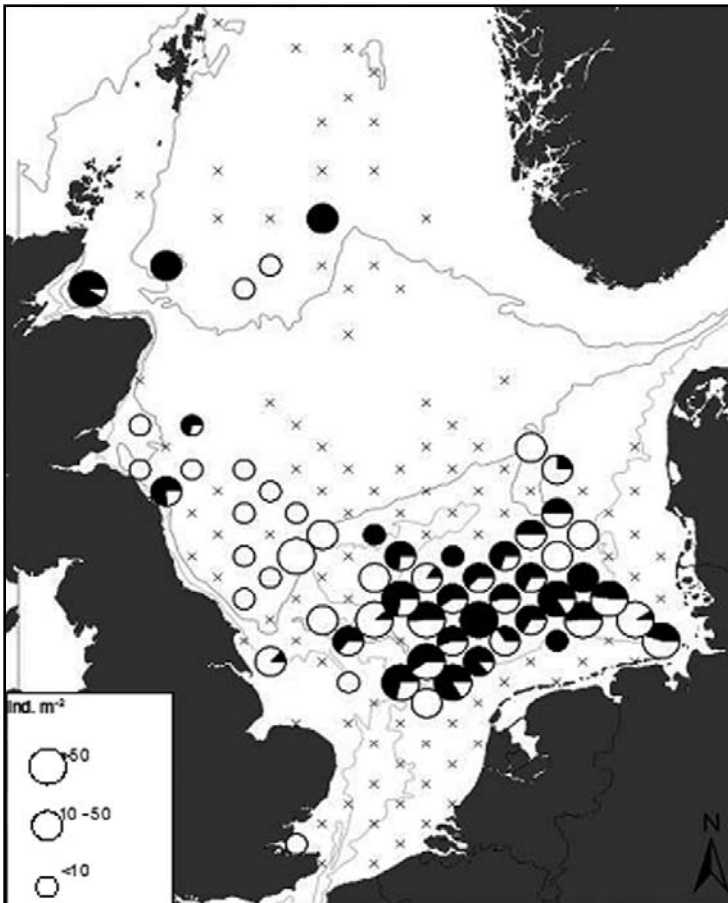


Abb. 3.13-4: Die zeitliche Variabilität der Abundanz pro 0,1 m² der Nussmuschel *Nucula nitidosa* zwischen 1986 (weiss) und 2000 (schwarz) in der Nordsee (aus KRÖNCKE et al. 2011).

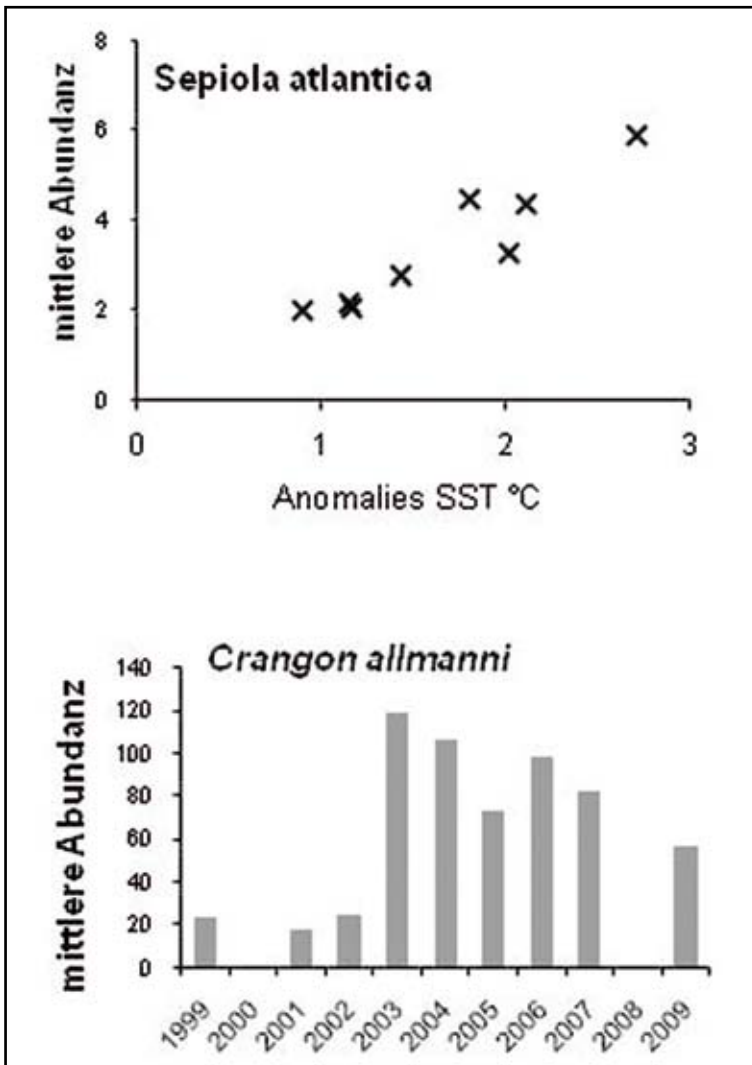


Abb. 3.13-5: Die Korrelation zwischen (oben) Abundanz pro 500 m² der Atlantischen Zwergsepie (*Sepioloatlantica*) und den Anomalien der SST und (unten) die zeitliche Variabilität der mittleren Abundanz pro 500 m² der Furchengarnele (*Crangon allmanni*) in der nördlichen Nordsee (aus NEUMANN et al. 2009a).

Tiefe nördliche Nordsee

Auch in der nördlichen Nordsee (>100 m Tiefe) wurden klimatisch bedingte Veränderungen in den Benthosgemeinschaften gefunden. Senckenberg am Meer untersucht seit 1998 die Makro- und Epifaunagemeinschaften in drei Gebieten der nördlichen Nordsee. Sie liegen im Bereich des Fair Isle Stroms und im östlichen Shetlandbecken im direkten Einfluss atlantischer Wassermassen (NEUMANN et al. 2009a). Im Gebiet des Fair Isle Stroms mit einer durchmischten Wassersäule wurde eine signifikante Korrelation zwischen SST seit 2002 und einem Anstieg von Makrofaunaarten gefunden, die von dem erhöhten Nahrungsangebot einer parallel gestiegenen Primärproduktion profitierten (SCHÜCKEL et al. 2010). In diesem Gebiet wurde auch ein Anstieg von Epifaunaarten wie der Atlantischen Zwergsepie (*Sepi-*

la atlantica) und der Furchengarnele (*Crangon allmanni*) (Abb. 3.13-5) seit 2003 gefunden, die ebenfalls mit der SST korrelierten. Im östlichen Shetlandbecken bewirkte die erhöhte SST jedoch eine stärkere Schichtung der Wassersäule und führte damit zu einem verringerten Nahrungsangebot, das in einem Rückgang der Makrofaunaabundanzen resultierte (SCHÜCKEL et al. 2010).

Schlussbetrachtung

Die Ergebnisse der Benthos-Langzeituntersuchungen zeigen deutliche klimatisch bedingte Veränderungen seit Ende der 1980er Jahre in den Makro- und Epifaunagemeinschaften von der Küste bis in die nördliche Nordsee. In flachen durchmischten Bereichen der südlichen Nordsee korreliert die erhöhte SST und Bodenwassertemperatur mit einem Anstieg der Arten-

zahlen, Abundanzen und Biomassen sowie der Reproduktion verschiedener Arten. Veränderungen in den Ernährungstypen der Benthosarten sind an ein erhöhtes Nahrungsangebot (= Primärproduktion) gekoppelt, das seinerseits von der erhöhten SST beeinflusst wird. In den Makrofaunagemeinschaften im Sublitoral finden bislang Dominanzverschiebungen innerhalb der heimischen Arten statt, südliche Arten nehmen zu, kalttemperierte nehmen ab. Langfristig ist das Einwandern von Makrofaunaarten im Sublitoral der Nordsee zu erwarten, das bei der Epifauna schon eingesetzt hat. Die Trapezkrabbe ist ein Beispiel für eine Art, die schon jetzt große Bereiche der südlichen Nordsee besiedelt hat und damit zu einem Konkurrenten um Raum und Nahrung von heimischen Arten werden kann. Bei weiterem SST-Anstieg werden vermehrt benthische Zuwanderer in die offene Nordsee kommen. Die Zukunft wird zeigen, inwieweit sie die strukturelle und funktionelle Diversität der Benthosgemeinschaften der offenen Nordsee und damit des gesamten Ökosystems Nordsee verändern werden.

Literatur

- BEARE D.J. BATTEN S. EDWARDS M. & REID D.G. (2002): Prevalence of boreal Atlantic temperate Atlantic and neritic zooplankton in the North Sea between 1958 and 1998 in relation to temperature salinity stratification intensity and Atlantic inflow. *J. Sea Res.* 48 29-49.
- DIPPNER J.W. JUNKER K. & KRÖNCKE I. (2010): Biological regime shifts and changes in predictability. *Geophysical Research Letters* 37: doi.org/10.1029/2010GL045696.
- EHRICH S. ADLERSTEIN S. BROCKMANN U. FLOETER J. GARTHE S. HINZ H. KRÖNCKE I. NEUMANN H. REISS H. SELL A.F. STEIN M. STELZENMÜLLER V. STRANSKY C. TEMMING A. WEGNER G. & ZAUKE G.-P. (2007): 20 years of the German Small-Scale Bottom Trawl Survey (GSBTS): A review. *Senckenbergiana marit.* 37 13-82.
- KRÖNCKE I., DIPPNER, J.W. & REISS H. (eingereicht): Effects of cold winters and regime shifts on macrofauna communities in the southern North Sea. *J. Mar.Biol. Ass. UK.*
- KRÖNCKE I. REISS H. EGGLETON J.D. BERGMAN M.J.N. COCHRANE S. CRAEYMEERSCH J. DEGRAER S. DESROY N. DEWARUMEZ J.-M. DUINEVELD G. ESSINK K. HILLEWAERT H. LA-VALEYE M. MOLL A. NEHRING S. NEWELL J. POHLMANN T. RACHOR E. ROBERTSON M. RUMOHRE H. SCHRATZBERGER M. SMITH R. VANDEN BERGHE E. VAN DALFSEN J. VAN HOEY G. VINCX M. & REES H.L. (2011): Changes in North Sea macrofauna communities and species distribution between 1986 and 2000. *Estuarine Coastal Shelf Science* in press.
- KRÖNCKE I. (2011): Dogger Bank macrofauna communities in the 20th century caused by fishing and climate. *Estuarine Coastal Shelf Science*. in press.
- KRÖNCKE I. ZEISS B. & RENSING C. (2001): Long-term variability in macrofauna species composition off the island of Norderney (East Frisia Germany) in relation to changes in climatic and environmental conditions. *Senckenbergiana marit.* 31 65-82.
- KRÖNCKE I. DIPPNER J.P. HEYEN H. & ZEISS B. (1998): Long-term changes in macrofauna communities off Norderney (East Frisia Germany) in relation to climate variability. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 167 25-36.
- MCQUATTERS-GOLLOP A. RAITOSOS D.E. EDWARDS M. PRADHAN Y. MEE L.D. LAVENDER S.J. & ATTRILL M.J. (2007): A long-term chlorophyll data set reveals regime shift in North Sea phytoplankton biomass unconnected to nutrient trends. *Limnol. Oceanogr.* 52 635-648.
- NEUMANN H. & KRÖNCKE I. (2010): Long-term effects of sea surface temperature on the ecological functioning of epifauna in the German Bight. *Mar. Eco.* 32 (Suppl. 1) 1-9.
- NEUMANN H. KRÖNCKE I. & EHRICH S. (2010): Establishment of the angular crab *Goneplax rhomboides* (Linnaeus 1758) (Crustacea Decapoda Brachyura) in the southern North Sea. *Aquatic Invasion* 5 S27 - S30.
- NEUMANN H. EHRICH S. & KRÖNCKE I. (2009a): Variability of epifauna and temperature in the northern North Sea. *Mar. Biol.* 156 1817-1826.
- NEUMANN H. REISS H. RAKERS S. EHRICH S. & KRÖNCKE I. (2009b): Temporal variability of southern North Sea epifauna communities after the cold winter 1995/1996. *ICES J. Mar. Sci.* 66 2233-2243.
- NEUMANN H. EHRICH S. & KRÖNCKE I. (2008): Temporal variability of an epibenthic community in the German Bight affected by cold winter and climate. *Clim. Res.* 37 241-251.
- REISS H. MEYBOHM K. & KRÖNCKE I. (2006): Cold winter (1995/96) effects on macrofauna communities in near- and offshore regions of the North Sea. *Helgol. Mar. Res.* 60 224-238.
- SCHRÖDER A. (2005): Community dynamics and development of soft bottom macrozoobenthos in the German Bight (North Sea) in 1969-2000. *Rep. Polar Res.* 494 1-181.
- SCHÜCKEL U. EHRICH S. & KRÖNCKE I. (2010): Temporal variability of three macrofauna communities in the northern North Sea. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 89 1-11.

*PD Dr. Ingrid Kröncke, Dr. Hermann Neumann,
Dr. Henning Reiß & Ulrike Schückel
Senckenberg am Meer, Abt. Meeresforschung
Südstrand 40 - 26382 Wilhelmshaven
ingrid.kroencke@senckenberg.de*