

## 4.10 Globale Erwärmung, eingeschleppte Arten und neue Habitate: Folgen für die Biodiversität der Nordsee

CHRISTIAN BUSCHBAUM, LARS GUTOW & K. MATHIAS WEGNER

**Globale Erwärmung, eingeschleppte Arten und neue Habitate: Folgen für die Biodiversität der Nordsee:** In der Nordsee führt der globale Klimawandel zu direkten und indirekten Effekten auf die Biodiversität. Steigende Wassertemperaturen begünstigen die Etablierung einer zunehmenden Anzahl vom Menschen eingeschleppter Arten und mit ihnen assoziierte Krankheitserreger und Parasiten. Als Antwort auf einen ansteigenden Meeresspiegel und im Zuge der Nutzung regenerativer Energien werden zahlreiche Küstenschutzstrukturen und Offshore-Windenergieanlagen errichtet. Beides erhöht den Anteil künstlicher Hartstrukturen in der Nordsee maßgeblich. Hiervon profitieren vor allem Hartsubstrat liebende, sessile Arten, die in der durch sandige und schlackige Sedimente dominierten südlichen Nordsee natürlicherweise habitatlimitiert sind. Somit verursacht die kombinierte Wirkung steigender Temperaturen, der menschenverursachten Einschleppung von Arten und der Errichtung künstlicher Habitate derzeit einen erheblichen Wandel der Arten- und Habitatvielfalt in der Nordsee. Dramatische Schäden sind bisher ausgeblieben. Stattdessen ist das Ökosystem von Nordsee und Wattenmeer komplexer geworden.

**Global warming, introduced species and new habitats: Effects on biodiversity of the North Sea -** Global climate change causes direct and indirect effects on biodiversity of the North Sea. Increasing water temperatures facilitate the establishment of non-native species and associated parasites and diseases. Currently, solid coastal protection structures are being enlarged in response to a rising sea level whereas numerous offshore wind turbines are constructed to intensify the use of renewable energy. This leads to a huge amount of artificial hard structures. These are colonized by native and non-native sessile species, which normally would be habitat-limited in the primarily sedimentary southern North Sea. Thus, the combined effects of warming, the introduction of non-native species and the construction of artificial hard substrates are main drivers for current changes in species and habitat diversity in the North Sea. So far, however, this development has no drastic implications for the ecosystem of the North Sea and the Wadden Sea.

Auf großen Zeitskalen ist die Veränderung von Lebensräumen und ihren Organismengemeinschaften ein natürlicher Prozess, der meist an einen Wandel der Umweltbedingungen gekoppelt ist. Auch die Nordsee und ihre Küstengebiete haben sich seit ihrem Bestehen stark verändert. So ist das Wattenmeer erst nach der letzten Eiszeit vor etwas mehr als 6.000 Jahren entstanden, nachdem sich die Gletscher mit zunehmender Erwärmung nach Skandinavien zurückgezogen hatten und sich das steigende Meer in die heutigen Nordseegebiete ausbreitete. Nordsee und Wattenmeer verdanken demnach ihren Ursprung einer globalen, nacheiszeitlichen Erwärmung und steigende Temperaturen haben ihr heutiges Erscheinungsbild maßgeblich beeinflusst. Die hier vorkommenden Organismen mussten sich in diesem Zeitraum an die jeweils neuen Bedingungen anpassen. Somit ist eine temperaturbedingte Veränderung der Nordsee eher die Regel als eine neuartige Ausnahme. Wie ist vor diesem Hintergrund die Bedeutung des derzeit anthropogen verursachten Temperaturanstiegs einzuordnen? Mit 1,7 °C stieg die mittlere Wassertemperatur der Nordsee in den vergangenen 50 Jahren vergleichsweise schnell an. Damit Schritt zu halten und sich anzupassen ist eine Herausforderung insbesondere für kälteliebende Arten. Für Organismen, die in der Nordsee ihre südliche Verbreitungsgrenze haben, können kritische Schwellenwerte überschritten werden, die es ihnen schwer machen in der Nordsee weiterhin zu existieren.

Dem gegenüber stehen auch Nutznießer der Erwärmung. Dies sind Organismen, die aus südlicheren Gebieten einwandern, aber vor allem auch Arten, die aus wärmeren Küstengebieten stammen und durch den Menschen mit der transkontinentalen Schifffahrt und der Aquakultur in die Nordsee eingeschleppt wurden. Derzeit etablieren sich jährlich bis zu zwei neue Arten in den deutschen Küstengebieten der Nordsee. Durch ihre Einbindung in die bestehenden Artengemeinschaften entstehen neue Wechselwirkungen zwischen den Organismen. Dadurch werden bestehende Wirkgefüge und Nahrungsnetze verändert.

Doch die Einwanderer kommen nicht immer allein. Krankheitserreger und Parasiten können als blinde Passagiere ebenfalls den Sprung aus Übersee schaffen. Dies stellt eine bisher kaum beachtete Komponente der Invasionsbiologie dar, die einen wesentlichen Einfluss auf die Etablierungsmuster eingeschleppter Arten aber auch auf die Populationsdynamiken heimischer Organismen ausübt (GOEDKNEGT et al. 2016).

Als Reaktion auf den Klimawandel und aufgrund des zunehmenden Klimabewusstseins der Menschen wird derzeit die Nutzung regenerativer Energiequellen massiv vorangetrieben. Die Errichtung großer Offshore-Windparks zur Nutzung regenerativer Energien aber auch die Schaffung eines starren Korsetts aus soliden Küstenschutzmaßnahmen entlang der Nordseeküste als Schutz vor einem steigenden Meeresspiegel schaffen

neue Habitate für zahlreiche Arten. Die zunehmende Vielfalt der Habitate und deren räumliche Umverteilung und Ausweitung in den Offshore-Bereich haben das Potential, das Erscheinungsbild und damit die strukturelle und funktionelle Vielfalt des Ökosystems der Nordsee nachhaltig zu verändern.

Zur Betrachtung der Konsequenzen des Klimawandels auf die Biodiversität der Nordsee befasst sich dieses Kapitel mit drei Aspekten. (1) Wir schildern anhand von Beispielen die Auswirkungen einer sich derzeit revolutionär verändernden Artengemeinschaft in Nordsee und Wattenmeer. (2) Anschließend geben wir einen Einblick in die potentiellen Effekte neuer Krankheiten und Parasiten und ihren Einfluss auf Wechselwirkungen und Populationsdynamiken eingeschleppter und einheimischer Arten. (3) Schließlich beschreiben wir die Bedeutung künstlich eingebrachter Hartsubstrate für die Arten- und Habitatvielfalt der Deutschen Bucht.

### Besteht Grund zur Angst vor den neuen Fremden?

Mit der Globalisierung der Märkte und einem immer schneller werdenden Warenverkehr findet weltweit ein zunehmender Austausch von Arten zwischen vormals getrennten Verbreitungsgebieten statt. In Landökosystemen, wo sich beispielsweise exotische Arten zunehmend entlang von Bahntrassen ausbreiten, ist dies bereits ein lange bekanntes Phänomen. Aber auch in Meeresökosystemen steigt der Anteil nicht-heimischer Organismen. Über die Lebensräume hinweg wird diese Entwicklung mit Sorge beobachtet, da man eine Verdrängung heimischer Arten und Veränderungen scheinbar etablierter Artengemeinschaften fürchtet. Entsprechend ist auch die wissenschaftliche Erforschung der Effekte fremder Arten durch einen vorwiegend einseitigen Ansatz geprägt, der sich primär mit negativen Auswirkungen auf heimische Ökosysteme beschäftigt. Zweifellos wird mit jedem Einwanderer eine zusätzliche Komponente in bestehende Lebensgemeinschaften eingebracht, die neue abiotische und biotische Interaktionen hervorruft, deren Folgen nur schwer oder gar nicht prognostizierbar sind. Doch müssen diese für das Ökosystem grundsätzlich negativ sein und sind die Neuen wirklich so schlecht wie ihr Ruf?

LACKSCHEWITZ et al. (2015) haben ermittelt, dass sich bisher 104 nicht-heimische bzw. kryptogene bodenlebende Arten in der deutschen Nordsee angesiedelt haben, von denen viele aus wärmeren Meeresgebieten stammen. Bisher hat jedoch keiner dieser Organismen heimische Arten verdrängt bzw. bei ihnen gravierende Populationseinbrüche verursacht. Ein prominentes Beispiel dafür, dass Arteinschleppungen nicht grundsätzlich schädliche Auswirkungen auf das heimische Ökosy-

stem haben müssen, ist die Pazifische Auster *Crassostrea gigas* (Abb. 4.10-1). Sie ist als Aquakulturorganismus nahezu weltweit verbreitet und wird auch seit den 1980er Jahren im nördlichen Wattenmeer kultiviert. Sie profitierte von der Wassererwärmung der letzten Jahrzehnte, da die Art für eine erfolgreiche Reproduktion auf warme Sommer angewiesen ist. Dies tat sie seit Beginn des 21. Jahrhunderts so erfolgreich, dass heute das gesamte Wattenmeer durch die Pazifische Auster geprägt ist. *Crassostrea gigas* bildet ausgedehnte Riffe, wo früher heimische Miesmuschelbänke das Bild bestimmten. Anfangs bestand Sorge, dass die Miesmuscheln von der Auster verdrängt würden, da sich die planktischen Austernlarven auf den Schalen der Miesmuscheln an-

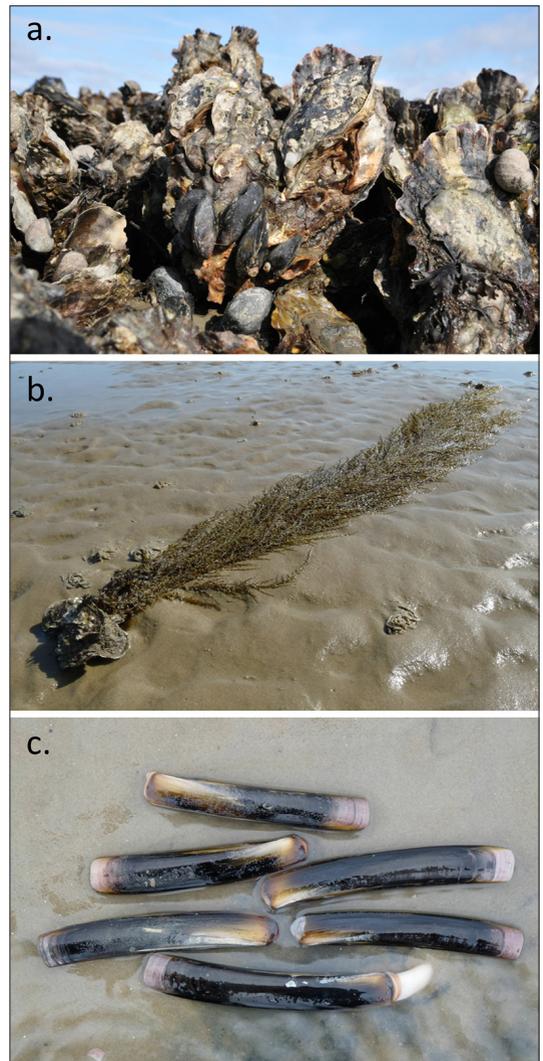


Abb. 4.10-1: Eingeschleppte Nutznier höherer Temperaturen in der Nordsee: a) Pazifische Auster b) Japanischer Beerentang c) Amerikanische Schwertmuschel.

gesiedelt hatten. Da Austern schneller wachsen und deutlich größer werden, führt das zum Absterben bewachsener Miesmuscheln. Nach nunmehr einem Vierteljahrhundert des Austernvorkommens zeigt sich jedoch eine überraschend andere Entwicklung. Pazifische Austern und heimische Miesmuscheln koexistieren mit einem charakteristischen Verteilungsmuster. Innerhalb eines Austernriffes dominieren die Austern die oberen Schichten, wogegen Miesmuscheln nahe am Boden zwischen den Austern ähnliche Dichten erreichen, wie vor der Einschleppung der Auster. Was ist geschehen?

Die Austernlarven haben mit zunehmender Austerndichte ihre Artgenossen als Anheftungssubstrat bevorzugt, so dass dieser Mortalitätsfaktor für die Miesmuscheln an Bedeutung verlor. Die heranwachsenden und aneinandergehefteten Austern haben zudem komplexe, dreidimensionale Strukturen geschaffen, die nun wiederum von den Miesmuscheln genutzt werden. Experimente haben gezeigt, dass Miesmuscheln aktiv in die tieferen Schichten eines Austernriffes wandern, wo sie vor Räubern wie Krebsen und Vögeln besser geschützt sind (ESCHWEILER & CHRISTENSEN 2011). Auch sind sie hier besser vor schädlichem Bewuchs durch Seepocken geschützt, die sich vorwiegend auf den Schalen von Miesmuscheln in den oberen Schichten ansiedeln (BUSCHBAUM et al. 2016). Seepockenbewuchs und Räuberdruck haben vor der Austerninvasion zu hohen interannuellen Populationschwankungen bei Miesmuscheln geführt, die nun durch die Austernriffe deutlich gedämpfter verlaufen können (BUSCHBAUM et al. 2016). Es herrscht heute also ein friedliches Nebeneinander beider Arten mit unerwarteten und durchaus günstigen Konsequenzen für die heimische Miesmuschel. Auch die restliche assoziierte Lebensgemeinschaft früherer Miesmuschelbänke ist in Anwesenheit der Austern eher diverser geworden, als dass Arten komplett verdrängt wurden.

Das Beispiel der Pazifischen Auster steht nicht allein, denn auch andere Neobiota in der Nordsee zeigen ähnliche Effekte. Gerade strukturschaffende Organismen, die sich auf dem Meeresboden ansiedeln, können zu einer Zunahme der Biodiversität führen. Sie bilden zusätzliche beständige Habitate in einem durch instabile Sedimente geprägten Lebensraum. Eine vergleichbare Funktion übernimmt der Japanische Beerentang *Sargassum muticum*, eine bis zu vier Meter lang werdende pazifische Braunalge mit einer reich verzweigten Wuchsform, die gefährdeten heimischen Fischarten wie Seestichling und Schlangennadel ein Rückzugsgebiet bietet und eine hohe Diversität assoziierter Organismen aufweist (BUSCHBAUM & REISE 2010). Die Alge profitiert indirekt von höheren Temperaturen, da sie sich vorwiegend auf Pazifischen Austern im flachen Sublitoral ansiedelt.

Neben diesen sehr auffälligen Arten gibt es weitere nicht-heimische Arten, die durch ihr starkes Vorkommen den Lebensraum maßgeblich prägen. Hierzu gehört die gegen Ende der 1970er Jahre mit Ballastwasser eingeschleppte amerikanische Schwertmuschel *Ensis directus*. Sie ist heute die Art mit der höchsten Biomasse im Sublitoral des Wattenmeeres und auch in der offenen Nordsee kann sie Massenvorkommen ausbilden. Einheimische muschelfressende Vögel wie Eiderente, Trauerente und Austernfischer nutzen dieses zusätzliche Nahrungsangebot intensiv, so dass die Amerikanische Schwertmuschel inzwischen ein neues und wichtiges Element im Nahrungsnetz von Nordsee und Wattenmeer darstellt. Auch diese Art scheint von wärmeren Temperaturen zu profitieren, da bei ihr vor allem nach kalten Wintern Massensterben eintreten können.

Seit der Entstehung von Nordsee und Wattenmeer unterlag auch das Makrobenthos einem steten Anpassungsprozess, der heute mit der Einbringung vieler zusätzlicher Arten und dem schnellen Temperaturanstieg eine neue Dimension erreicht hat. Diese Veränderungen sind maßgeblich vom Menschen bestimmt und beeinflussen die natürliche Entwicklung des Ökosystems. Dennoch scheinen die bestehenden Lebensgemeinschaften sehr dynamisch reagieren zu können, indem sich neue Interaktionen entwickeln und zusätzliche Ressourcen genutzt werden.

### **Blinde Passagiere - Krankheiten und Parasiten**

Steigende Wassertemperaturen führen zu vermehrten antagonistischen biotischen Interaktionen wie Krankheit und Parasitismus. Besonders für marine Invertebraten ist in den vergangenen Jahrzehnten weltweit eine deutliche Steigerung in Häufigkeit und Intensität von Massensterben zu beobachten, die durch Krankheiten hervorgerufen werden (FEY et al. 2015). Die enge Kopplung an hohe Sommertemperaturen gilt insbesondere für virale und bakterielle Erreger. So ist auch im Wattenmeer das Vorkommen virulenter Stämme der Gattung *Vibrio*, also eines Verwandten des menschlichen Cholera-Erregers *Vibrio cholerae*, in Muscheln und Austern bei hohen Temperaturen deutlich gesteigert (Abb. 4.10-2, WENDLING et al. 2014). Diese und weitere Erreger haben vor allem im südlichen Wattenmeer auch schon zu hohen Sommermortalitäten bei Pazifischen Austern *Crassostrea gigas* geführt (WATERMANN et al. 2008), die einen weltweiten Trend dieses Phänomens widerspiegeln.

Die Herkunft dieser neu auftretenden Krankheiten kann meist nicht eindeutig lokalisiert werden. Ihre globale Verbreitung legt nahe, dass auch Krankheitserreger mit gängigen Aquakulturpraktiken verschleppt werden könnten oder dass die hohen Dichten, die in der

Aquakultur Anwendung finden, das spontane Krankheitsauftreten begünstigen.

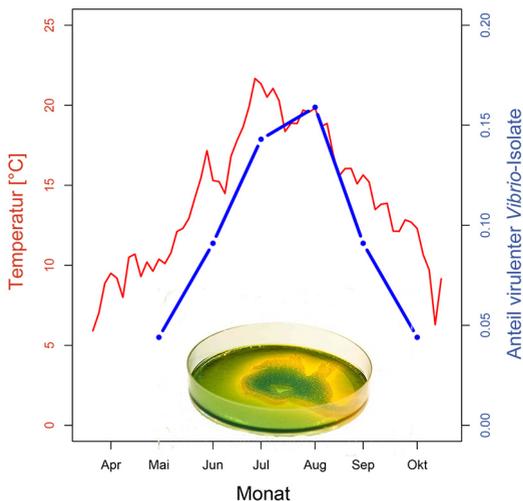
Somit spielt die Einschleppung gebietsfremder Arten zweifelsohne eine bedeutende Rolle für die Verbreitung von Krankheiten und Parasiten. GOEDKNEGT et al. (2015) haben hierzu sechs Szenarien charakterisiert, wie sich eingeschleppte Arten auf Wirt-Parasit-Interaktionen in den Ankunftsgebieten auswirken können. Da viele Parasiten komplexe Entwicklungszyklen über verschiedene Wirte haben, verlieren invasive Arten oft einen Großteil ihrer Parasiten des Ursprungsgebiets, da diesen die geeigneten Zwischenwirte zur Vervollständigung des Lebenszyklus im neuen Habitat fehlen. Die daraus resultierende geringere Parasitenlast im neuen Gebiet kann somit den Invasionserfolg von eingeschleppten Arten miterklären (TORCHIN et al. 2003).

Wenn Parasiten gemeinsam mit ihren Wirten eingeführt, oder auch eingeschleppte Arten als neue Wirte in den Lebenszyklus heimischer Parasiten integriert werden (GOEDKNEGT et al. 2015), kann dies sekundär zu einer höheren Befallsrate heimischer Arten führen. Wenn eingeschleppte Arten als weiterer Wirt für heimische Parasiten fungieren, kann dies zu einer effektiveren Übertragung und somit zu stärkerem Populationswachstum des Parasiten und damit zu höherer Parasitenlast bei heimischen Wirten führen (*spill back*). In dem Fall, dass miteingeschleppte Parasiten neue, einheimische Wirte befallen (*spill over*) ist der negative Effekt offensichtlich, da die einheimische Wirtsart zu den heimischen Parasiten neue

Parasiten hinzugewinnt. Dem heimischen Wirt fehlt dann jegliche evolutive Anpassung an den neuen Parasiten, was drastische Effekte auf die Wirts-Population haben kann. Ein gutes Beispiel hierfür ist die Einführung des asiatischen Nematoden *Anguillicola crassus*. Dieser Parasit befällt die Schwimmblase von Aalen und wurde mit der Aquakultur vom japanischen auf den europäischen Aal übertragen, bei dem es in der Folge zu beträchtlichen Bestandseinbrüchen in der heimischen Population kam.

Diese Massensterben heimischer Wirte aufgrund fehlender Anpassung sind aber auch für den Parasiten nicht von Vorteil, denn im Allgemeinen ist es für Parasiten ungünstig seine Wirtspopulation derart zu schädigen, dass auch das Überleben der Parasiten gefährdet ist. Vielmehr sollte das Ergebnis von Wirt-Parasit-Interaktionen von der Parasitenseite aus eine nachhaltige Ausnutzung der Wirtsressourcen sein. Der *Spill-over* des parasitischen Copepoden *Mytilicola orientalis* ist ein gutes Beispiel für einen derartigen Wirtswechsel. Dieser Parasit befällt den Darm von Austern und wurde mit der in der Aquakultur genutzten Pazifischen Auster aus seinem Ursprungsgebiet in Asien in die Nordsee eingeschleppt. Da *M. orientalis* nicht auf eine spezifische Wirts-Muschelart beschränkt ist, hat er den Wechsel auf einheimische Arten (z.B. Miesmuschel und Herzmuschel) erfolgreich absolviert. Bisher konnten allerdings keine drastisch negativen Effekte auf die Populationsdynamik seiner neuen Wirte erkannt werden.

Im Allgemeinen haben Parasiten ein eher negatives Image. Grundsätzlich bilden sie aber ein Großteil aller auf der Erde vorkommenden Arten und stellen somit auch einen bedeutenden Teil der globalen Biodiversität dar (WINDSOR 1998). Somit können auch eingeschleppte Parasiten ähnlich wichtige Funktionen in ihren neuen Ökosystemen übernehmen, wie es nicht-parasitäre Organismen tun. Die Folgen der vor allem durch Aquakulturpraktiken bewirkten Wirtswechsel eingeschleppter Parasiten auf einheimische Wirte sind allerdings nur schwer vorhersagbar und führen vergleichsweise häufig zu Mortalitäten bei einheimischen Arten. Diese indirekte Folge biologischer Invasionen ist bisher kaum beachtet und in der Erforschung der Effekte eingeschleppter Arten nur unzureichend untersucht worden. Insbesondere die Korrelation von Krankheitsauftreten und Einführung gebietsfremder Arten mit steigenden Temperaturen kann die unvorhersehbaren Folgen von Arteinschleppungen zusätzlich verstärken.



**Abb. 4.10-2:** Hohe Temperaturen im Sommer (rote Temperaturkurve) führen zu einer Zunahme an pathogenen Vibrio-Isolaten (blaue Kurve), die aus Austern-Hämolymphe isoliert werden können. Im Jahresverlauf steigt besonders in den warmen Sommermonaten die Wahrscheinlichkeit einem virulenten Vibrio-Stamm, der mehr als 25% Mortalität bei Austernlarven verursacht, ausgesetzt zu sein an. Nach WENDLING et al. (2014).

### Künstliche Felsen in der Nordsee

Als Reaktion auf die Auswirkungen des voranschreitenden Klimawandels werden derzeit Strategien entwickelt, um die Abhängigkeit der Menschen von fossilen Rohstoffen und die Emission klimaschädlicher Treib-

hausgase zu reduzieren. Vor allem die Nutzung regenerativer Energiequellen aus Sonne, Wind und Wasserkraft wird intensiviert. Dies erfolgt an Land und auf dem Meer. Hierzu entstehen derzeit in der Nordsee zahlreiche Offshore-Windparks mit tausenden von Windenergieanlagen, die fest auf dem Meeresgrund verankert werden. Die großen, meist stählernen Fundamente erstrecken sich durch die gesamte Wassersäule und bilden damit in allen Wassertiefen ein solides Siedlungssubstrat für Organismen in einem Meeresgebiet, das natürlicherweise vorwiegend durch instabile Sedimente charakterisiert ist (Abb. 4.10-3). So wird zusätzlicher Lebensraum für Arten geschaffen, deren Habitat in der Nordsee natürlicherweise stark limitiert ist. Gleichzeitig werden mit diesen Strukturen fernab der Küste geeignete Bedingungen für Organismen aus dem Gezeitenbereich geschaffen, da die obersten Bereiche der Fundamente bei Niedrigwasser trocken fallen. Küstenhabitate werden also in den Offshore-Bereich ausgeweitet.

Bereits in der frühen Phase der Offshore-Windenergienutzung in der Nordsee wurde erkannt, dass die Gründungsstrukturen der Windenergieanlagen intensiv durch Organismen besiedelt werden und diese eine deutliche Tiefenstrukturierung zeigen. Die Gezeitenzone und die oberen sublitoralen Bereiche der Fundamente werden schnell und dicht durch Miesmuscheln besiedelt. Diese können eine beträchtliche Biomasse von teilweise mehreren Tonnen (Frischgewicht) pro Windenergieanlage ausbilden (KRONE et al. 2013). Als ein typischer Bewohner der Küstengewässer ist die Miesmuschel im Offshore-Bereich der Nordsee natürlicherweise kaum anzutreffen. Unterhalb der Miesmuscheln ab einer Wassertiefe von ca. 5 m dominieren an den künstlichen Hartstrukturen Polypentiere (Hydrozoa), röhrenbewohnende Flohkrebse der Gattung *Jassa* sowie Blumentiere (Anthozoa) wie die Seenenke *Metridium senile*. In der Deutschen Bucht werden diese Arten natürlicherweise nur räumlich begrenzt angetroffen. Ihr Vorkommen war auf das natürliche sublitorale Hartsubstrat der Felseninsel Helgoland sowie auf versprengt vorkommenden Steinvorkommen, beispielsweise im Sylter Außenriff und auf dem Borkum Riffgrund beschränkt. Sie konnten ihre Bestände in den vergangenen Jahrhunderten jedoch bereits auf die zahlreichen Wracks auf dem Meeresboden der Nordsee sowie auf die künstlichen Strukturen zur Küstenbefestigung deutlich ausweiten. Mit den nun massenhaft geplanten und errichteten Windenergieanlagen erfahren diese Arten erneut eine erhebliche Ausdehnung ihres Lebensraums. Da sich ein Großteil der Organismen auf Hartsubstraten filtrierend ernährt, kann eine Zunahme dieser Arten auch eine funktionelle Veränderung der Artengemeinschaften, der Nahrungsnetze und der Stoff- und Energieflüsse des Ökosystems zur Folge haben.

Die bisher auf den neuen Strukturen siedelnden Organismen sind überwiegend einheimische Arten, so dass die regionale Biodiversität kaum beeinflusst wird. Allerdings werden mit der Einbringung der Windenergieanlagen und durch die Ausweitung von Küstenschutzmaßnahmen die Verteilung von Habitaten und das Vorkommen von Arten nachhaltig verändert. Vor allem die Schaffung benthischer Habitats im Gezeitenbereich der Windenergieanlagen erhöht die Habitatvielfalt im Offshore-Bereich der Nordsee erheblich.

Doch Windenergieanlagen bieten nicht nur neue Habitats für Hartboden besiedelnde Organismen. Sie verändern auch den Meeresboden in ihrer unmittelbaren Umgebung mit Folgen für die Zusammensetzung der Artengemeinschaft der Sedimente, da dreidimensionale Strukturen am Meeresboden die lokalen Strömungsbedingungen beeinflussen. Durch bodennahe Verwirbelung werden feine Oberflächensedimente abgetragen. An Windenergieanlagen kann dies zu einer mehrere Meter tiefen Auskolkung des Meeresbodens führen. Nach Abtrag der feinen Sedimentfraktionen bleiben größere, schwerere Strukturen wie Steine und Muschelschalen zurück. Dadurch wird ein neuer komplexer, dreidimensionaler Lebensraum am Meeresboden geschaffen, der von einer benthischen Artengemeinschaft besiedelt wird, die sich deutlich von den Gemeinschaften der natürlichen Sande der Standorte unterscheidet (SCHRÖDER et al. 2013). Diese neuen Habitats mit ihren charakteristischen Artengemeinschaften sind räumlich jedoch begrenzt.

Künstliche Hartsubstrate können auch ein Eingangstor für die Invasion nicht heimischer Arten bieten. Wahrscheinlich ist Konkurrenzdruck auf nicht einheimische Arten in diesen Habitats aufgrund der geringeren Artenvielfalt vergleichsweise gering. Es wird erwartet, dass



Abb. 4.10-3: Stählerne Fundamente für Windenergieanlagen auf hoher See bilden künstliche Hartstrukturen, die von vielen Organismen als Habitat genutzt werden.

die hohe Zahl künstlicher Hartsubstrate in der Nordsee, in Form von Windenergieanlagen, Öl- und Gasförderplattformen, Wracks und Seeschifffahrtszeichen zahlreiche Trittsteine bietet, die die Einwanderung neuer Arten begünstigen. Tatsächlich wurden in dem Bewuchs auf den Fundamenten der Offshore-Windenergieanlagen in der Nordsee bereits gebietsfremde Arten wie der Gespenstkrebs *Caprella mutica* und die Pazifische Auster *Crassostrea gigas* regelmäßig beobachtet (KRONE et al. 2013, COOLEN et al. 2016). Diese Arten waren jedoch bereits vor der Errichtung von Offshore-Windparks in der Nordsee entlang der gesamten Wattenmeerküste anzutreffen, so dass ihre Einwanderung nicht die unmittelbare Folge der Errichtung der künstlichen Strukturen ist. Dennoch kann die großräumige Verfügbarkeit zusätzlicher geeigneter Habitate die langfristige Etablierung neuer Arten unterstützen, da sie eine Habitaterweiterung darstellt und den Austausch zwischen den lokalen Vorkommen und damit die Beständigkeit von Populationen begünstigt.

### Schlussbetrachtung

Die Nordsee und ihre Küstengebiete unterliegen derzeit einem enormen Wandel der Habitat- und Artenvielfalt, der direkt aber auch indirekt durch den Klimawandel verursacht wird. Der natürlicherweise durch Sedimente geprägte Lebensraum der südlichen Nordsee erfährt durch Küstenschutzmaßnahmen und regenerative Energiegewinnung eine erhebliche Ausweitung künstlicher Hartsubstrate. Gebietsfremde Arten wandern aus südlicheren Gebieten ein und Exoten werden zunehmend durch Aquakulturbemühungen und über die globalen Schifffahrtswege eingeschleppt. Viele von ihnen profitieren von den steigenden Wassertemperaturen, da sie meist aus wärmeren Küstensystemen stammen. Bei zusätzlicher Nutzung des neu entstandenen Lebensraums auf den zahlreichen künstlichen Hartsubstraten entsteht eine Kombinationswirkung, welche die Etablierung fremder Arten maßgeblich begünstigen kann. Befürchtungen, heimische Organismen könnten verdrängt werden bzw. wichtige Ökosystemfunktionen der Nordsee würden negativ beeinflusst, haben sich bisher jedoch nicht bestätigt. Im Gegenteil ist im Allgemeinen eine Erhöhung der Biodiversität zu verzeichnen, die sich mit der Zuwanderung weiterer Arten auch in Zukunft fortsetzen könnte. Die in der Nordsee etablierten Exoten sollten also als Bestandteil des Ökosystems akzeptiert werden. Dies stellt jedoch keinen Freibrief aus, die Bemühungen zur Reduzierung der Einschleppungsrate

nicht-heimischer Arten und der Degradation natürlicher Habitate einzustellen. Die indirekten Effekte durch mitgeschleppte Parasiten und Krankheitserreger zeigen, dass hier noch viele unbekannte Faktoren vorliegen, die sich erheblich auf die Populationen einzelner Arten aber auch auf gesamte Artengemeinschaften auswirken können, die mit dem derzeitigen Wissensstand jedoch noch nicht absehbar sind.

### Literatur

- BUSCHBAUM, C. & K. REISE (2010): Globalisierung unter Wasser: Neues Leben im WeltNaturerbe Wattenmeer. *Biologie in unserer Zeit* 3/2010, 202-210.
- BUSCHBAUM, C., A. CORNELIUS & M. A. GOEDKNEGT (2016): Deeply hidden inside biogenic structures—Pacific oyster reefs reduce detrimental barnacle overgrowth on native blue mussels. *J Sea Res* <http://dx.doi.org/10.1016/j.seares.2016.09.002>.
- COOLEN, J. W. P., W. LENGKÉEK, S. DEGRAER, F. KERCKHOF et al. (2016): Distribution of the invasive *Caprella mutica* Schurin, 1935 and native *Caprella linearis* (Linnaeus, 1767) on artificial hard substrates in the North Sea: separation by habitat. *Aquat Invasions* 11, in press.
- ESCHWEILER, N. & H. A. T. CHRISTENSEN (2011): Trade-off between increased survival and reduced growth for blue mussels living on Pacific oyster reefs. *J Exp Mar Biol Ecol* 403, 90-95.
- FEY, S. B. & 8 Ko-Autoren (2015): Recent shifts in the occurrence, cause, and magnitude of animal mass mortality events. *Proc Natl Acad Sci USA* 112, 1083-1088.
- GOEDKNEGT, M. A. & 7 Ko-Autoren (2016): Parasites and marine invasions: ecological and evolutionary perspectives. *J Sea Res* 113, 11-27.
- KRONE, R., L. GUTOW, T. JOSCHKO & A. SCHRÖDER (2013): Epifauna dynamics at an offshore foundation – implications of future wind power farming in the North Sea. *Mar Environ Res* 85, 1-12.
- LACKSCHEWITZ, D., K. REISE, C. BUSCHBAUM & R. KAREZ (2015): Neobiota in deutschen Küstengewässern—Eingeschleppte und kryptogene Tier- und Pflanzenarten an der deutschen Nord- und Ostseeküste. *LLUR SH – Gewässer*; D 25, 216 S.
- TORCHIN, M. E., K. D. LAFFERTY, A. P. DOBSON, V. J. MCKENZIE, et al. (2003): Introduced species and their missing parasites. *Nature* 421, 628-630.
- SCHRÖDER, A., L. GUTOW, T. JOSCHKO, R. KRONE et al. (2013) Benthosökologische Auswirkungen von Offshore-Windenergieparks in der Nordsee – Prozesse im Nahbereich der Piles (BeoFINO II). Projektendbericht, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. 173 S.
- WATERMANN, B. T., M. HERLYN, B. DAEHNE, S. BERGMANN et al. (2008): Pathology and mass mortality of Pacific oysters, *Crassostrea gigas* (Thunberg), in 2005 at the East Frisian coast, Germany. *J Fish Diseases* 31, 621-630.
- WENDLING, C. C., F. M. BATISTA & K. M. WEGNER (2014): Persistence, seasonal dynamics and pathogenic potential of *Vibrio* communities from Pacific oyster hemolymph. *PLoS One* 9, e94256.
- WINDSOR, D. A. (1998): Most of the species on earth are parasites. *Int J Parasitol* 28, 1939-1941.

### Kontakt:

Dr. Christian Buschbaum

Dr. Lars Gutow

Dr. K. Mathias Wegner

Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung - List/Sylt  
christian.buschbaum@awi.de

Buschbaum, Chr., L. Gutow & K. M. Wegner (2016): Globale Erwärmung, eingeschleppte Arten und neue Habitate: Folgen für die Biodiversität der Nordsee. In: Lozán, J. L., S.-W. Breckle, R. Müller & E. Rachor (Hrsg.). *Warnsignal Klima: Die Biodiversität*. pp. 271-276. Online: [www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de](http://www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de). doi:10.2312/warnsignal.klima.die-biodiversitaet.44.