

4 AKTUELLE VERÄNDERUNG IN DEN MEEREN

Das Weltmeer erwärmt sich langsamer als die Kontinente. Im Jahr 2015 war die mittlere globale Lufttemperatur an der Meeresoberfläche 0,74 °C und über den Landgebieten 1,33 °C höher als der langfristige Mittelwert 1901-2000. In Küstennähe und flachen Nebenmeeren ist die Erwärmung jedoch mit Ausnahme der Auftriebsgebiete viel höher als über den Landgebieten. Die Meeresorganismen reagieren vergleichsweise schneller auf diese Veränderung als die terrestrischen Organismen. Dies wird durch die Meeresströmungen und das Fehlen von Hindernissen begünstigt. Im Gegensatz zum Festland gibt es im Meer kaum eine Habitatfragmentierung, so dass das Ausweichen vor ungünstigen Umweltbedingungen durch die Organismen leicht erfolgen kann. Meeresorganismen wie Fische gehören zu den poikilothermen oder wechselwarmen Tieren. Ihre Lebensprozesse sind direkt von der Wassertemperatur abhängig. Die einzelnen Arten sind in ihrem Vorkommen auf bestimmte, unterschiedliche Temperaturbereiche begrenzt. Änderungen in der mittleren Wassertemperatur und im saisonalen Temperaturverlauf nehmen entsprechend Einfluss auf die Verbreitung der Arten. Gleich am Anfang dieses Kapitels wird am Beispiel des Phytoplanktons beschrieben, wie Verschiebungen in der Artenzusammensetzung in der Nordsee vor sich gehen: Neue wärmeliebende Arten sind eingewandert, während kälteliebende in ihrer Häufigkeit abnehmen. In einem flachen Meeresgebiet wie der Nordsee ist die Erwärmung überdurchschnittlich hoch, wodurch sich die Veränderungen vergleichsweise schnell vollziehen.

4.1 Veränderungen des Phytoplanktons in der Nordsee

JOHANNES RICK & KAREN HELEN WILTSHIRE

***Veränderungen des Phytoplanktons in der Nordsee:** Für die Nordsee konnten Trends des Phytoplanktons mit Temperatur- und meteorologischen Änderungen (z.B. NAO, nordatlantischer Oszillationsindex) nachgewiesen werden. Z.B. belegen Daten des Continuous Plankton Recorders Veränderungen der Planktonverteilung, -häufigkeit und -saisonalität sowie das vermehrte Auftreten subtropischer oder wärmeliebender Arten. Die fortschreitende Meeresversauerung scheint das Phytoplankton der Nordsee bislang noch nicht negativ zu beeinflussen. Die Liste neu eingewanderter bzw. eingeschleppter Arten ist nach wie vor übersichtlich. Zumeist werden wärmeliebende Neuankömmlinge durch spezielle Strömungslagen in die Nordsee verbracht. Eine Fallstudie im Bereich des Sylter Wattenmeers zeigt z.T. starke Veränderungen der Phytoplankton-Biozönose im Zeitraum von 1987 bis 2013 parallel mit steigenden Wassertemperaturen und abnehmendem Eutrophierungsgrad.*

***Phytoplankton change in the North Sea:** For the North Sea trends in phytoplankton parameters could be attributed to SST rise and meteorological changes (e.g. NAO). CPR data display shifts in phytoplankton distribution, abundance, phenology and an increasing appearance of subtropical species. To date ocean acidification shows no negative impact on the phytoplankton. The compilation of alien phytoplankton species is still surprisingly short. Mostly subtropical warm-water species are transported into the North Sea by ocean currents. A case study in waters of the Sylt Wadden Sea (LTER SYLT ROADS) revealed important changes within the phytoplankton community in parallel to rising SST and decreasing eutrophication.*

Da das Phytoplankton an der Basis der Nahrungskette steht, kann jede Veränderung zu weitreichenden Folgen in Ökosystem führen. Prinzipiell wäre nun für die Nordsee bei zunehmender Erwärmung, dem zumindest für ihre Randgebiete oft deutlich verringerten Eutrophierungspotenzial, sowie die steigende Versauerung Folgendes zu erwarten: Eine Klimaerwärmung dürfte in erster Linie zu einer verstärkten Schichtung und eine stärkere Nährstofflimitierung zu Verschiebungen im Größenspektrum des Phytoplanktons, z.B. hin zu kleineren Formen, führen. Zudem könnte man eine Zunahme wärmeliebender Phytoplanktonarten vermuten und wärmere Temperaturen sollten die maximale Photosynthese steigern. Weil erhöhte Temperaturen ebenfalls die heterotrophen Prozesse beschleunigen, wird auch der Fraßdruck zunehmen. Da Phytoplankton und Zooplankton oft unterschiedlich auf Änderungen der Umweltbedingungen reagieren, kann es zur Veränderung der Planktonzusammensetzung und den damit verknüpften

Nahrungsbeziehungen kommen. Die ansteigende Kohlendioxidkonzentration könnte durch die Beeinflussung des Karbonatsystems verstärkt das Phytoplankton (v.a. kalkbildende Formen, Coccolithophoriden) verändern.

Im Folgenden soll nun dargelegt werden, inwieweit solche Veränderungen bereits in der Nordsee erkennbar sind. Dabei stützen wir uns, soweit nicht anders vermerkt, auf eine Zusammenfassung von EDWARDS et al. (2013) inklusive der dort zitierten Literatur. Dabei werden die Auswirkungen von natürlichen und anthropogen bedingten Klimaänderungen auf das Plankton des Nordostatlantiks auf Grundlage der Plankton Recorder Daten (CPR) und der Daten von küstennahen Langzeitmessungen zusammengefasst, sowie eigene Arbeiten im Rahmen der auf Helgoland und Sylt seit Jahrzehnten laufenden Langzeitreihen (LTER HELGOLAND ROADS/SYLT ROADS) vorgestellt. Neben grundsätzlichen Veränderungen des planktischen Systems werden auch Verschiebungen auf Gattungs- und Artniveau betrachtet.

Tab. 4.1-1: Auflistung »neuer« Phytoplanktonarten für die Nordsee, inklusive Problemfälle.

<i>Amphidoma</i> Stein; <i>Azadinium</i> Elbrächter & Tillmann, 2009
<i>Alexandrium pseudogonyaulax</i> (Biecheler) Horiguchi ex Kita & Fukuyo, 1992
<i>Chaetoceros peruvianus</i> Brightwell, 1856
<i>Coscinodiscus wailesii</i> Gran & Angst, 1931
<i>Dinophysis tripos</i> Gourret, 1883
<i>Eucampia cornuta</i> (Cleve) Grunow, 1883
<i>Fibrocapsa japonica</i> S.Toriumi & H.Takano, 1973
<i>Mediopyxis helsysia</i> Kühn, Hargreaves & Halliger, 2006
<i>Neocalyptrella robusta</i> (G.Norman ex Ralfs) Hernández-Becerril & Meave del Castillo, 1997
<i>Odontella longicruris</i> (Greville) M.A.Hoban, 1983
<i>Odontella sinensis</i> (Greville) Grunow, 1884
<i>Proboscia indica</i> (H.Peragallo) Hernández-Becerril, 1995
<i>Rhizosolenia hebetata</i> f. <i>semispina</i> (Hensen) Gran, 1908
<i>Thalassiosira curviseriata</i> Takano, 1981
<i>Thalassiosira hendeyi</i> Hasle & G.Fryxell, 1977
<i>Thalassiosira tealata</i> Takano, 1980
<i>Thalassiosira tenera</i> Proschkina-Lavrenko, 1961
<i>Thalassiosira punctigera</i> (Castracane) Hasle, 1983
<i>Thecadinium yashimaense</i> S.Yoshimatsu, S.Toriumi & J.D.Dodge, 2004

Langzeitentwicklung des Phytoplanktons in der Nordsee

Für die Nordsee konnten Trends im (Phyto)plankton mit Temperaturänderungen auf der Nordhemisphäre (NHT), mit der atlantischen, multidekadischen Oszillation (AMO) sowie mit der Entwicklung des nordatlantischen Oszillation Indexes (NAO) in Zusammenhang gebracht werden. So gibt die Analyse der CPR-Daten (*Continuous Plankton Recorder*) Hinweise auf Änderungen der Planktonverteilung und -häufigkeit sowie zum vermehrten Auftreten von subtropischen Arten (Tab. 4.1-1). Außerdem gibt es Anhaltspunkte für die Veränderungen von Produktivität, Saisonalität und Biomasse des Phytoplanktons. So belegen z.B. satellitengestützte Chlorophyllabschätzungen für den Nordostatlantik meist einen Anstieg mit wärmer werdendem Wasser. Für viele Regionen der Nordsee zeigen auch CPR PCI-Daten (*Plankton Colour Index* – Maß für die Phytoplanktonbiomasse) einen Aufwärtstrend (1958-2011). Im gleichen Zeitraum ergibt sich für die Gruppe der Dinoflagellaten im gesamten Nordostatlantik jedoch eine Abnahme der Abundanz. Seit der Jahrtausendwende scheinen bedeutende Dinoflagellatengattungen wie *Ceratium*, *Protoperidinium* und *Prorocentrum* auch im Nordseebereich deutlich zurückzugehen, während Schlüsselarten der Diatomeen weitgehend konstant blieben, bzw. sich die Dichten mancher Gattungen (*Thalassiosira*, *Pseudo-nitzschia*,

Ditylum) sogar erhöhten. Während die Häufigkeit der Dinoflagellaten (*Protoperidinium*, *Ceratium*, *Dinophysis*) stark negativ mit steigender Wassertemperatur (SST) korreliert war, konnte die Zunahme der genannten Diatomeen eher mit verstärkten Windintensitäten in Zusammenhang gebracht werden.

Auf Basis der CPR-Daten zeigt sich damit seit Beginn des Jahrtausends eine deutliche Steigerung der relativen Abundanz von Diatomeen gegenüber Dinoflagellaten. Bei der Interpretation der CPR-Daten muss man jedoch berücksichtigen, dass die seit Jahrzehnten konstante Probenahme und -fixierung (270 µm Gaze, Fixierung in boraxgepuffertem Formalin) lediglich für sehr große Phytoplankter (z.B. *Coscinodiscus wailesii* oder *Ceratium* Arten) verlässliche Ergebnisse erbringt, die deshalb nur sehr eingeschränkt auf das gesamte Phytoplankton übertragen werden können.

Betrachtet man den gesamten Untersuchungszeitraum des CPR (seit 1958) ergibt sich für die großen Diatomeen kein gerichteter Trend. Allerdings scheinen sie in der Nordsee ein starkes zyklisches Signal (alle 50-60 Jahre) zu zeigen, das oft mit Veränderungen im AMO Index in Verbindung gebracht wird, und welches bezeichnenderweise zur Zeit des bedeutendsten Regimeshifts im Nordseep plankton (um 1980) ein Minimum aufwies. Grundsätzlich scheint das wärmer werdende Klima generell die Biomasse des gesamten Phytoplanktons positiv anzuregen, während Diatomeen weniger

Tab. 4.1-2: Änderungen im Phytoplankton an SYLT ROADS (1987-2013). Zu- bzw. Abnahme, sporadisches Auftreten und Verschwinden.

Zunahme		
<i>Actinoptychus splendens</i>	<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	<i>Peridinium achromaticum</i>
<i>Bacillaria paxillifera</i>	<i>Entomoneis paludosa</i>	<i>Prorocentrum triestinum</i>
<i>Ceratoneis closterium</i>	<i>Odontella turgida</i>	<i>Proto-peridinium bipes</i>
<i>Chaetoceros danicus</i>	<i>Plagiogrammopsis vanheurckii</i>	<i>Proto-peridinium conicum</i>
<i>Chaetoceros decipiens</i>	<i>Porosira glacialis</i>	<i>Proto-peridinium obtusum</i>
<i>Chaetoceros lauderi</i>	<i>Archaeoperidinium minutum</i>	<i>Emiliania huxleyi</i>
Abnahme		
<i>Actinoptychus octonarius</i>	<i>Paralia sulcata</i>	<i>Dinophysis norvegica</i>
<i>Helicotheca tamesis</i>	<i>Subsilicea fragilarioides</i>	<i>Karenia mikimotoi</i>
<i>Auliscus sculptus</i>	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Noctiluca scintillans</i>
<i>Asteroplanus karianus</i>	<i>Thalassiosira anguste-lineata</i>	<i>Polykrikos kofoidii</i>
<i>Aulacodiscus argus</i>	<i>Thalassiosira eccentrica</i>	<i>Protoceratium reticulatum</i>
<i>Cerataulus smithii</i>	<i>Thalassiosira punctigera</i>	<i>Proto-peridinium excentricum</i>
<i>Chaetoceros densus</i>	<i>Trieres (Odontella) regia</i>	<i>Proto-peridinium oblongum</i>
<i>Chaetoceros eibonii</i>	<i>Alexandrium tamarense</i>	<i>Tripos (Ceratium) longipes</i>
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Ceratium horridum</i>	<i>Phaeocystis globosa</i>
<i>Coscinodiscus concinnus</i>	<i>Ceratium fusus</i>	<i>Phaeocystis pouchetii</i>
<i>Coscinodiscus walesii</i>	<i>Ceratium tripos</i>	<i>Mesodinium rubrum</i>
<i>Podosira stelligera</i>	<i>Dinophysis acuminata</i>	<i>Paulinella ovalis</i>
Sporadische Arten		
<i>Attheya longicornis</i>	<i>Pseudopodosira westii</i>	<i>Tripos macroceros</i>
<i>Biddulphia antediluviana</i>	<i>Stephanopyxis palmeriana</i>	<i>Acanthoica quattrosipina</i>
<i>Coscinodiscus pavillardii</i>	<i>Toxonidea insignis</i>	<i>Braarudosphaera bigelowii</i>
<i>Eucampia groenlandica</i>	<i>Gonyaulax digitale</i>	<i>Coccolithus pelagicus ssp. braarudii</i>
<i>Neocalyptrella robusta</i>	<i>Nematopsis vigilans</i>	<i>Gephyrocapsa oceanica</i>
<i>Proboscia alata</i>	<i>Polykrikos schwarzii</i>	<i>Heterosigma akashiwo</i>
<i>Proboscia indica</i>	<i>Sinophysis ebriolus</i>	<i>Pyramimonas longicauda</i>
Nicht mehr auftretende Arten		
<i>Coscinodiscopsis commutata</i>	<i>Rhizosolenia hebetata f. semispina</i>	<i>Dinophysis sacculus</i>
<i>Psammodiscus nitidus</i>	<i>Amylax triacantha</i>	<i>Dinophysis odiosa</i>

stark von der Temperatur beeinflusst scheinen und eine stärkere Korrelation mit dem AMO-Signal sowie mit regionalen Windverhältnissen zeigen.

Die Klimaerwärmung in der Nordsee beeinflusst zudem die Phänologie von Planktongruppen in unterschiedlicher Weise. Während sich die Hauptentwicklung von Dinoflagellaten (z.B. *Ceratium*, *Proto-peridinium*, *Dinophysis*) im Zeitraum von 1958 bis 2002 fast um einen Monat im Jahresverlauf nach vorne schob, blieben die zeitlichen Spitzen der Frühjahrs- und Herbstblüten der Diatomeen nahezu konstant.

Auch die Helgoland Reede Daten weisen auf eine weitgehende zeitliche Konstanz des Auftretens der Diatomeenfrühjahrsblüte hin, jedoch geben aktuelle Analy-

sen Hinweise, dass das Phytoplankton früher im Jahr an Bedeutung gewinnt. Lichtverhältnisse im Wasser, Wassertemperatur sowie *top-down* Effekte durch das Zooplankton wurden als maßgebliche Antriebe für die Entwicklung des Phytoplanktons bei Helgoland erkannt. Erhöhte Wassertemperaturen zu Beginn des Jahres führten aufgrund eines parallel gesteigerten Fraßdrucks durch das Zooplankton zu geringeren Phytoplankton-dichten, während geringe Zooplankton-dichten zu einer Verlängerung des Algenwachstums führten. Grundsätzlich zeigen die planktischen Mikroalgen bei Helgoland in Zeitraum 2001-2011 die Tendenz zu erhöhten Beständen und verlängerten Wachstumsperioden (WILTSHIRE et al. 2015).

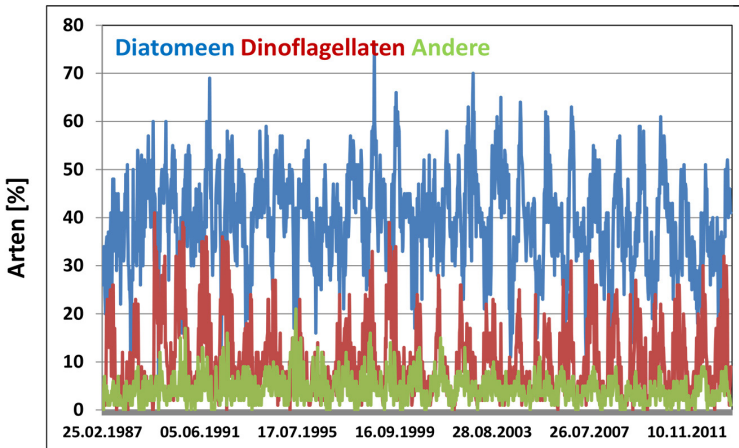


Abb. 4.1-1a: Diatomeen (blau), Dinoflagellaten (braun) und andere (grün); Prozentuale Verteilung der Artenzahl (LTER SYLT ROADS, 1987-2013).

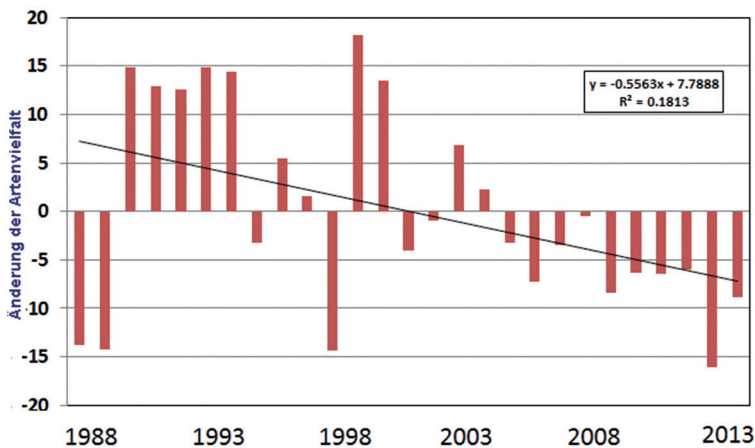


Abb. 4.1-1b: Entwicklung der Artenvielfalt im Phytoplankton (LTER SYLT ROADS, 1987-2013); Abweichung vom langjährigen Mittel in [%], Frühjahrswerte (März-Mai).

Da parallel dazu auch andere im Nahrungsnetz nachgeschaltete Planktongruppen stark unterschiedliche phänologische Verschiebungen, meist zu früheren Zeitpunkten im Jahr, erfuhren, waren Phänomene eines trophischen mismatch unumgänglich. So wird z.B. vermutet, dass der Zusammenbruch der Kabeljaupopulation in der Nordsee mit einer Abnahme der Abundanz, bzw. mit einer Verschiebung der Saisonalität der notwendigen planktischen Nahrungsorganismen für die Jungfische zusammenhängt.

Die Meeresversauerung scheint bislang das Phytoplankton der Nordsee noch nicht negativ zu beeinflussen. Vielmehr zeigen einige kalkbildende Arten in Nordatlantik wie in der Nordsee eher eine Zunahme parallel zur Erwärmung (z.B. *Emiliania huxleyi*, Tab. 4.1-2, Abb. 4.1-4b).

Neu in der Nordsee auftretende Phytoplanktonarten

Im Folgenden beziehen wir uns, falls nicht anders erwähnt, auf die zusammenfassende Arbeit von GOMEZ (2008) sowie die darin erwähnten Zitate. Tab. 4.1-1 zeigt eine Liste von »neu« in der Nordsee gefundenen Arten.

Als klassische Vertreter neu in die Nordsee eingewanderte Arten werden meist die großen Diatomeen *Odontella sinensis*, *Coscinodiscus wailesii* und *Thalassiosira punctigera* (Abb. 4.1-3e,f,b) herausgestellt. *O. sinensis* wurde 1866 für das chinesische Meer beschrieben, soll dann schon Ende des vorletzten Jahrhunderts in der Nordsee aufgetaucht sein und ist seitdem ein wichtiger Bestandteil des Nordseepanktons. *Coscinodiscus wailesii* wurde 1931 für küstennahe Gewässer British Columbias beschrieben und taucht seit 1977 in der Nordsee auf. Es wird oft vermutet, dass die Art zusammen mit der Japanische Auster, *Crassostrea gigas* (THUNBERG, 1793), eingeschleppt wurde. Nahezu zeitgleich mit *C. wailesii* trat dann auch die etwas kleinere *Thalassiosira punctigera* in der südlichen Nordsee auf. Diese Art war 1886 zunächst als *Ethmodiscus punctiger* Castracane aus japanischen Gewässern beschrieben worden. Aktuell wird jedoch der Status dieser drei Arten als klassische Beispiele für eingeschleppte Arten stark in Frage gestellt (z.B. GOMEZ & SOUSSI, 2010). So wird z.B. für *O. sinensis* grundsätzlich angezweifelt, dass es sich bei dieser Alge um einen Neuankömmling in der Nordsee handelt. Es wird vermutet, dass die Art aufgrund der damals sehr geringen Beprobungsdichte einfach übersehen worden sein könnte. Nachdem eine Klimaveränderung um die Jahrhundertwende *O. sinensis* entwicklungsmäßig begünstigte und sie deshalb erfasst wurde, wurde sie anschließend als »neu eingewanderte« Art geführt.

Die beiden anderen Diatomeen *C. wailesii* und *T. punctigera* traten erstmals Blüten bildend 1977-79 im englischen

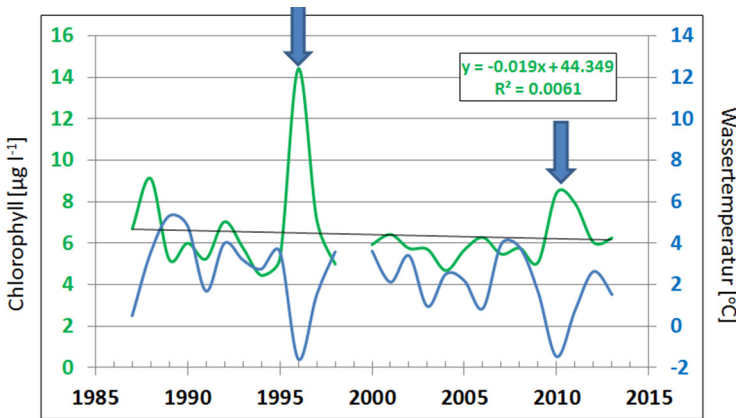


Abb. 4.1-2a: Chlorophyll [$\mu\text{g}/\text{Liter}$], Jahresmittel (grün); SST, minimale Wassertemperatur (Winter) [$^{\circ}\text{C}$]; (LTER SYLT ROADS, 1987-2013).

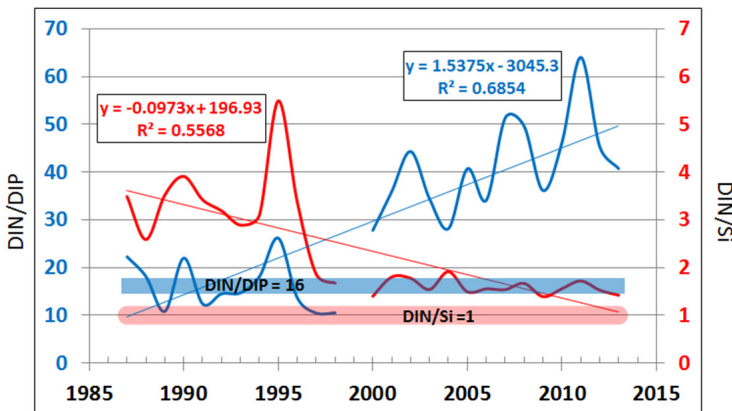


Abb. 4.1-2b: Jahresmittel gelöster anorganischer Nährstoffe, molare Verhältnisse, (LTER SYLT ROADS, 1987-2013); Gelöster anorganischer Stickstoff (DIN)/gelöstes anorganisches Phosphat (DIP), rot; Gelöster anorganischer Stickstoff (DIN)/gelöstes Silikat (Si), blau; Optimale Verhältnisse durch rote und blaue Balken verdeutlicht.

Kanal auf. Dieser Zeitraum war ebenfalls durch die sogenannte »große Salinitätsanomalie«, einen stark negativen NAO Index und außerordentlich erhöhter Flusseinträge gekennzeichnet. Es wird vermutet, dass diese beiden Arten, die unter normalen Klimabedingungen geringere Bestände bilden, zuvor lediglich falsch identifiziert bzw. sogar übersehen wurden.

Die in den letzten Jahren neu für die Nordsee beschriebenen Arten der Dinoflagellatengattungen *Azadinium* und *Amphidoma* (TILLMANN et al. 2012) wurden zuvor wahrscheinlich aufgrund ihrer geringen Größe und wohl meist niedriger Abundanz ebenfalls übersehen. Ähnliches gilt wohl für die erst 2004 beschriebene *Thecadinium yashimaense* sowie für drei »neue« *Thalassiosira* Arten (*T. tealata*, *T. curviseriata*, *T. tenera*), die aufgrund ihrer geringen Größe und lichtoptisch geringen Unterschieden schwierig zu identifizieren sind. Leider wurde auch die größere und eigentlich sehr prägnante *Thalassiosira hendeyi* bis ca. 1995 mit ihrer Schwesterart *Thalassiosira eccentrica* verwechselt und taucht somit zuvor in einschlägigen Planktonlisten nicht auf.

Viele Neuankommlinge in der Nordsee sind Vertreter des wärmeliebenden Planktons, werden durch spezielle Einstromlagen in die Nordsee verbracht und können sich dann bei günstigen, wärmeren Bedingungen dort auch vermeh-

ren. In diese Gruppe gehören z.B. die Diatomeen *Proboscia indica*, *Rhizosolenia hebetata* f. *semispina*, *Chaetoceros peruvianus*, *Eucampia cornuta*, *Odontella longicruris* (Abb. 4.1-3a) und *Neocalyptrella robusta* sowie die Dinoflagellaten *Dinophysis tripos* (bei Helgoland, mündl. Mttl. A. Kraberg) und *Alexandrium pseudogonyaulax* (Sylt und dänische Küste, mündl. Mttl., M. Elbrächter).

Mediopyxis helysia (Abb. 4.1-4a) ist eine sehr große, zentrische Diatomee, die 2004 erstmalig in der Deutschen Bucht aufgetaucht ist. Da die Art zunächst nur in sehr geringen Dichten auftrat, besteht die Möglichkeit, dass sie in den Jahren zuvor mit der z.T. ähnlichen *Helicotheca tamesis* verwechselt wurde. Nach der Erstbeschreibung 2006 wurde diese Art dann auch an der schottischen Küste sowie im Nordwestatlantik aufgefunden. Anfänglich trat sie nur sporadisch auf jedoch kam es in den Jahren 2010-11 zu regelrechten Massenentwicklungen bei Helgoland und Sylt. Nachfolgend flachten die maximalen Abundanzen allerdings deutlich ab. Dennoch scheint sich *Mediopyxis* als häufig auftretende Art in der Deutschen Bucht etabliert zu haben. Woher diese neue Art ursprünglich stammt, ist nach wie vor unbekannt.

Die ursprünglich aus japanischen Gewässer stammende, toxische *Rhaphidiphycee Fibrocapsa japonica* (Abb. 4.1-3d) tritt seit Mitte der 1990er Jahre vor allem in küstennahen Bereichen der südlichen Nordsee auf, ist wahrscheinlich über Ballastwasser in die Nordsee eingeschleppt worden und wird seit dem sporadisch z.B. in der Sylter Zeitreihe gefunden.

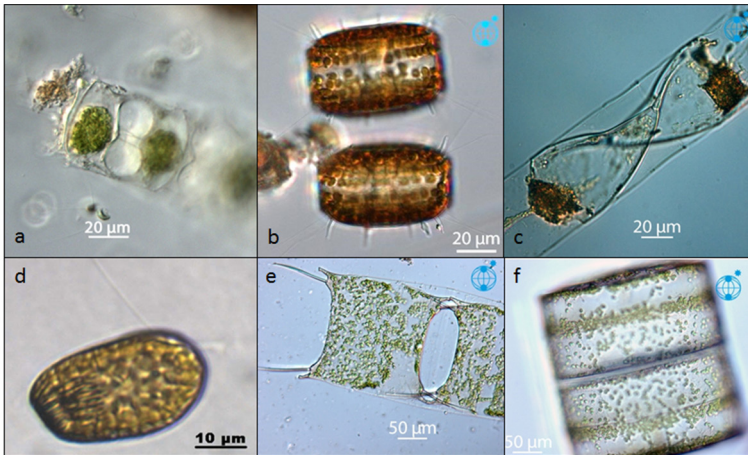


Abb. 4.1-3: Ausgewählte Phytoplankter: (a) *Odontella longicruris*, (b) *Thalassiosira punctigera*, (c) *Pseudosolenia calcar-avis*, (d) *Fibrocapsa japonica*, (e) *Odontella sinensis*, (f) *Coscinodiscus walesii*, Fotos a, b, e und f: A. Kraberg; Foto c: B. Evren Inanan; Foto d: V. Veloso.

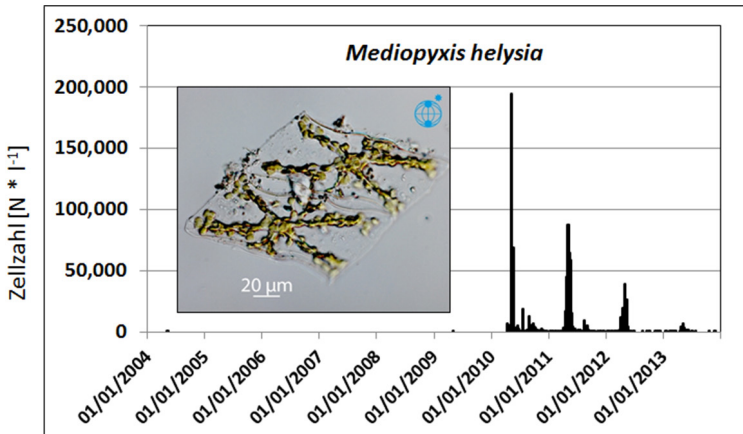


Abb. 4.1-4a: *Mediopyxis helysia*, Abundanzen ($N/Liter$), (LTER SYLT ROADS, 2004-2013); Logarithmische Einteilung der y-Achse! Foto: Planktonnet, Chr. Volk.

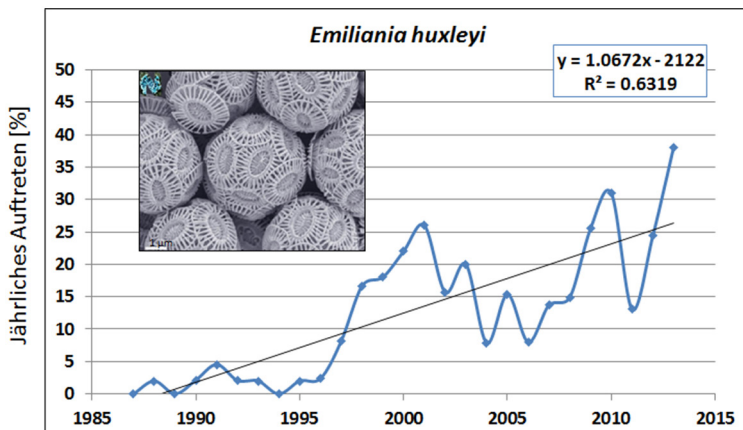


Abb. 4.1-4b: Entwicklung des jährlichen Auftretens der Prymnesiophyceae *Emiliania huxleyi* (LTER SYLT ROADS, 1987-2013)(Foto: Planktonnet, S. Meier).

Im Frühjahr 1999 gelangte die im Nordpazifik heimische pennate Diatomee *Neodenticula seminae* (R.Simonsen & T.Kanaya) F.Akiba & Y.Yanagisawa, begünstigt durch lange Eis arme Perioden wahrscheinlich mit transarktischen Strömungen in den Nordatlantik und verbreitete sich anschließend nach Süden und Osten. Bisher wurde diese neue Art allerdings noch nicht in der Nordsee nachgewiesen.

Zu Schluss noch ein kurzer Hinweis zum Verschwinden einer Art: Interessanterweise taucht die noch Anfang des vorherigen Jahrhunderts bei Helgoland gefundene, große und gut differenzierbare Diatomee *Pseudosolenia calcar-avis* (Schultze) B.G.Sundström 1986 (Abb. 4.1-3c) seit dem weder dort noch sonst wo in Nordseegebiet auf (KRABERG 2015).

Fallstudie: Langzeitentwicklung des Phytoplanktons an SYLT ROADS (1987-2013)

Die Langzeitstation SYLT ROADS liegt in der geschützten Sylt-Rømø Bucht und wird seit Mitte der 1970er Jahre regelmäßig beprobt. Durch einen im Mittel 50%igen Wasseraustausch mit der offenen Deutschen Bucht pro Tidenzyklus liegt die Station vergleichsweise günstig, um möglichst viele Wassermassen der Deutschen Bucht zu beproben und damit einen guten Überblick zu den Änderungen im Mikroplankton zu erlangen. Die wöchentlichen Planktonerfassungen wurden stets von hydrochemischen Messungen begleitet. Zusätzlich erfolgte eine sehr verlässliche taxonomische Aufarbeitung der Lebendproben durch Spezialisten, die es ermögli-

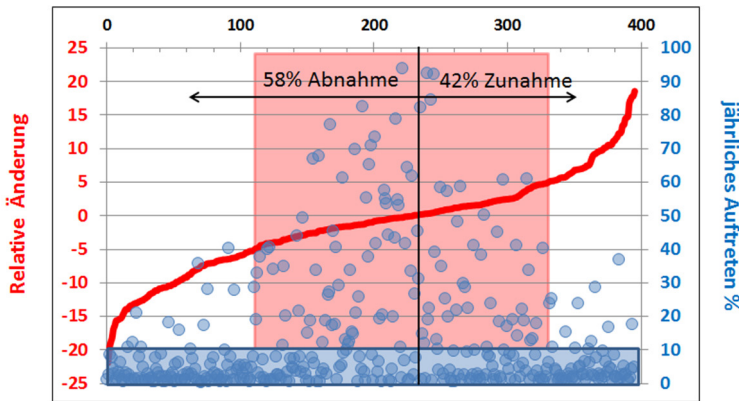


Abb. 4.1-5: Veränderungen der Phytoplanktongemeinschaft an (SYLT ROADS, 1987-2013); X-Achse: Anzahl der betrachteten Arten (395); Linke Y-Achse: relative Änderung des Auftretens (rote Kurve); Rechte Y-Achse: mittleres jährliches Auftreten einer Art (blaue Punkte); Rotes Rechteck: Arten [> 10 bis $\leq 100\%$ jährliches Auftreten bzw. ≥ -5 bis ≤ 5 relative Änderung]; Blaues Rechteck: Arten [$\leq 10\%$ jährliches Auftreten]

chte, auch nur vereinzelt auftretende Arten verlässlich zu erfassen. Seit 1987 wurde damit ein Datensatz geschaffen, der in seiner Datendichte und taxonomischer Expertise (ca. 700 Arten, bisher mehr als 106 Einträge) nicht nur für die Nordsee einmalig ist. Die wichtigsten Erkenntnisse aus dieser Zeitserie sollen hier knapp zusammengefasst werden.

Abb. 4.1-1a zeigt, dass das Mikroplankton an SYLT ROADS hauptsächlich von Diatomeen dominiert wird. Mit den in den letzten Jahrzehnten tendenziell schwächer werdenden Wintern ging eine verzögerte und weniger starke Entwicklung der von Diatomeen dominierten Frühjahrsplanktonblüte einher. Dies hängt vornehmlich mit einem bei warmen Wintertemperaturen dauerhaft erhöhten Fraßdruck auf das Phytoplankton durch die im Gebiet wichtigen benthischen Filtrierer (hauptsächlich Austern und Miesmuscheln) zusammen. Kalte Winter mit entsprechend reduziertem Fraßdruck ermöglichen hingegen im Frühjahr eine schnellere Phytoplanktonentwicklung mit höheren Biomassen (vgl. Abb. 4.1-2a).

Trotz der seit der Jahrtausendwende stark reduzierten Einträge von Stickstoff und Phosphat ist die mittlere Biomasse des Phytoplanktons erstaunlicherweise nahezu unverändert geblieben (Abb. 4.1-2a). Die vereinzelten Maxima sind auf die schon angesprochenen Effekte kalter Winter zurückzuführen. Abb. 4.1-2b verdeutlicht, dass das System von einem anfangs silikatlimitierten Status in einen phosphatlimitierten wechselte und erklärt damit die relative Konstanz der mittleren Chlorophyllkonzentrationen. Die Häufigkeit des Auftretens der nicht von Silikat abhängigen *Phaeocystis globosa* hat allerdings abgenommen (vgl. Tab. 4.1-2).

Die Artenvielfalt des Phytoplanktons hat sich im Verlauf der Zeitreihe bei Sylt im Mittel nur leicht verringert. Saisonal ergeben sich allerdings erhebliche Unterschiede. Die stärkste Abnahme der Artenvielfalt zeigt das Frühjahrsplankton (Abb. 4.1-1b), gefolgt von den Planktongemeinschaften im Sommer und Herbst. Im Winter nahm die Artenvielfalt sogar leicht zu.

Die Veränderung der gesamten Phytoplanktongemeinschaft wird in der Tab. 4.1-2 zusammengefasst. Wichtige Arten, die sich in der Häufigkeit ihres Auftretens während der Zeitreihe verändert haben bzw. nur sporadisch auftraten oder sogar verschwanden, sind gelistet. Grundsätzlich scheinen deutlich mehr

Arten zurückzugehen, als zuzunehmen. Die deutliche Abnahme der Dinoflagellatengattungen *Ceratium* und *Dinophysis* steht im Einklang mit den Ergebnissen der CPR-Analysen für die gesamte Nordsee. Arten, die dafür bekannt sind, dass sie meist nur durch spezielle Strömungssituationen in die Deutsche Bucht gelangen, sind wie zu erwarten fast ausschließlich in den Kategorien »sporadisch« oder »nicht mehr auftretend« zu finden und fett in der Tabelle markiert. Einzige Ausnahme ist der »Kalkplättchenträger« *Emiliania huxleyi*. Wie die deutsche Bezeichnung schon sagt, gehört diese Art zu den Algen, die einen Kalkpanzer aufbauen und damit potenzielle »Opfer« der fortschreitenden Meeresversauerung wären. *Emiliania* tritt allerdings seit Mitte der 1990er Jahre vor allem vermehrt in den Sommer- und Herbstmonaten bei Sylt auf (Abb. 4.1-4b). Auch andere Untersuchungen deuten darauf hin, dass die Kalkplättchenträger im Moment noch nicht negativ auf die Meeresversauerung reagieren, im Gegenteil sie scheinen eher positiv durch die wärmeren Wassertemperaturen beeinflusst zu werden (z.B. EDWARDS et al. 2013).

Eine zusammenfassende Betrachtung der Änderungen im Mikroplankton an SYLT ROADS gibt die abschließende Abb. 4.1-5. Nahezu 60% der in der Zeitserie aufgefundenen Arten traten häufig genug auf, um Trends für Zu- bzw. Abnahme berechnen zu können. Die relativen Veränderungen der Arten im Untersuchungszeitraum sind auf der linken y-Achse abgetragen und ergeben die rote, sigmoide Kurve. Diese Kurve beschreibt deutlich die starke Veränderung in der Mikroplanktonbio-

zönose: Nahezu 60% der betrachteten Arten nahmen ab, entsprechend 40% nahmen zu. Die rote Kurve der relativen Änderung wird durch die blauen Punkte des prozentualen jährlichen Auftretens der einzelnen Arten überlagert. Man erkennt, dass Arten, die häufig auftreten (innerhalb des roten Rechtecks) nur eine geringe Veränderung zeigen, während seltenere Formen (im blauen Rechteck) die stärksten Verluste bzw. Gewinne aufweisen. Damit reagieren nicht die oft auftretenden und häufigen Arten auf klimatische und hydrochemische Veränderungen, sondern es sind die weniger häufigen Formen, die die stärksten Änderungen zeigen. Grundsätzlich scheint die Mikroplanktonbiozönose des Sylter Wattenmeeres über die gesamte Zeitreihe aufgrund der relativen Konstanz häufig auftretender und Bestand bildender Arten eine gewisse Stabilität aufzuweisen.

Zusammenfassung

In diesem Kapitel werden die Veränderungen der Phytoplanktongemeinschaft in der Nordsee während der letzten Jahrzehnte beschrieben. Dabei konnten Trends des Phytoplanktons mit Temperatur – und meteorologischen Änderungen (z.B. NAO, nordatlantischer Oszillationsindex) nachgewiesen werden. Z.B. belegen Daten des *Continuous Plankton Recorder* (CPR) Veränderungen der Planktonverteilung, -häufigkeit und -saisonalität sowie das vermehrte Auftreten subtropischer Arten. Die fortschreitende Meeresversauerung scheint das Phytoplankton der Nordsee bislang noch nicht negativ zu beeinflussen. Vielmehr zeigen einige der potentiell betroffenen Arten eher eine Zunahme parallel zur Temperaturerhöhung.

Die Liste neu eingewanderter, bzw. eingeschleppter Arten ist übersichtlich. Zumeist werden wärmeliebende Neuankömmlinge durch spezielle Strömungslagen in die Nordsee verbracht und können sich bei günstigen Umweltbedingungen dort auch z.T. etablieren. Eine

Fallstudie für den Bereich des Sylter Wattenmeers (LTER SYLT ROADS) zeigt z.T. starke Veränderungen der Phytoplanktonbiozönose im Zeitraum von 1987 bis 2013 parallel zu steigenden Wassertemperaturen und abnehmendem Eutrophierungsgrad. So nahmen z.B. ca. 60% der Arten im Verlauf der Zeitreihe in ihrem Auftreten ab, während die verbleibenden 40% zunahmen. Dabei wiesen meist die weniger häufig auftretenden Arten die stärksten Änderungen auf, während häufige oder dominante Formen ein recht konstantes Auftreten zeigten, und damit für eine Stabilisierung des Systems sorgen.

Literatur

- EDWARDS, M., E. BRESNAN, K. COOK, M. HEATH et al. (2013): Impacts of climate change on plankton. MCCIP Science Review, 98-112, doi: 10.14465/2013.arc12.098-112.
- GOMEZ, F. (2008): Phytoplankton invasions: Comments on the validity of categorizing the non-indigenous dinoflagellates and diatoms in European Seas. Mar. Poll. Bull. 56, 620-628, doi: 10.1016/j.marpolbul.2007.12.014.
- GOMEZ, F. & S. SOUSSI (2010): The diatoms *Odontella sinensis*, *Coscinodiscus wailesii* and *Thalassiosira punctigera* in the European Atlantic: recent introductions or overlooked in the past? FEB 18(8), 1424-1434.
- KRABERG, A. C., N. RODRIGUES & C. R. SAKESKI (2015): Historical phytoplankton data from Helgoland Roads: Can they be linked to modern time series data? J. Sea. Res. 8 pp., doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.seares.2015.03.004>.
- WILTSHIRE, K. H., M. BOERSMA, K. CARSTENS, A. C. KRABERG et al. (2015): Control of phytoplankton in a shelf sea: Determination of the main drivers based on the Helgoland Roads Time Series. J. Sea Res. 105, 42-52, doi: 10.1016/j.seares.2015.06.022.
- TILLMANN, U., R. SALAS, M. GOTTSCHLING, B. KROCK et al. (2012): *Amphidoma languida* sp. nov. (Dinophyceae) reveals a close relationship between *Amphidoma* and *Azadinium*. Protist, 163, 701-719, doi: 10.1016/j.protis.2011.10.005.

Kontakt:

PD Dr. Johannes Rick
 Prof. Dr. Karen Helen Wiltshire
 Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, List/Sylt
johannes.rick@awi.de
karen.wiltshire@awi.de

Rick, J. & K. H. Wiltshire (2016): Veränderungen des Phytoplanktons in der Nordsee. In: Lozán, J. L., S.-W. Breckle, R. Müller & E. Rachor (Hrsg.). Warnsignal Klima: Die Biodiversität. pp. 216-223. Online: www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de. doi:10.2312/warnsignal.klima.die-biodiversitaet.35.