

## 3.2 COAST

Küsten sind hochdynamische Bereiche, die Grenzgebiete mit weiten Übergangszonen darstellen und sich vom Rand der Landmasse bis hin zum Schelfmeer erstrecken. Als Übergangsbereich zwischen terrestrischen und marinen Energie- und Stoffflüssen (Materie und Organismen) umfassen Küstengebiete eine Vielfalt von komplexen Ökosystemen wie Gezeitenzonen, Felsküsten, Riffe und Inseln. Küstengebiete werden vom Menschen stark genutzt als Lebensraum, für Freizeit, Fischerei, Aquakultur, Quelle von Naturstoffen, Transport und in einigen Fällen zur Energiegewinnung, z. B. durch Windparks. Trotz der Bemühungen, die Küstenzonen bei gleichzeitiger Optimierung der Ressourcen-Nutzung zu stabilisieren, unterliegen sie andauernden geomorphologischen, hydrodynamischen und meteorologischen Veränderungen. Es wird erwartet, dass diese physikalischen Belastungen der Küsten als Ergebnis des globalen Wandels stark zunehmen werden, was sich in lokalem und regionalem Ausmaß zeigen wird. Darüber hinaus muss der menschliche Eingriff durch Überfischung, Ausbaggern und Hafenausbauten, Urbanisation, Verschmutzung und Eutrophierung als zusätzlicher Stressfaktor in einem ohnehin fragilen System betrachtet werden. Eine zentrale Aufgabe unseres Küstenforschungsprogramms ist es, eine solide Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse über die Stabilität, Biodiversität, Stressfaktoren und das Potential der Küstensysteme zu liefern. Wir haben bereits wesentliche Erkenntnisse über die fundamentalen Prozesse der Diversität der Küsten und der Nahrungskettendynamik gewonnen, speziell in der Nordsee und der Küste des Wattenmeeres. Ist erst einmal eine solide Basis von Informationen über

## 3.2 COAST

*Coasts are highly dynamic environments acting as a boundary with wide transition zones extending from the marginal land mass to the shelf sea. As an interface between terrestrial and marine fluxes of energy, matter and organisms, coastal zones comprise a diversity of complex ecosystems, such as tidal flats, rocky shores, reefs and islands. Coastal areas are often heavily exploited as human habitats and for recreation, fisheries, aquaculture, sources of natural products, transportation and in some cases for energy generation, e.g. via windparks. In spite of efforts to stabilize coastal zones while optimizing resource utilization, the coast is subject to continuous geomorphological, hydrodynamic and meteorological changes. These physical stresses on the coasts are expected to increase in magnitude in response to Global Change expressed on a local and regional scale. Furthermore, human intervention linked to over-fishing, dredging and harbour construction, urbanization, pollution and eutrophication must be considered as additional stressors on already fragile systems. A focal task of our coastal research programme is to provide a solid base of scientific knowledge on the stability, biodiversity, stressors and potential of the coastal system. We have already attained significant insights into the fundamental processes of coastal diversity and food web dynamics, particular for the North Sea and Wadden Sea coasts. Once a solid base of information is generated on the functioning and integration of coastal ecosystems is achieved, these processes can be modelled to generate scenarios and hypotheses of the consequences of accelerated or mitigated coastal changes.*

Funktionen und Verflechtungen von Küstenökosystemen erstellt worden, können diese Prozesse modelliert werden, um Szenarien und Hypothesen über die Konsequenzen von zunehmenden oder sich abschwächenden Veränderungen der Küsten zu errechnen. Durch unsere Partnerschaft mit der GKSS werden wir in der Lage sein, den politisch Verantwortlichen und der Gesellschaft die notwendigen Instrumente und Interpretationen zur Verfügung zu stellen, die für ein langfristiges integriertes Küstenzonenmanagement erforderlich sind.

## CO1: Küste im Wandel: Langfristige Entwicklungen und extreme Ereignisse

Küstengebiete sind oft betroffen von den verheerenden Folgen extremer Ereignisse (Tsunamis, Sturmfluten, rapider Erosion, schädlichen und giftigen Algenblüten, Einwanderung fremder Arten etc.), aber diese Phänomene müssen im Zusammenhang mit langfristigen Entwicklungen interpretiert werden. Wir konzentrieren uns in erster Linie auf die Nordsee und die Wattenmeerküste, und durch die enge Kooperation mit der Küstenforschung der GKSS bei der Modellierung physikalischer und ökologischer Prozesse in den Küstenzonen betreiben wir detaillierte Analysen der ökologischen Veränderungen. Diese Forschungen werden für Rekonstruktionen sowie für Projektionen zusammengeführt, damit Managementoptionen auf eine solide und breite Wissensbasis über Veränderungen im Küstenbereich gestützt werden können.

*In our partnership with GKSS, we will be able to deliver the necessary tools and interpretation required by policy makers and society at large with a view towards Integrated Coastal Zone Management.*

## CO1: Coastal Change: Long-term Trends and Extreme Events

*Coastal areas are often subject to devastating effects of extreme events (tsunamis, storm surges, rapid erosion, noxious and toxic algal blooms, foreign species invasions, etc.), but these phenomena must also be interpreted in the context of long-term trends. We are focusing primarily on the North Sea and Wadden Sea coasts and via close cooperation with the Coastal Research Institute of GKSS on modelling physical and ecological processes in the coastal zone, we are conducting detailed analyses of ecological change. These studies are linked to generate scenarios from our joint reconstructions and projections, in order to base options of coastal management on sound and broad insights into coastal change processes.*

*Exposed sandy shores like those of the island of Sylt in the North Sea are particularly sensitive zones characterized by an accelerated rise in sea level. Sequences of high resolution aerial photographs have been analysed to allow us to quantitatively describe the morphological changes to beaches and dunes. Underwater acoustic methods (RoxAnn) and side-scan sonar have demonstrated the presence of sand waves up to seven meters in height. These dynamic structures arise in the deep inlets between the barrier*

Exponierte Sandküsten wie die von Sylt sind besonders neuralgische Zonen bei beschleunigt ansteigendem Meeresspiegel. Deshalb werden hochaufgelöste Bildserien über Fernerkundung erstellt und ausgewertet. So können die morphologischen Veränderungen im Strand- und Dünenbereich quantitativ beschrieben werden. Unter Wasser wurden mit akustischen Methoden (RoxAnn) und einem Fächerlot bis zu sieben Meter hohe Sedimentwellen vermessen, die sich in den tiefen Gezeitenrinnen zwischen den Barriereinseln ausbilden. Sie sorgen für Sedimentverlagerungen zwischen Innen- und Außenküste. Nur wo die Innenküste von der Nordsee viel Sediment erhält, sind die Inselstrände in der Lage mit dem Anstieg des Meeresspiegels mit zu wachsen. Unsere geologischen Untersuchungen sollen Defizitbereiche in der Sedimentverteilung identifizieren, damit der Küstenschutz durch künstliche Sandzufuhr Gefahren für die Inselsubstanz abwenden kann. Von Bedeutung für die Sedimentumlagerungen an der Küste sind auch die von Stürmen verursachten Hochwasserstände. Numerische Modelle zu deren Schwankungen in den letzten vierzig Jahren liefern jetzt eine kritische räumliche Auflösung, die eine Übertragung auf ufernahe Sedimentbewegungen möglich macht.

Auch der Temperaturentwicklung kommt eine treibende Rolle bei langfristigen Veränderungen an der Nordseeküste zu. Die Dauermessungen auf der Helgoländer Reede wurde vor dem Hintergrund des globalen Wandels eingehend analysiert. Sie zeigen seit 1962 eine Erwärmung um 1,1 °C und parallel dazu stellt sich überraschenderweise die Frühjahrsblüte im Algenplankton zunehmend später ein. Die Datenanalysen in Kombination mit Experimenten zeigen, dass dies mit einer herbstlichen Erwärmung zusammen-

*islands, exchanging sediment between the inner and outer coast. Beaches along the islands may only grow up the sea level rise where there is a sufficient supply of sediment. Our geological investigations aim to identify areas of sediment deficiency, which may be compensated with artificial sediment replenishments. Storm-related sea level variations along the North Sea coast over the last 40 years have now been simulated with numerical high-resolution modelling. These hindcasts will be used to identify relationships to sediment transport in the nearshore zone.*

*Temperature also plays a significant role in the long-term development of coastal processes. The long term data set Helgoland Roads has been extensively analysed against the backdrop of Global Change. There has been an evident warming of 1.1 °C since 1962 and the spring phytoplankton bloom and high diatom abundances are occurring later in spring. We have shown by analyses of the data series, as well as in experiments, that this is related to a warming in the autumn and consequent extended grazing of zooplankton. We have also analyzed the shifts in species composition, revealing a change in phytoplankton succession to diatom species, e.g. *Guuardia delicatula*, that prefer warmer waters. These data are the first indication of a warming-related shift in phytoplankton succession, timing of the spring bloom and food web changes. The consequences of this are expected to be life cycle/ food resource mismatches through to regime shifts in the North Sea.*

*Such shifts have also been seen in the salinity of the system, which has steadily risen by an average of 1 unit in 40 years. This is probably related to a change in movements of water masses in the North Sea. With*

hängt. Die wiederum ermöglicht es dem Zooplankton länger vom Algenplankton zu fressen und dadurch dessen Entwicklung im folgenden Frühjahr zu verzögern.

Auch im Artenspektrum der Planktonalgen haben sich schon Veränderungen gezeigt. So ist z.B. die wärmeliebende Kieselalge *Guillardia delicatula* häufiger geworden. Überprüft wurde dieser Befund mit Untersuchungen zu Wachstum und Vermehrung unter vorgegebenen Temperaturbedingungen im Labor. Unsere Daten sind der erste Hinweis, wie die generelle Erwärmung zu Verschiebungen in der saisonalen Algenentwicklung und im Nahrungsnetz führen kann.

Neben der Temperatur ist auch der Salzgehalt im Wasserkörper um die Insel Helgoland leicht angestiegen. Mit Hilfe von Modellen konnte dies durch einen verstärkten Zustrom von Nordseewasser aus Westen erklärt werden. Episoden mit geringerem Salzgehalt resultierten aus einem Zustrom aus Nordost. Im Gegensatz zu früheren Annahmen ist also nicht direkt das Elbwasser für solche Episoden verantwortlich. Diese Erkenntnis ist ein wichtiger Meilenstein im Verständnis der Veränderungen des Wassersystems der Deutschen Bucht.

Die Lebensgemeinschaften im Küstenwasser ändern sich aber nicht nur durch Klimawandel und anthropogene Erhöhung der Nährstoffkonzentrationen, sondern auch direkt durch den globalen Austausch von Organismen durch immer mehr und immer schneller fahrende Schiffe sowie durch die weltweit zunehmende Aquakultur. Da die heimischen Austern durch Raubbau aus dem Wattenmeer verschwanden, wurden vor zwanzig Jahren Pazifische Austern (*Crassostrea gigas*) in Zucht genommen. Diese wilderten sich über ihre Planktonlarven aus und setzten sich im

*the help of models, we have shown for the first time that salinity 'events' often originate from an influx of water from the North Sea west of Helgoland and that low salinity events are typically related to movement of water from the northeast towards Helgoland. Unlike previously assumed, low salinity events are not directly attributable to the outflow of the River Elbe. This information is an important milestone in understanding changes in the water systems of the German Bight.*

*Changes in the biota are not only caused by climate change and anthropogenic nutrient supply. The direct exchange of organisms transported by increasing global ship traffic, as well as via expanding aquaculture in the sea, are becoming ever more important. Because native oysters have been driven to extinction by overexploiting the natural stocks in the Wadden Sea, culturing of Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) commenced twenty years ago. These oysters have become 'wild' through dispersal of their larvae, which settled upon mussel beds. Quantitatively this remained rather unimportant until recently when three particularly warm summers in a row (2001 to 2003) initiated an unexpected invasion of oysters. Throughout the entire Wadden Sea, mussel beds became overgrown by the Pacific oysters (see Figure 1).*

*What are the consequences of the shift from mussels to oysters for the ecosystem? Are the Pacific oysters an appropriate substitute for those oysters which once were native in the Wadden Sea? Our experiments show that the success of the Pacific oysters is due to a lack of predation. Crabs and sea stars always preferred mussels over oysters in choice experiments. Furthermore, coastal birds were unable*

Gezeitenbereich auf den Bänken der Miesmuscheln fest. Zunächst quantitativ unbedeutend, nahm die Invasion der Austern aber durch drei besonders warme Sommer (2001 bis 2003) überraschend eine so rasante Entwicklung, dass überall im Wattenmeer Muschelbänke von Austern überwachsen wurden (siehe Abb. 1).

Was sind Auswirkungen dieses Wechsels von Miesmuscheln zu Austern für das Ökosystem und können die Pazifischen Austern als Ersatz für die heimischen Austern gelten? Unsere Experimente zeigten, dass der Erfolg der Pazifischen Austern insbesondere darauf beruht, dass sie in der Nordsee keine ernsthaften Fressfeinde haben. Krebse und Seesterne bevorzugen

*to take these oysters as prey because of the strong shell. Although the oysters are important suspension-feeders, consuming abundant biomass of phytoplankton, they constitute a dead-end in the food web. Moreover, Pacific oysters are not an ecological equivalent for the native oysters. While Pacific oysters have invaded the intertidal zone and have taken the place of mussels in this niche, native oysters once dwelled alongside the tidal channel just below the zone of the mussels. The native species were associated with a rich and unique assemblage of algae and invertebrates. Pacific oysters, in contrast, provide a habitat for the associated species of mussel beds.*



**Abb. 1:** Die charakteristischen Muschelbänke im Wattenmeer werden überwachsen von der eingeschleppten Pazifischen Auster (rechts).

*Fig. 1: The characteristic mussel beds in the Wadden Sea taken over by an invasion of Pacific oysters (right).*

Miesmuscheln. Auch von Vögeln werden die hart-schaligen Austern kaum gefressen. Die Austern filtrieren zwar sehr viel Plankton, stellen selbst aber eine Sackgasse im Nahrungsnetz dar. Pazifische und heimische Auster sind nicht äquivalent im Ökosystem. Während die Pazifische Auster im Gezeitenbereich siedelt und dort den Platz der Miesmuscheln übernimmt, lebte die heimische Auster in den tiefen Prieln unterhalb der Miesmuschelzone und war von einer reichhaltigen Lebensgemeinschaft begleitet. Die Pazifischen Austern haben dagegen weitgehend die mit Miesmuschelbänken assoziierten Algen und Wirbellosen übernommen.

Insgesamt weisen unsere Untersuchungen zu den langfristigen Entwicklungen an der Nordseeküste auf eine Beschleunigung der Veränderungen hin, von der Geo- und Hydrodynamik hin zum ökologischen System. Das hat Implikationen auf die gesetzten Qualitätsziele im Rahmen der Vereinbarungen zwischen den Wattenmeeranrainern und der Richtlinien der EU für den Zustand der europäischen Gewässer.

*On the whole, our investigations on the long-term developments at the North Sea coast indicate an acceleration of change, from geo- and hydrodynamics to a turnover in the ecosystem. This has implications for the quality targets agreed upon by the three Wadden Sea states and on the standards of the EU Water Framework Directive for coastal water bodies.*

## CO<sub>2</sub>: Coastal Diversity: Key Species and Food Webs

### CO<sub>2</sub>: Küstendiversität: Schlüsselarten und Nahrungsnetze

Unser Forschungsziel ist das holistische wissenschaftliche Verständnis der Schelfmeere, insbesondere bezogen auf die ökologische Vielfalt der Nordsee sowohl in ihren unterschiedlichen Habitaten als auch im Hinblick auf die Gefährdungen eines solchen Ökosystems. Innerhalb des MARCOPOLI Programms ist es uns gelungen, verschiedene Disziplinen erfolgreich und eng zu vernetzen, neue Technologien einzuführen und Konzepte zu entwickeln, die dazu beitragen werden, grundlegende ökologische Fragen zu beantworten. Unsere Forschungen befassen sich besonders intensiv mit der Funktion der Ökosysteme und deren Schlüsselorganismen, d.h. mit solchen Arten, die als Dreh- und Angelpunkte des Systems aufzufassen sind.

Eine der Fragen ist, inwieweit Schlüsselorganismen, die bisher aufgrund morphologischer Kriterien als ein und dieselbe Art galten, tatsächlich funktionell identisch sind und ob sie in verschiedenen Populationen unterschiedliche Nischen besetzen. Wir sammeln Informationen, die sich auf das bisher sehr wenig verstandene „Plankton-Paradoxon“ beziehen, warum es so viele verschiedene sympatrische „Arten“ in derselben ökologischen Nische gibt. Zum Beispiel wurde die zentrische Diatomee *Thalassiosira rotula* – eine Art, die eine Schlüsselfunktion in der Nahrungskette spielt – in der gesamten Nordsee zu verschiedenen Jahreszeiten isoliert. Ihre Taxonomie, Genetik, Physiologie und Ökologie wurde eingehend untersucht. Das Ergebnis ist, dass diese „eine“ Art so verschiedene Anpassungen an unterschiedlichste Wasserkör-

*A holistic scientific appraisal of coastal seas is necessary to understand the functioning of diverse habitats and the encumbering pressures upon the ecosystem. Within the MARCOPOLI programme, we have successfully managed to network diverse disciplines, introducing innovative technology to provide concepts to answer fundamental ecological questions with particular emphasis on the ecological diversity of the North Sea. The research is designed with particular emphasis on key species, i.e. those that are considered to have a pivotal role in ecosystem function.*

*One of the questions was whether key species - often taken for granted as unitary, based upon morphological criteria from various populations - are really functionally identical or whether they occupy different niches. This extends to include the information required to deal with the poorly explained “Paradox of the Plankton” – why are there so many different co-occurring ‘species’ within the same apparent ecological niche? For example, the centric diatom *Thalassiosira rotula*, which plays a pivotal role in the food chain, was isolated all over the North Sea and at different times of the year. The taxonomy, genetics, physiology and ecology of this species have been examined in detail. The outcome is that this ‘one’ species is so diverse in its adaptations to different water conditions that one has to rethink its definition. In response to temperature alone, we found both warm-water and cold-water adapted strains of *T. rotula*. We also discovered that the toxic aldehydes produced as a predator defence vary conside-*

per und -temperaturen zeigt, dass die Art nun völlig neu definiert werden muss. Es gibt dabei wärme- und kälteadaptierte *T. rotula*. Wir haben auch entdeckt, dass die toxische Aldehyd, die von der Diatomee zur Fraßabwehr produziert werden, ganz entscheidend vom Nährstoffstatus der Alge abhängig sind. Dieses beeinflusst unser Verständnis der Räuberabwehr erheblich. Wir konnten weiterhin zeigen, dass mögliche Strategien zur Fraßvermeidung weder mit der chemischen Abwehr, wie durch Aldehyde, noch mit der Größe des Beuteorganismus zu tun haben können. Als Beispiel für den Größenzusammenhang soll hier der heterotrophe Dinoflagellat *Gyrodinium spirale* dienen, der sowohl *T. rotula* als auch eine *Paralia sulcata*-Kette inkorporiert hat, die viel größer als sie selbst ist (Abb. 2).

Wenn man sich mit Schlüsselarten befasst, ist es notwendig, ihre Rolle im Ökosystem im Auge zu behalten – wie zum Beispiel Beziehungen zu anderen Mikroorganismen. In Analogie zu größeren Organismen ist es interessant, dass Mikroalgen einschließlich *T. rotula* „Mikro-Siedlungsplattformen oder Mikro-Habitats“ für ihre eigenen Bakterien-Populationen sind. Spezifische Mikroalgen beherbergen dabei auch verschiedene Bakterien (ein Beispiel für versteckte bzw. bisher unerkannte Diversität), möglicherweise auch als Symbionten. Solche Beziehungen könnten sich als begrenzende Faktoren für die Nährstoffaufnahme der Mikroalge erweisen.

Parasitismus wird gewöhnlich in Ökosystemstudien einfach ignoriert, ist aber nicht zu vernachlässigen. Wir fanden, dass dreimal mehr Parasiten- als Wirtsarten im Wattenmeer vorkommen können, allerdings mit variablen Befallsraten. Weiterhin adoptieren in der Nordsee natürlich vorkommende Parasiten

*rably depending on the nutrient status of the alga. This has significant consequences with regard to our thinking on chemically mediated predator defence mechanisms. We also showed some other potential predator defence strategies, e.g. adaptations for larger cell size, may not always be effective as a defence. For example, the heterotrophic dinoflagellate Gyrodinium spirale successfully ingests T. rotula and Paralia sulcata chains (see Figure 2) much larger than itself.*

*While studying key species, it is imperative to look at their context within the ecosystem, such as their relationship with other microorganisms. Interestingly, analogous to larger organisms, we found that microalgae (including T. rotula) are ‘micro-platforms’ or micro-habitats for their own populations of bacteria. Specific microalgae harbour different bacteria (an example of thus far hidden diversity), potentially in symbiotic relationships. Such relationships might prove to be the limiting factor in microalgal uptake of nutrients.*

*Parasitism is often ignored in ecosystem studies but it may nevertheless be important. In our studies, we found a three-fold higher number of parasites than host species in the Watt, albeit with variable infestation rates. Native parasites even adopt non-native bivalves introduced into the North Sea. Such relationships span many trophic levels and this can be studied using modelling techniques newly applied to shallow coastal seas. Ecosystem network analysis (ENA) has already shown how differences in food-chain length or biomass production in a system can be compared at different trophic levels. In the Wadden Sea, this method has shown that habitats for mussel banks and sea-grass beds show a high degree*

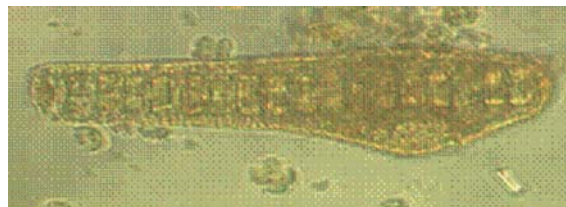
sogar eingeschleppte Muschelarten. Solche Beziehungen überspannen mehrere Nahrungsebenen. Dieses Phänomen kann unter Einsatz neuer Modellier-Verfahren untersucht werden, die für unsere flachen Küstengewässer geeignet sind. Mithilfe der Netzwerk-analyse (network analysis, ENA) konnten zum Beispiel die Länge der Nahrungsketten oder die Biomasse-Produktion über unterschiedliche Trophiestufen hinweg verglichen werden. In verschiedenen Habitaten des Wattenmeeres hat diese Methode gezeigt, dass der Organisationsgrad (ascendancy) von Muschelbänken und Seegrasbetten hoch ist, während Sandbänke und andere stark hydrographisch exponierte Gebiete niedriger eingestuft wurden. Dabei sind auch Querbeziehungen zu den Interaktionen und Anpassungen der Schlüsselarten dieser Habitats zu erwarten.

Sehr diverse Habitatanpassungen sind essenziell für das Überleben von Organismen. Wir haben gezeigt, dass die Überlebensfähigkeit und der physiologische Zustand von Zooplankton durch die Nahrungswahl bestimmt werden. Wenn der Kohlenstoff-Gehalt (als Maß für die Nahrungsqualität) der Nahrung des Zooplanktons unter ein bestimmtes Minimum fällt, fressen die Tiere nicht mehr. Daraus lässt sich ableiten, dass der Erfolg der Art oder des von dieser Art abhängigen Teils des Nahrungsnetzes nicht nur durch den Aufenthaltsort der Organismen bestimmt wird, sondern auch davon, mit welchen anderen Arten sie assoziiert sind, sowie durch die Menge und Qualität des Sestons in ihrem Habitat. Ebenso konnten wir zeigen, dass die Verdauungsenzyme von Krebsen von Art zu Art stark variieren und von der Ernährungsweise abhängen. Solche Anpassungen sind häufig die Folge von drastischen Änderungen der

*of organisation (ascendancy), whereas sand banks and other areas with high hydrodynamic exposure are not so highly organised. This will in some part be related to the interactions and adaptations of the key species in these habitats.*

*Adaptations of organisms to their habitats are crucial to their survival and are very diverse. We have shown that the survival and fitness of zooplankton are determined by what they eat. If the total carbon levels (food quality) of the food for zooplankton drop below a certain minimum level they will not feed. Thus, it is not just where they dwell in the water column, but the cohort species and abundance and quality of seston in their habitat that determines their success and the success of the dependent stage of the food web. Similarly, we have shown that in crustaceans the enzymes required for digestion of food varies from species to species and depends on their eating habits. These adaptations are often analogous to the changes in 'lifestyle' that these crustaceans must undergo in their life history; they often start off as plankton in the water column and end as adults in the benthos. How well these organisms are adapted to these extremely different 'lifestyles' and habitats determines their success and in turn that of their predators. Often this difference is comparable to an adaptation to living in an extreme habitat, such as in polar waters. Thus, geographical comparisons are the subject of our comparability studies on key species ranging from macroalgae to crustaceans. Key organisms are integrated into an ecosystem concept based upon knowledge of the habitats, the organisms in these habitats and their adaptations to their habitats. Via this information we are beginning to understand new and pivotal links of the food chain that are vital to successful ecosystem function.*

Lebensweise dieser Krebse während ihrer Entwicklung. So beginnen sie ihr Leben oft als Larven in der Wassersäule (Meroplankton) und gehen später als Adulte zum Bodenleben im Benthos über. Der Grad der Anpassung solcher Tiere an die extrem unterschiedlichen Habitate und Lebensweisen bestimmt ihren eigenen ökologischen Erfolg ebenso wie den der auf sie angewiesenen Räuber. Häufig entsprechen solche Übergänge dem Leben in Extremsituationen beziehungsweise extremen Habitaten – wie etwa in den Polargebieten. Daher sind geographische Vergleiche an Schlüsselarten von Makroalgen bis zu Krebsen Teil unserer Untersuchungen. Schlüsselorganismen werden in ein Ökosystem-Konzept integriert, das auf neuen Kenntnissen der Habitate, der Arten in diesen Habitaten und ihrer Anpassungsfähigkeit beruht. Dank dieses Vorgehens erhalten wir zunehmend Hinweise auf entscheidende Beziehungen innerhalb der Nahrungsketten, die für die Funktion des Ökosystems von vitaler Bedeutung sind.



**Abb. 2: Mikroskopenaufnahme der gedehnten Zelle eines heterotrophen Dinoflagellaten nach Ingestion einer 16 Zellen langen Kette der Diatomee *Paralia sulcatia*.**

*Fig. 2: An optical micrograph of a heterotrophic dinoflagellate showing its distended shape after ingesting a 16 cells long chain of the diatom *Paralia sulcatia*.*

## CO3: Chemical Interactions: Ecological Function and Effects

### CO3: Chemische Interaktionen: Ökologische Funktionen und Effekte

Marine Organismen produzieren eine große Bandbreite von Naturstoffen, die biologisch hochwirksam gegenüber anderen Arten sind oder als chemische Botenstoffe innerhalb der Population einer bestimmten Art dienen. Diese bioaktiven Metabolite (Stoffwechselprodukte) können eine ausschlaggebende Rolle bei der chemischen Verteidigung, dem Nahrungserwerb, der sexuellen Reproduktion, im Lebenszyklus und beim Migrationsverhalten sowie anderen noch nicht beschriebenen Prozessen spielen. Die klassische Naturstoff-Forschung bei marinen Organismen fand in erster Linie bei benthischen Invertebraten aus den Tropen und Subtropen statt und konzentrierte sich häufig auf die Entschlüsselung der Zusammensetzung von neuen Metaboliten als mögliche Arzneimittel. In letzter Zeit zielten bioaktives Screening zur Entdeckung von medizinisch wirksamen Substanzen und andere biotechnologische Verfahren ebenfalls auf marine Bakterien, Cyanobakterien, Pilze und eukaryotische Mikro- und Makroalgen. Es wird erwartet, dass dies mit der Anwendung von genomischen und proteomischen Technologien noch zunimmt. Dagegen ist die ökologische Chemie - die Beziehung von Struktur und Funktion von marinen bioaktiven Substanzen in einem ökologischen Zusammenhang - vor allem in gemäßigten und polaren Ökosystemen der Küsten nur wenig beschrieben. Unser Forschungsansatz geht über die rein statische Beschreibung von marinen Naturstoffen hinaus hin zu einer dynamischen Perspektive ihrer Funktionen in Nahrungsketten und Ökosystemen der Küsten.

*Marine organisms produce a vast array of natural substances with high biological activity against other species or which act as chemical messengers within a population of a given species. These bioactive metabolites may play a crucial role in chemical defence, predation, sexual reproduction, life history transitions and migratory behaviour. Classic research on the natural products chemistry of marine organisms (primarily benthic invertebrates from tropical and sub-tropical environments) has often focused on structural elucidation of novel metabolites as potential pharmaceuticals. More recently, bioactive screening for drug discovery and other biotechnological applications has also targeted marine bacteria, cyanobacteria, fungi and eukaryotic microalgae and macroalgae and this is expected to accelerate with the implementation of genomic and proteomic technologies. Nevertheless, the chemical ecology – the relationship between the structure and function of marine bioactive substances in an ecological context – remains poorly described, especially in temperate and polar coastal ecosystems. Our research approach is to move beyond the static description of marine natural products to a dynamic perspective of their function in food webs and coastal ecosystems. This knowledge is combined with ecological chemistry and ecotoxicological process studies linked to the effects of anthropogenic organic pollutants on marine food webs and ecosystem health from the molecular and cellular level to individuals within diverse populations. We maintain a focus on marine toxins*

Diese Kenntnisse werden kombiniert mit ökologisch-chemischen und ökotoxikologischen Prozess-Studien zu den Auswirkungen anthropogener organischer Schadstoffe auf marine Nahrungsketten und der Gesundheit des Ökosystems; von der molekularen und zellularen Ebene bis hin zu den Individuen innerhalb unterschiedlicher Populationen. Marine Toxine verschiedener Organismen bleiben Schlüsselemente unserer Untersuchungen. Die Verbindung von Naturstoff-Forschung und der Forschung an anthropogenen organischen Substanzen in einem ökologischen Zusammenhang hat zu einem einmaligen Programm zum Verständnis der Dynamik in unserem Küsten-Ökosystem geführt.

Bakterien von unterschiedlichen marinen Standorten erwiesen sich als reiche Quelle neuer mariner biologischer Wirkstoffe. Actinomyceten aus Mangroven haben ein breites Spektrum an Naturstoffen ergeben. Interessante und vielfältige Wirkungen wurden besonders bei Trioxacarcin-Verbindungen festgestellt, von denen alle eine hohe antibakterielle und einige sogar hohe cytotoxische sowie antiplasmodiale Aktivitäten zeigten. Das Screening einer größeren Kollektion von arktischen Meereisbakterien auf Naturstoffen deckte ein Flavobakterium auf, welches 21 unterschiedliche Mono- und Dinitrophenole produziert, wobei einige dieser Nitroverbindungen vermutlich als Eisenchelatoren dienen - eine wichtige Funktion bei der Dynamik des mikrobiellen Nahrungsnetzes.

Eukaryotische Protisten mit den Arten des marinen Phytoplanktons und den benthischen Mikroalgen haben das Potential zur Biosynthese potenter mariner Phycotoxine mit hoher biologischer Aktivität als Enzyminhibitoren oder Ionenkanal-Hemmstoffe. Einen Schwerpunkt unserer Untersuchungen bildete

*from various source organisms as key elements of our studies. The combination of natural products and anthropogenic organic components research in an ecological content has created a unique programme for understanding the dynamics of our coastal ecosystems.*

*Bacterial isolates from diverse marine habitats have proven to be a rich source of novel marine bioactive compounds. Actinomycetes from mangrove areas have yielded a broad spectrum of natural products. The trioxacarcins, in particular, exhibited manifold reactions in bioassays, including high antibacterial, anti-tumour and anti-malarial activity. Screening of Arctic sea-ice bacteria revealed a bacterium affiliated to Flavobacterium that produced 21 different mono- and di-nitrophenol compounds, some of which may be effective as iron chelators – an important function in microbial loop dynamics.*

*Eukaryotic protists, including species of marine phytoplankton and benthic microalgae, are capable of biosynthesis of potent marine phycotoxins with high bioactivity as enzyme inhibitors or ion-channel effectors. We have characterized the genetic structure and intra-population variation in Alexandrium tamarense, a dinoflagellate species that produce neurotoxins associated with paralytic shellfish poisoning (PSP). Clonal isolates (>200) collected from the Scottish east coast were subjected to phenotypic analysis of morphological characteristic and toxin composition, and complementary genotypic analysis with molecular markers. The work has revealed a surprisingly high intra-population variation in PSP toxin content and profiles, as well as allelochemical potency to potential protistan grazers and competitors. Genetic markers, such as microsatellites and*

die Charakterisierung der genetischen Struktur und der Variabilität innerhalb einer Population von *Alexandrium tamarense*. Diese Dinoflagellatenart produziert Neurotoxine, welche die paralytische Muschelvergiftung (PSP) hervorrufen. Anhand von klonalen Isolaten von der Schottischen Ostküste wurden phänotypische Analysen sowohl der morphologischen Merkmale als auch der Toxin-Zusammensetzung durchgeführt. Ergänzend fanden genotypische Analysen mit molekularen Markern statt. In diesen Arbeiten zeigte sich eine überraschend hohe Variabilität innerhalb der Population, sowohl in Bezug auf PSP Toxingehalte und Toxin-Zusammensetzung als auch in Bezug auf allelochemische Effekte auf potentielle Fraßfeinde und Konkurrenten. Der Einsatz genetischer Marker, wie Mikrosatelliten und AFLP (amplified fragment length polymorphism) zeigte eine vergleichbar hohe genetische Variabilität innerhalb der Isolate aus einer diskreten Population von *A. tamarense*. Trotz dieser übereinstimmend hohen Variabilität konnte keine klare Korrelation zwischen den Expressionsmustern der bekannten Toxine, der allelochemischen Aktivität und den von uns etablierten genetischen Markern festgestellt werden.

Cnidaria, zu denen unter anderem die Quallen gehören, bewohnen die Ozeane seit ca. 670 Millionen Jahren. Sie bilden eine Hauptfraktion des Zooplanktons in den Küstengewässern der Nordsee. Unter den Quallen gibt es besonders gefährliche Spezies, welche bei versehentlichem Kontakt dem Menschen schmerzhaft Hautverletzungen, Muskelkrämpfe und Herz-Fehlfunktionen zufügen können. Quallen ernähren sich von Fischeiern, Larven und kleinen Fischen. Sie verursachen starke Verluste der Fischpopulationen. Einige Arten werden auch von

*amplified fragment length polymorphism (AFLP), have demonstrated similarly high genetic variation among isolates from discrete populations of A. tamarense. In spite of the consistent high variation, there is no obvious correlation between the patterns of expression of known toxins, allelochemical activity and the genetic markers we have established.*

*The Cnidaria (or jellyfish and their allies) have inhabited the oceans for ca. 670 million years and represent a major zooplanktonic fraction in North Sea coastal waters. There are dangerous stingers among the jellyfish, which can cause painful dermal injuries, muscle cramps and cardiac dysfunction after contact by humans. Jellyfish prey on fish eggs, larvae and small fish thereby causing a severe impact on fish populations. Some species are also inhabited by bacterial endobionts. Basic biochemistry of the cnidarian toxins and the role of bacterial endobionts are generally unknown. Cnidaria were collected from waters of the German Bight (Helgoland), the Hebrides and the Orkney Islands (cruises HE 209 in 2003; HE 230 in 2004). Tentacles from Scyphozoa, Hydrozoa and Anthozoa were used for the isolation of venom containing capsules and the investigation of endobiotic bacteria. Although the ecological functions are not yet clear, phylogenetic identification of endobiotic microorganisms, chemical analysis of the toxins and interpretation of cellular effects are well advanced.*

*A systematic investigation of the most abundant sponges of the North Sea (Orkney and Shetland Islands), the Arctic (Spitsbergen) and the Caribbean Sea has revealed a broad spectrum of biological activities. The antibacterial, cytotoxic and enzyme-inhibitory effects of North Sea and Arctic sponges were*

bakteriellen Endobionten bewohnt. Hier fehlen bislang die biochemischen Basisinformationen sowohl über die Nessel tiergifte als auch über die Rolle der bakteriellen Endobionten. Cnidaria wurden in den Gewässern der Deutschen Bucht (Helgoland), den Hebriden und den Orkney Inseln gesammelt (Forschungsfahrten HE 209, 2003 und HE 230, 2004). Tentakeln von *Scyphozoa*, *Hydrozoa* und *Anthozoa* dienen der Isolierung der Nesselkapseln und der Untersuchung endobiontischer Bakterien. Obwohl die ökologischen Funktionen noch unklar sind, ist die phylogenetische Identifizierung der endosymbiontischen Mikroorganismen, die chemische Strukturanalyse der Toxine und die Klärung der zellulären Effekte auf gutem Wege.

Eine systematische Untersuchung der am häufigsten vorkommenden Schwämme der Nordsee (Orkney- und Shetland-Inseln), der Arktis (Spitzbergen) und der Karibik ließ ein breites Spektrum biologischer Aktivitäten erkennen, wobei die antibakteriellen, zelltoxischen und enzymhemmenden Wirkungen vergleichbar mit denen von Schwämmen wärmerer Gebiete sind. Ökologische Untersuchungen bewiesen, dass Extrakte des arktischen Schwamms *Haliclona viscosa* fraßhemmende und antimikrobielle Aktivitäten beinhalten. Die hierfür verantwortlichen Verbindungen, 3-Alkylpyridinium-Alkaloide, konnten isoliert und mittels Massenspektrometrie als neue Naturstoffe identifiziert werden. Aus dem karibischen Schwamm *Stylissa caribica* konnten insgesamt elf neue Naturstoffe isoliert und mittels spektroskopischer Methoden in ihrer Struktur aufgeklärt werden. Von besonderem Interesse sind die Stylissadine, komplexe Pyrrolimidazol-Alkaloide, deren Stereochemie über NMR-Spektroskopie ermittelt wurde. Die für

*comparable to those of specimens of warmer habitats. Chemical ecological studies showed a feeding deterrent and antimicrobial activity of the Arctic sponge *Haliclona viscosa*. The responsible compounds, 3-alkylpyridinium alkaloids, were isolated and identified as new natural products via mass spectrometry. By comparison, stereochemistry of 11 new natural products from the Caribbean sponge *Stylissa caribica*, including the stylissadines, complex pyrrole-imidazole alkaloids, were established by NMR- spectroscopy. Of special interest is that the feeding-deterrent effect of this class of compounds was associated with their activity as blockers of cellular calcium-ion channels.*

*Bromophenols are natural products that are also produced industrially as flame retardants. These compounds are found in many marine organisms, including fish, crustaceans, polychaete worms and even mammals. Bromophenols are considered to cause the 'seafood taste' in fish, although the highest natural concentrations are found in macroalgae. As suspected 'endocrine disruptors', bromophenols may disturb hormonal regulation in mammals. We have also investigated feeding deterrent properties of pyrrole alkaloids from marine sponges. Both brominated pyrrole alkaloids and phenols alter intracellular calcium signals of neuroendocrine cells (hormone-producing type PC12). Pyrrole alkaloids reduce calcium ion inward currents through voltage-operated membrane channels, whereas brominated phenols release additional calcium ions from intracellular calcium stores. We have shown the potential of these substances to act as potent chemical signals in isolated cells and chemosensory organs of sea slugs and shrimps.*

diese Verbindungsklasse bereits bekannte fraßhemmende Wirkung auf Fische konnte mit ihrer Wirkung als Calciumkanalblocker korreliert werden.

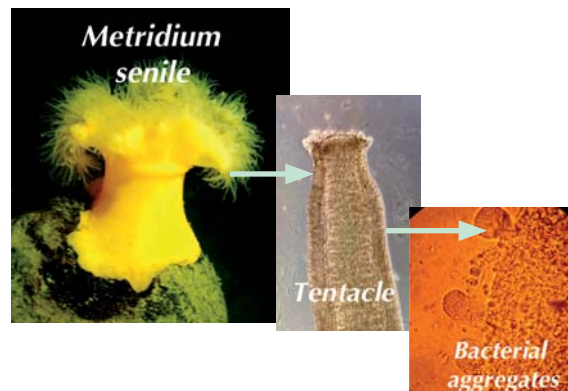
Einige Bromphenole sind Naturstoffe, werden aber auch industriell als Flammschutzstoffe hergestellt. Sie kommen in vielen Meeresorganismen wie Fischen, Krebsen, Polychaeten und auch Säugetieren vor. Diese Substanzen scheinen für den „Meeresgeschmack“ von Fischen verantwortlich zu sein und kommen zudem in höchsten Konzentrationen in Makroalgen vor. Einige Bromphenole stehen im Verdacht „endocrine disrupters“ zu sein und den Hormonhaushalt zu stören. Wir haben zudem fraßhemmende bromierte Pyrrolalkaloide aus Schwämmen untersucht. Sowohl bromierte Phenole als auch Pyrrolalkaloide verändern intrazelluläre Calciumsignale neuroendokriner Zellen (PC12). Pyrrolalkaloide reduzieren einwärts gerichtete Calcium-Ionen-Ströme durch spannungsabhängige Membrankanäle, während bromierte Phenole zusätzlich Calcium-Ionen aus intrazellulären Speichern freisetzen. Wir konnten das Potential dieser Substanzen als chemische Signalstoffe an isolierten Zellen und chemosensorischen Organen von Schnecken und Garnelen zeigen.

Die Entwicklung biodiagnostischer Verfahren ist Kernthema für die Überwachung und Risikoabschätzung von gesundheitlichen Auswirkungen der globalen Umweltverschmutzung für Meeresorganismen. Hauptziel der vergangenen zwei Jahre war die Identifikation krankhafter Veränderungen in zentralen Stoffwechsel- und Entgiftungsorganen an Plattfischen und Muscheln als Indikatororganismen (EU Initiative BEQUALM). Auf der Basis von Krankheitsmerkmalen und den damit einhergehenden genetischen und biochemischen und zellphysiologischen Antworten

*The development of diagnostic techniques based upon genetic and cellular properties, as well as biochemical and pathological markers, is a key issue for monitoring and risk assessment of global marine pollution. Our major goals of the past two years have been the identification of health effects of pollution in central metabolic organs of marine vertebrates and invertebrates using flatfish and mussels as indicator organisms (EU BEQUALM initiative). By interlinkage of pathological events during toxic injury and carcinogenesis with genetic and metabolic changes during detoxification and biotransformation processes and transport of chemical pollutants, a suite of biomarkers for integrated assessment of animal health has been implemented. We have extensively validated the so-called 'core' biomarkers in different climate zones, in addition to developing novel stress tests. Crucially, because the data products are ranked interpretation will be simple for environmental managers implementing the new EU Water Framework Directive.*

**Abb. 3:** Die Seeanemone *Metridium senile* ist in den Küstengewässern der Nordsee häufig aufzutreffen. Daneben eine vergrößerte Ansicht einer intakten Tentakel sowie eine lichtmikroskopische Aufnahme endosymbionthischer Bakterien innerhalb der Tentakel.

**Fig. 3:** The sea anemone *Metridium senile*, commonly found in coastal North Sea waters accompanied by a magnified view of an intact tentacle and a light micrograph of endosymbiotic bacteria within the tentacle



konnte eine Testbatterie von Biomarkern zur integrativen Beurteilung des Gesundheitszustandes von Meeresorganismen entwickelt werden. Die ausführlichen Studien im Rahmen des EU Projektes BEEP erlaubte die Validierung von „Core“ Biomarkern in verschiedenen Klimabereichen und die Entwicklung neuer Stressindikatoren. Künftig kann dadurch das Ausmaß der Stressantworten eingestuft und anhand von „Caging“ Experimenten kostengünstig im Rahmen von Biomonitoring Programmen gemäß der neuen EU Wasser Rahmen Richtlinien durchgeführt werden.

## CO4: Beobachtungen und Informationen für das Küstenzonenmanagement

Informationen über den Status und die zeitliche Entwicklung der Küste sowie Kenntnisse über deren anthropogene und natürliche Ursachen sind das Rückgrat eines integrierten Küstenmanagements. Ziel des Arbeitspakets CO<sub>4</sub> ist es, wissenschaftliche Informationen und geeignete Entscheidungshilfen für das Küstenmanagement bereitzustellen. Anhand unserer

## CO4: Observation and Information for Coastal Management

*Information on the status and trends in the coastal environment, including knowledge of the natural and anthropogenic causes of change, are the backbone of integrated coastal zone management (ICZM). The aim of our research programme is to provide integrated tools and scientific information for formulating options for management and utilization of the coast in a safe and sustainable manner. The major challenge and strategic objective is to improve monitoring for complex coastal environments by harnessing the synergy of very different but complementary data sets and approaches, such as time series from fixed stations, remote and in situ sensing, laboratory experimentation and model simulations. In some cases this requires developing appropriate new observation techniques. Here we highlight two aspects dealing with the development and application of*

Forschungsarbeiten können Optionen entwickelt werden, wie die Nutzung der Küsten sicher und nachhaltig gestaltet werden kann. Die kostengünstige Integration verschiedenster, komplementärer Daten beispielsweise aus der Fernerkundung, von permanenten Überwachungsstationen, aus Laborexperimenten und Modellen ist zur Zeit eine der großen Herausforderungen bei der Überwachung komplexer Küstensysteme. Die Entwicklung neuer Beobachtungstechniken und die Beurteilung des Umweltstatus sind in diesem Zusammenhang zwei besonders hervorzuhebende Aspekte des Arbeitspakets CO<sub>4</sub>.

Toxische Algenblüten sind Teil des Phytoplanktons, dessen Toxine sich in Fischen und Muscheln anreichern können. Dadurch gefährden sie Fischerei, Aquakultur und letzten Endes die menschliche Gesundheit. Weiterhin können toxische Algenblüten lokal verheerende Auswirkung auf die Meeresumwelt haben und dadurch die wirtschaftliche Nutzung oder den Freizeitwert einer Küstenregion beeinträchtigen. Aus diesen Gründen ist es notwendig, umfassende Strategien zur Überwachung und Vorhersage solcher toxischen Blüten einzuführen. Der Nachweis und die Quantifizierung toxischer Algen basierten bis vor kurzem auf mikroskopischen Untersuchungen. Sie konnten nur von Spezialisten mit guten taxonomischen Kenntnissen durchgeführt werden. Unterstützt vom EU-Projekt ALGADEC haben wir einen DNS- Biosensor für den vollautomatischen Nachweis toxischer Algen entwickelt. Mit Hilfe molekularer Sonden können wir bis zu 14 verschiedene Algenarten parallel nachweisen. Für die in drei ausgewählten europäischen Küstenregionen am häufigsten vorkommenden toxischen Algen sind artspezifische Sonden entwickelt worden. Ein Prototyp des Multi-Probe-Chips

*new plankton observation techniques and environmental assessment.*

*Harmful algal blooms (HABs) are components of the phytoplankton that are responsible for fish and shellfish toxicity, thereby causing damage to fisheries and aquaculture resources and indirectly to human health after consumption of toxic seafood. In addition, HABs can cause localized devastation to marine ecosystems affecting recreational and other uses of the coastal zone and via propagation of toxins through marine food chains. As a consequence, it is necessary to implement comprehensive strategies for monitoring and eventual prediction of these bloom events. The detection and quantification of toxic algae is traditionally based on microscopic investigations by specialized personnel and requires taxonomic know-how. With partial support of the EU-project ALGADEC, we are developing a fully automated DNA-biosensor system for the parallel detection of up to 14 species (to date) based on molecular probes. The development of species-specific probes for the most relevant toxic algae of three European regions has been completed. A prototype of a multiprobe-chip and the microfluidics-chamber, which are at the heart of the DNA-biosensor, are also now available. Parallel development of biooptical in situ sensing technology for HABs has been implemented for aquaculture sites in coastal embayments in eastern Canada and along the Mediterranean coast of Spain. We have a complete continuous time series of biooptical data related to seston distribution and plankton blooms (including periods where toxic species were present) over several months for these sites. The AWI has played a crucial role in the conception of the Science Plan for GEOHAB – the Glo-*

und eine Mikrofluidic-Hybridisierungskammer – beide wesentliche Bestandteile des DNS-Biosensors – stehen ebenfalls zur Verfügung. Parallel entwickelte in situ bio-optische Sensoren für toxische Algenblüten wurden in Buchten mit Aquakulturen entlang der ostkanadischen Küste, im Mittelmeerraum und Spanien eingesetzt. Mittlerweile liegen für diese Gebiete kontinuierliche Zeitreihen bio-optischer Parameter vor, die in Zusammenhang mit Schwebstoffen und gelegentlich auftretenden toxischen Algenblüten über mehrere Monate erhoben wurden. Das Alfred-Wegener-Institut hat wesentlich zur Konzipierung des Wissenschaftsplanes für GEOHAB (Global Oceanography and Ecology of Harmful Algal Blooms) beigetragen und sich für vergleichende Feldstudien entlang der Nordseeküste von Schottland und Norwegen engagiert.

Das Zooplankton spielt in marinen Küstensystemen eine dominierende Rolle. Es kann durch Abweiden die Entwicklung von Phytoplanktonblüten kontrollieren und ist gleichzeitig eine wichtige Nahrungsgrundlage für Fische. Um die räumliche und zeitliche Dynamik des Zooplanktons besser zu überwachen, wurde ein neuer Planktonrecorder konzipiert. Das Gerät basiert auf einer eigens dafür entwickelten Lichtquelle (Patent angefragt), die eine genaue Quantifizierung des Zooplanktons mittels Video-Technik ermöglicht. Durch die extrem hohe Schärfe der Bilder ist eine bisher unerreichte taxonomische Auflösung möglich.

Durch Kombination dieser und weiterer Beobachtungstechniken wird es zukünftig möglich sein, das pelagische Ökosystem auf verschiedenen Ebenen umfassend zu analysieren – von Licht und Nährstoffen bis hin zu Phyto- und Zooplankton. Zusammen mit den

*bal Oceanography and Ecology of Harmful Algal Blooms – and has developed technological linkages for comparative field studies on the North Sea coasts of Scotland and Norway.*

*Zooplankton have a critical function in coastal and shelf marine ecosystems by controlling phytoplankton abundance and thereby transferring biomass and energy to sustain higher trophic levels, such as fish populations. We have developed a new plankton recorder to detect zooplankton and to follow their dynamics at small temporal and spatial scales. A new light-frame design (patent applied for) enables quantification of zooplankton with video techniques. The high-resolution pictures allow unprecedented taxonomic resolution.*

*By combining these and further observation techniques, we intend to observe pelagic ecosystems on different levels, ranging from light and nutrients as forcing functions to phytoplankton and zooplankton dynamics. Integration of online data into models, in collaboration with our GKSS research partners, will ultimately allow for hindcasting, testing of alternative scenarios and ultimately short-term prediction of bloom development.*

*We have evaluated research and monitoring data to assess the current status of the Wadden Sea and trends in the framework of the Wadden Sea Quality Status Report. Major contributions include the assessment of the eutrophication status of seagrass and of the macrobenthos. In general, the Wadden Sea is developing in a positive way, however, there are important caveats. Introduced species have thus far not posed an overall threat to the Wadden Sea ecosystem. Nevertheless, vigilance is required with respect to newly introduced species, such as the Pacific oyster.*

Küstenforschern der GKSS könnten durch die Integration von on-line-Daten in Modellen kurzfristige Vorhersagen zum Beispiel von Algenblüten gemacht werden. Im Rahmen des „Quality Status Report Wadden Sea“ (Qualitätszustandsbericht des Wattenmeeres) haben wir Forschungs- und Überwachungsdaten ausgewertet. Wichtige Beiträge umfassen die Einschätzung des Eutrophierungsstatus sowie den Zustand des Seegrases und des Makrobenthos. Im Allgemeinen entwickelt sich das Wattenmeer positiv. Allerdings werden neu in das Wattenmeer eingeschleppte Arten ein wichtiges Thema für die nahe Zukunft sein.



**Abb. 4:** Linkes Bild: Bio-optische Sensoren für Phytoplankton und Gelbstoffe wurden in verschiedenen Buchten mit Muschelkulturen entlang des nordatlantischen Ozeans (Ship Harbour, Nova Scotia) und des Mittelmeeres (Alfacs Bucht, Ebro Delta) eingesetzt.

Rechtes Bild: Im Wattenmeer dominieren meistens Kieselalgen das Phytoplankton. Toxische Dinoflagellaten kommen vor, aber mit niedrigen Zellzahlen (Bild: *Dinophysis acuminata*). Eine zuverlässige und schnelle Detektion niedriger Zellzahlen mittels in situ Zytometrie und molekularer Sensoren wird ein besseres Management unserer Küstenressourcen ermöglichen.

*Fig. 4: Biooptical sensors for plankton and CDOM (colored dissolved organic material) have been deployed in several coastal embayments in the North Atlantic (Ship Harbour, Nova Scotia) and the Mediterranean (Alfacs Bay, Ebro Delta) at shellfish aquaculture sites. In the Wadden Sea, diatoms typically dominate the phytoplankton but toxic dinoflagellates (Photo right: *Dinophysis acuminata*) also occur in these waters, albeit usually in low abundance. Rapid detection of low numbers of these cells by in situ cytometric methods and molecular probes will enable a better assessment of risk to coastal resources.*