

3.5 Projektgruppen

Seit 1999 gibt es am AWI Projektgruppen, die sich jeweils aus Mitarbeitern verschiedener Fachbereiche zusammensetzen und für einige Jahre gemeinsam an einem interdisziplinären Forschungsthema arbeiten. Die Einrichtung von Projektgruppen erlaubt es dem AWI, schnell und kompetent auf aktuelle wissenschaftliche Herausforderungen zu reagieren. Zur Zeit gibt es vier Projektgruppen, die sich mit Biogeochemie („Kohlenstoffflüsse“), Tiefseeforschung („AUV-Entwicklung und Tiefseegradienten“), dem Einfluss von UV-Strahlung auf Organismen („Solare UV-Strahlung“) und Unterwasserakustik („Ozeanische Akustik“) beschäftigen.

3.5.1 Kohlenstoffflüsse

Die Projektgruppe „Kohlenstoffflüsse“ beschäftigt sich mit Prozessen im Meer, die für den globalen Kohlenstoffkreislauf und damit insbesondere für die atmosphärische CO₂-Konzentration von Bedeutung sind. Zur Beantwortung aufgeworfener Fragen werden Laborexperimente, Feldstudien und Simulationen mit Hilfe mathematischer Modelle miteinander kombiniert. Die Darstellung von drei Forschungsthemen soll einen Einblick in die Arbeit der Projektgruppe vermitteln.

TEP und C-Kreislauf

Durch die Sedimentation von Phytoplankton in den tiefen Ozean, wird partikulärer Kohlenstoff, der durch die Photosynthese des Phytoplanktons aus gelöstem Kohlenstoff gebildet wurde, in die Tiefe transportiert. Dieser Prozess ist Teil der sogenannten biologischen Kohlenstoffpumpe. Diese Pumpe verfrachtet Kohlen-

3.5 Project groups

Since 1999, interdisciplinary project groups have enabled the AWI to swiftly build expertise and scientific competence in novel and exciting fields of research. These groups are comprised of investigators from different disciplines who work together on a common theme for a period of years. Currently, there are 4 such groups including the ‘Carbon Flux Group’, the ‘Deep-Sea Research Group’, ‘UV Radiation Group’, and the ‘Underwater Acoustics Group’.

3.5.1 Carbon Fluxes

The ‘Carbon Flux Group’ focuses on marine processes that influence atmospheric CO₂ concentrations and the global carbon cycle. The dominant research themes within this framework include the role of extrapolymer particles in carbon sequestration from the atmosphere, the role of silicon isotopes as markers of particle flux and productivity, and the role of foraminiferan paleoproxies in the reconstruction of past climates and CO₂ levels.

Transparent exopolymer particles and the carbon cycle

Carbon dioxide is incorporated into phytoplankton particulate matter via photosynthesis in the surface ocean. When phytoplankton die and sink out of the surface layer the carbon stored in the phytoplankton is sequestered in the deep ocean for a period of up to 1000 years due to the long residence time of the water. Because phytoplankton photosynthesis theoretically is not limited by CO₂, increases in surface water CO₂ concentration should have no effect on phytoplankton growth or the transport of carbon to

stoff aus der Ozeanoberfläche in den tiefen Ozean, wo er aufgrund der Wasserzirkulation und -vermischung für bis zu 1000 Jahre von Austauschprozessen mit der Atmosphäre abgeschnitten ist. Da die Photosynthese gewöhnlich nicht durch Kohlenstoff limitiert wird, sollte eine Zunahme der CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre und damit im oberen Ozean nicht automatisch zu einer Verstärkung der biologischen Pumpe führen. Es gibt jedoch Hinweise, dass die Produktion von extrazellulären Zuckern durch einen Anstieg der atmosphärischen CO_2 -Konzentrationen zunimmt. Diese Zucker sind sehr kohlenstoffreich, aber arm an den Elementen Stickstoff und Phosphat, welche häufig die Photosyntheseaktivität begrenzen. Da diese kohlenstoffreichen Zucker Partikel bilden (TEP = transparente exopolymere Partikel), und da TEP als Bestandteil von Aggregaten von Mikroalgen in die Tiefe absinken, könnte auf diesem Weg zusätzlicher Kohlenstoff in die Tiefe transportiert werden. Im Labor konnte experimentell ein Anstieg der TEP-Produktion als Folge erhöhter CO_2 -Konzentrationen gezeigt werden. Im Rahmen zweier EU-geförderten Studien wurde auf einer Feldstation in Raunefjorden südlich von Bergen (Norwegen) die Reaktion natürlicher Planktongemeinschaften auf veränderte atmosphärische CO_2 -Konzentrationen in 9 Mesokosmen (= große wassergefüllte Säcke) untersucht. Während des Anwachsens der Algenpopulationen wurde in allen Ansätzen (eiszeitliche, heutige, die 2100 zu erwartende CO_2 -Konzentration) ein maßgeblicher Anteil des fixierten CO_2 entweder als gelöste Polysaccharide oder als TEP wiedergefunden. Basierend auf den Versuchsdaten wurde ein mathematisches Modell entwickelt, das u. a. eine quantitative Beschreibung der Produktion und Aggregation von TEP unter

depth. However, recent investigations indicate that increased CO_2 concentrations increase the production of extracellular carbohydrates by phytoplankton. These carbohydrates, which are poor in the nutrient elements (nitrogen and phosphorus) that commonly limit phytoplankton productivity, are sticky and coagulate to form transparent exopolymeric particles (TEP). TEP aggregates with sinking phytoplankton and is transported to the deep sea. Therefore, increased CO_2 in surface water may increase sequestration of carbon to the deep sea through increased TEP production. The impact of atmospheric CO_2 concentration on natural plankton communities was tested in 2 EU-funded mesocosm experiments in the Raunefjord in Norway. Algal growth and carbohydrate production was monitored in triplicate mesocosms amended with atmospheric CO_2 concentrations matching pre-industrial level, present level, or a level projected for the year 2100. In all the treatments, a substantial amount of the fixed CO_2 was recovered as dissolved polysaccharides or as TEP. Based on these results, a mathematical model was developed to describe the production and aggregation of TEP under different CO_2 concentrations. This model was used to explore possible global consequences of future CO_2 uptake by the oceans.

Silicon Isotopes

Diatoms play a major role in the production of both TEP and organic particles in the surface ocean. Diatoms are also an important conduit of organic carbon from the euphotic zone to the deep sea because they produce heavy opaline coverings, or frustules, which aid in the sinking of particulate organic matter. A

verschiedenen CO₂-Konzentrationen erlaubt. Dieses Modell wurde benutzt, um mögliche globale Konsequenzen für die zukünftige Aufnahme von CO₂ durch den Ozean abzuschätzen.

Stabile Silizium-Isotope

Kieselalgen (Diatomeen) spielen für die biologische Kohlenstoffpumpe eine wesentliche Rolle, da sie in sogenannten Algenblüten große Biomassen aufbauen können und ein Teil dieser Biomasse in verschiedenen Formen – als Algenaggregate, Kotballen von Zooplankton, Dauersporen – in den tiefen Ozean sinkt. Von den Kieselschalen, die die lichtdurchflutete Oberflächenschicht verlassen, wird nur ein geringer Anteil von wenigen Prozent in den Meeressedimenten archiviert, während der weit überwiegende Anteil in der Wassersäule oder am Meeresboden aufgelöst wird. Einige in der Oberfläche häufig vorkommende Arten werden gar nicht im Sediment gefunden. Wie kann nun aus dem geringen Anteil von im Sediment archivierten Kieselschalen auf die gesamte Kieselalgenproduktion in der geologischen Vergangenheit zurückgeschlossen werden?

Ein Weg führt über stabile Siliziumisotope. Die isotopische Zusammensetzung dieser Kieselschalen enthält Informationen über die Produktion von Kieselalgen im Oberflächenozean der Vergangenheit, z. B. während der letzten Eiszeit. Aus der Analyse von Sedimentproben aus verschiedenen Zeiten und Orten erhoffen wir uns daher neue Aufschlüsse über die biogeochemischen Veränderungen in Zusammenhang mit Klimaveränderungen.

proportion of the biomass accumulated in surface waters as a result of diatom blooms sinks as algal aggregates, zooplankton feces, or diatom resting spores, into the deep sea. Most of the biogenic silicate, or opal, produced by diatoms is dissolved in the water column or at the sediment surface. A small percentage of this sinking opal is archived in the sediments. Curiously, the diatom species that bloom in surface waters are typically not found in the sediment record. The question is how can we relate the abundance of the diatoms recorded in the sediments to total diatom production in the geological past? If we can do this, then we have a method of investigating productivity in the past and over geological time scales. One way is to examine the composition of silicon isotopes. The isotopic composition of this opal contains information regarding diatom production in surface waters of the past, for example during the last ice age. Based on analyses of sediment samples from different times and places we hope to further our understanding of biogeochemical changes resulting from changes in the global climate.

Foraminiferan paleoproxies

Our ability to predict future climate variability is limited by our ability to relate past climate changes to changes in the global carbon cycle. Therefore, the reconstruction of global carbon dynamics over longer time scales is an important research topic for the 'Carbon Flux Group'. To this end, the EU-funded project 'Carbonate Chemistry, Carbon Cycle and Climate Change: a multidisciplinary view' (6C) is focussed on reconstructing climate relevant changes in carbonate chemistry of the ocean. Proxies are an important part of such reconstructions. Because we

Paleoproxies in Foraminiferen

Die natürlichen Zusammenhänge zwischen Klimaänderungen und dem Kohlenstoffkreislauf sind nach wie vor ungenügend geklärt und limitieren damit die Genauigkeit der Klimavorhersagen. Aus diesem Grund ist die Rekonstruktion der Dynamik des Kohlenstoffkreislaufs auf Klima-relevante Zeitskalen ein wichtiges Forschungsthema der Projektgruppe. Zu diesem Thema hat die Projektgruppe einen Antrag bei der EU eingereicht, der im November 2002 genehmigt wurde: „Carbonate Chemistry, Carbon Cycle and Climate Change: a multidisciplinary view“ (6C). Das Ziel von 6C ist es, Klima relevante Änderungen der Karbonatchemie des Ozeans zu rekonstruieren. Für solche Rekonstruktion werden so genannte Proxies (Stellvertreterdaten) herangezogen, die zum Teil entwickelt, aber mindestens auf ihre Güte kritisch untersucht werden müssen. Proxies sind messbare Eigenschaften überlieferter geologischer Archive (z. B. geo-chemische Daten fossiler Organismen), die in einer möglichst robusten Beziehung zu nicht messbaren Umweltparametern stehen, wie zum Beispiel Temperatur oder Salzgehalt der Ozeane in der geologischen Vergangenheit. Da diese Proxy-Beziehungen nie ausschließlich durch den gewünschten Zielparameter bestimmt werden, ist die Proxy-Entwicklung ein weiteres wichtiges Forschungsthema der Gruppe. Zum Beispiel wird das Gehäuse-Gewicht einer definierten Größenklasse planktischer Foraminiferen herangezogen, um die Menge an gelöstem CO₂ des Tiefenwassers zu bestimmen (ein wichtiger Parameter um den globalen Kohlenstoffkreislauf zu charakterisieren). Die Projektgruppe hat maßgeblich dazu beigetragen, dieses Proxy zu verbessern. Ein weiteres Beispiel ist die Entwicklung eines Proxies zur Bestim-

cannot measure the temperature or salt content of past times we analyze properties, such as elemental isotope ratios in fossil organisms, that serve as substitutes for the parameters that we are interested in. Proxies have to be calibrated, i. e. the relationship between the parameter of interest (for example, temperature) and the property of the fossil (for example, its isotopic composition) has to be established. Thus proxy development is an essential part of the work. For example, the weight of planktonic foraminiferan shells found in sediments is dependent on the dissolved CO₂ in the deep ocean. The 'Carbon Flux Group' has contributed to the development and improvement of this proxy in particular. Another example is the use of the ratio of the boron isotopes ¹¹B/¹⁰B in planktonic and benthic foraminifera as a proxy for seawater pH. Some years ago we have developed an empirical relationship between pH and ¹¹B/¹⁰B in the planktonic foraminifera G. sacculifer. Because the carriers of proxies once were living organisms one has to study the influence of vital processes on the proxy relationship. The 'Carbon Flux Group' has developed a unique approach to this problem by combining laboratory experiments with living foraminifera and mathematical models. Results of the modeling demonstrate that the ¹¹B/¹⁰B ratio is a robust proxy for the reconstruction of past oceanic pH values.

3.5.2 AUV payload development and deep-sea gradients

Among the cruise participation in WARPS (Winter Arctic Polynya Study) with the RV 'Polarstern' with main focus of the deep-sea research group on processes in the deep-sea benthos under winter condi-

mung des Säuregrades (pH) im Ozean (das Verhältnis der Bor-Isotope ^{11}B zu ^{10}B). Auch dieser Parameter trägt dazu bei, die Rolle des Ozeans im globalen Kohlenstoffkreislauf besser zu verstehen. Das Bor-Isotopen-Verhältnis ($^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$) der Gehäuse planktischer und benthischer Foraminiferen ist eine Funktion des pH Wertes. Eine empirische Beziehungen zwischen pH und $^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$ für die planktische Foraminifere *G. sacculifer* wurde bereits vor einigen Jahren von uns entwickelt. Weil die Proxie-Träger aber einst lebende Organismen waren, muss der Einfluss der Lebensprozesse auf die Proxie-Beziehungen überprüft werden. Die Projektgruppe hat hierfür einen einmaligen Ansatz entwickelt, in dem Labor-Experimente und theoretische Modellierung kombiniert werden. So haben Laborversuche mit lebenden planktischen Foraminiferen und ein numerischer Modellierungs-Ansatz gezeigt, dass $^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$ ein robustes Proxie für die Rekonstruktion der pH Werte im Ozean ist.

3.5.2 AUV-Nutzlastentwicklung und Tiefseegradienten

Neben der Teilnahme an dem Winterexperiment WARPS (Winter Arctic Polynya Study) mit dem FS ‚Polarstern‘, bei dem für die Projektgruppe prozessorientierte Untersuchungen am arktischen Tiefseebenthos unter spätwinterlichen Bedingungen im Mittelpunkt standen, war die ‚Polarstern‘-Expedition ARK XIX/3 (‚Victor in the North‘) ein weiteres herausragendes Ereignis aus dem Jahr 2003. Diese, von der Projektgruppe federführend organisierte Expedition mit dem französischen Tiefsee – ROV (Remotely Operated Vehicle) ‚Victor 6000‘ an Bord ermöglichte unter anderem die Beprobung von Experimenten, die 1999 und 2001 in ausgewählten Bereichen unserer Tief-

tions the summer expedition of ARK XIX/3 (‘Victor in the North’) with ‘Polarstern’ was another outstanding event in 2003. The latter one was organised and led by the deep-sea project group. The French ROV (Remotely Operated Vehicle) ‘Victor 6000’ was for the second time after 1999 onboard and enabled us to sample experiments launched with the ROV during previous missions in 1999 and 2001 at our long-term deep-sea station (AWI Hausgarten) at 2500 m water west of Spitzbergen.

A 3000 m depth rated Autonomous Underwater Vehicle was delivered in fall 2003. This unmanned vehicle will be equipped with either new developed or modified existing sensors for various kind of operations in marine and polar reserach. Some examples are measurements of sea ice thickness and seafloor mapping with scanning and multibeam echosounders.

3.5.3 Solar UV radiation

Among the research topics, which are investigated by the project group ‘Solar UV Radiation’ are the following questions: How does stratospheric ozone depletion develop in the stratosphere and what are the effects of the increasing UV radiation at the surface of the Earth or in the Oceans? What are the consequences of increasing UV radiation for photochemical reactions of trace gases in the atmosphere and in snow and ice, with special reference to the implications for different marine organisms and the marine ecosystem?

In 2002 and 2003 the weekly ozone measurements at the polar research stations in the Arctic (Koldewey) and in Antarctica (Neumayer) have been continued according to schedule. Measurements of

see-Langzeitstation (AWI-Hausgarten) in 2500 m Wassertiefe westlich von Spitzbergen installiert wurden.

In den Berichtszeitraum fiel die Beschaffung eines Autonomen Unterwasserfahrzeugs. Für dieses, bis 3000 m tief tauchende AUV (Autonomous Underwater Vehicle) werden in Zukunft wissenschaftliche Messinstrumente entwickelt bzw. in das Fahrzeug eingepasst, um Messungen beispielsweise zur Dicke des arktischen Meereises, zur Verbreitung von Organismen am Meeresboden, oder zur Konzentration von gelösten Substanzen im Meer durchzuführen.

3.5.3 Solare UV-Strahlung

Zu den zentralen Forschungsthemen, die von der Projektgruppe ‚Solare UV-Strahlung‘ bearbeitet werden, zählen u. a. die Fragestellungen: Wie entwickelt sich der Ozonabbau in der Stratosphäre und die Zunahme der an der Erdoberfläche ankommende bzw. die in die Wassersäule der Meere eindringende UV-Strahlung? Was sind die Auswirkungen zunehmender UV-Strahlung auf photochemische Reaktionen von Spurenstoffen in der Atmosphäre und im Schnee und Eis und insbesondere was sind die Auswirkungen auf verschiedene marine Organismen und letztendlich auf Ökosysteme?

In den Jahren 2002 und 2003 wurden hierfür die wöchentlichen Ozonsondierungen an den Polarstationen in der Arktis (Koldewey) und der Antarktis (Neumayer) planmässig fortgeführt. Messungen der solaren UV-Strahlung mit dem am AWI entwickelten UV-Spektralradiometer wurden an den Polarstationen Neumayer, Dallmann und Koldewey sowie auf Helgoland durchgeführt, sodaß jetzt bereits mehrjährige Messreihen für Trendanalysen zur Verfügung stehen. Die Daten fließen in internationale Datenbanken

the solar UV radiation with the UV spectral radiometer developed at AWI have been performed at the polar stations Neumayer, Dallmann and Koldewey as well as on Helgoland. Thus, perennial measurement series are now available for trend analyses. The obtained data are also archived in international data banks (e. g. 'NDSC Network for Detection of Stratospheric Change'). At Koldewey station in Ny-Alesund continuous underwater UV measurements over several months during summer have been performed as well during the last two years, to characterize the UV exposure for the marine biosphere. During the transects ANT-XX/1 and ANT-XXI/1 of RV 'Polarstern' from Bremerhaven to Cape Town and during ANT-XX/3 (Cape Town - Bremerhaven) UV measurements with an AWI spectral radiometer, a biometer and with the dosimeter ELUV-14 have been carried out. On all these cruises ozone probes have been launched daily. The aim of these measurement campaigns were the supplementation of data records for global distribution of solar UV radiation and stratospheric ozone concentration in particular in the subtropics and tropics and the validation of satellite measurements.

Concerning technical developments in 2003 we have started with the design of a new optical ozone detector which will be able to measure other trace gases in addition to ozone. The principle of the measurements are based on a newly developed miniature spectrometer for the UV and visible spectral range which has become recently commercially available.

In laboratory experiments the molecular processes induced by UV photolysis of ozone adsorbed on ice have been investigated by FTIR spectroscopy and by quantum chemical modeling theoretically. The main

(e. g. NDSC „Network for Detection of Stratospheric Ozone“) ein. An der Koldewey-Station wurden in beiden Jahren im Sommer zusätzlich mehrmonatige kontinuierliche Messungen des Unterwasser-Strahlungsregimes durchgeführt, um die UV-Belastung für die marine Biosphäre zu charakterisieren. Auf den Meridionalschnittfahrten ANT XX/1, und ANT XXI/1 der ‚Polarstern‘ von Bremerhaven nach Kapstadt und ANT XX/3 (Kapstadt - Bremerhaven) wurden UV-Messungen mit einem AWI-Spektralradiometer, einem Biometer und dem Dosimeter ELUV-14 durchgeführt. Parallel dazu wurden täglich Ozonsonden gestartet. Ziel dieser Messkampagnen war die Ergänzung der Datensätze zur globalen Verteilung der solaren UV-Strahlung und der stratosphärischen Ozonkonzentrationen insbesondere im Bereich der Subtropen und Tropen und die Validierung von Satellitenmessungen.

Bei den technischen Entwicklungen wurde 2003 u. a. mit der Konzeption einer neuen optischen Ozonsonde begonnen, die neben der Messung von Ozonprofilen auch für weitere Spurengase geeignet ist. Das hier gewählte Messprinzip basiert auf einem neu entwickelten Miniaturspektrometer für den UV- und sichtbaren Spektralbereich, das seit kurzem kommerziell erhältlich ist.

In Laborexperimenten wurden die durch UV-Photolyse induzierten molekularen Elementarprozesse von an Eis adsorbiertem Ozon mit Hilfe der FTIR-Spektroskopie und mit Hilfe quantenchemischer Modellierung untersucht. Als Hauptendprodukt dieser Photolyse wird H_2O_2 im Eis gebildet. Zur Untersuchung einzelner durch UV-Strahlung induzierter, photochemischer Reaktionen im Schnee wurde ein weiteres Laborexperiment zur Photolyse von photochemisch aktiven Verbindungen im Schnee aufge-

process observed here is the formation of H_2O_2 in the ice. For the investigation of single photochemical reactions in snow, which are induced by UV radiation an additional experiment had to be set up. The results show that H_2O_2 as well as HCHO are efficiently decomposed in snow by UV radiation. The decay of H_2O_2 occurs much faster than the decay of HCHO. Both reactions may represent important new mechanisms, contributing to the formation of highly reactive compounds in the upper layer of snow.

The biological investigations were performed at Koldewey Station in the Arctic, at the Biologische Anstalt Helgoland in the North Sea, at the Dallmann-Laboratory in the Antarctic and in the home laboratories.

UV radiation might cause strong damage in living cells due to its high energy level. Main targets are the major cell components such as proteins and DNA as well as lipids. This leads to an impairment of the cell metabolism. Some macroalgal species showed e. g. an inhibition or a chronic reduction of the photosynthetic performance.

On the other hand, organisms have developed mechanisms to protect the cells against the negative effects of UV radiation. Excessively absorbed light is dissipated e. g. in macroalgae as harmless heat. Damage of the reaction centers of photosystem II was repaired by enzymatically controlled processes. Furthermore, marine organisms possess enzymatic and chemical instruments to detoxify reactive oxygen species (e. g. oxygen radicals) accumulated under UV-stress. Synthesis and accumulation of UV-absorbing substances, such as mycosporine-like amino acids (MAAs) in red algae, is probably one important strategy to acclimate to increased UV radiation.

baut. Sowohl H_2O_2 als auch HCHO lassen sich effektiv durch UV-Strahlung im Schnee abbauen. Dabei erfolgt der H_2O_2 -Abbau deutlich schneller als der HCHO -Abbau. Beide Reaktionen können wichtige neue Mechanismen darstellen, die zur Bildung hochreaktiver Verbindungen in den obersten Schichten des Schnees beitragen.

Die biologischen Untersuchungen wurden an der Koldewey-Station in der Arktis, an der Biologischen Anstalt Helgoland in der Nordsee und am Dallmann-Labor in der Antarktis sowie in den Heimatlaboren durchgeführt.

Aufgrund ihrer hohen Energie führt UV-Strahlung in lebenden Zellen zu starken Schäden. Die wesentlichen Bausteine der Zelle, die Proteine und die DNA, aber auch Lipide sind besonders betroffen. Dies führt zu Beeinträchtigungen verschiedener Stoffwechselleistungen. In einigen Arten von Makroalgen wurde beispielsweise die Photosynthese gehemmt oder chronisch geschädigt.

Andererseits sind Organismen jedoch in der Lage, sich vor den negativen Einflüssen ultravioletter Strahlung auf verschiedene Weise zu schützen. So wurde in Makroalgen unter exzessiven Strahlungsbedingungen absorbiertes Licht unschädlich als Wärme abgestrahlt. War das Reaktionszentrum des Photosystems II geschädigt, erfolgte eine Reparatur durch enzymatisch gesteuerte Prozesse. Darüber hinaus wiesen die untersuchten Algen ein enzymologisches und chemisches Instrumentarium zur Entgiftung von unter UV-Stress verstärkt gebildeter, reaktiver Sauerstoffspezies (z. B. Sauerstoffradikale) auf. Die Synthese und Akkumulation von UV-absorbierenden Substanzen, z. B. mykospirinähnliche Aminosäuren (MAAs) bei Rotalgen, stellt wahrscheinlich eine wichtige Anpassungs-

Species of the splash water zone and of the upper intertidal zone generally showed high MAA content, whereas species from deeper waters and understory species usually contained no MAAs at all. Species of the lower intertidal zone and of shallow waters were able to adjust their MAA content according to the radiation conditions. The accumulation of MAAs was induced by exposure to selected wavelengths in species of the intertidal zone and shallow waters. The highest MAA contents were found after exposure to full sunlight in most of the investigated species. In other species the exposure to white light or white light plus UVA radiation was most effective. Species from the mid-sublittoral of Arctic waters often showed lower MAA contents compared to species of Antarctic waters. This may be due to the generally clearer waters of the Antarctic, where UV radiation can penetrate deeper into the water column than in the Arctic.

*Seasonal changes in the sensitivity of the photosynthesis due to the formation of the above discussed protective mechanisms were demonstrated in a long-term study from late winter to autumn in macroalgae from Spitsbergen. In times when the protective mechanisms are less effective, growth and reproduction were reduced and the ultrastructure was damaged. Species from shallow waters were generally less sensitive to UV radiation compared to species from deeper waters. But this refers only to adult specimen. The unicellular reproductive stages were also very sensitive to UV radiation as e. g. shown in zygotes of *Fucus distichus* at Spitsbergen. While zygotes germinated normally when UV radiation is excluded, the germination capacity was extremely reduced under additional exposure to UVA radiation. No ger-*

strategie an erhöhte UV-Strahlung dar.

Arten aus der Spritzwasserzone und aus der oberen Gezeitenzone wiesen meist einen hohen MAA-Gehalt auf, während Tiefen- und Unterwuchsalgen meist gar keine MAAs enthielten. Arten aus der unteren Gezeitenzone und dem Flachwasser passten ihren Gehalt an MAAs dem Strahlungsangebot an. Die Akkumulation der MAAs wurde bei Gezeiten- und Flachwasseralgen durch Strahlung bestimmter Wellenlängenbereiche induziert. Bei den meisten der untersuchten Arten wurden die höchsten Gehalte nach Exposition im vollen Sonnenlicht gefunden. Bei anderen Arten führte die Bestrahlung mit Weißlicht oder mit Weißlicht und UVA-Strahlung zu einer erhöhten Akkumulation dieser Substanzen. Arten aus dem mittleren Sublitoral der Arktis hatten oft einen geringeren MAA-Gehalt als Arten aus der Antarktis. Dies wird auf das generell klarere Wasser in der Antarktis, in das UV-Strahlung tief eindringen kann, zurückgeführt.

In einer mehrmonatigen Studie auf Spitzbergen vom Spätwinter bis zum folgenden Herbst konnten jahreszeitliche Änderungen in der Empfindlichkeit der Photosynthese von Makroalgen auf die Ausbildung der obigen Schutzmechanismen zurückgeführt werden. Waren die Schutzmechanismen wenig effektiv, gingen Wachstum und Fortpflanzungsfähigkeit zurück, die Ultrastruktur wurde zerstört. Generell waren Flachwasserarten im Vergleich mit Tiefenalgen weniger stark durch UV-Strahlung beeinträchtigt. Dies gilt allerdings nur für die ausgewachsenen Algen. Die einzelligen Fortpflanzungsstadien waren auch bei Flachwasserarten sehr empfindlich gegenüber UV-Strahlung, wie z. B. an Zygoten von *Fucus distichus* auf Spitzbergen gezeigt werden konnte. Während die Zygoten unter UV-Ausschluss normal auskeimten, war



Abb.7: UV-Ausschluss-Experimente, in denen mit Hilfe von Glasfiltern oder Kunststofffolien bestimmte Wellenlängenbereiche ausgeschlossen werden können. Entweder wurde die gesamte UV-Strahlung (UVA + UVB) ausgeschlossen und die Organismen wurden nur mit Wellenlängen oberhalb von 400 nm bestrahlt, oder es wurde nur die UVB-Strahlung unterhalb von 320 nm ausgeschlossen. Die Ergebnisse wurden mit der Reaktion der Organismen im vollen Sonnenlicht verglichen.

Fig. 7: UV-exclusion-experiments including the use of glass filters or plastic foils to cut-off selected wavelengths. Either the total UV radiation (UVA and UVB) was cut-off and the organisms were exposed to wavelengths above 400 nm or the UVB radiation below 320 nm was excluded only. The results were compared with the reaction of the organisms exposed to full sunlight. (Photo: H. Lippert)

die Keimungsfähigkeit bei zusätzlicher UVA-Strahlung bereits erheblich reduziert. Wurden die Zygoten dem vollen Spektrum exponiert, keimten sie überhaupt nicht aus.

Bestrahlungsexperimente zur Untersuchung von UV-Stress an UV-transparenten Amphipoden (Flohkrebsen) wurden in beiden Polargebieten, im Dallmann-Labor in der Antarktis und vergleichend auf der Koldewey Station in Spitzbergen durchgeführt. Zum Teil führten schon geringfügige Erhöhungen der UVB-Strahlung gegenüber den natürlichen Strahlungswerten zu deutlich vermehrter Mortalität der Tiere. Schon die natürliche atmosphärische UV-Strahlung, also nur sehr wenig mehr als die Tiere bei Niedrigwasser in ihrem Lebensraum, dem küstennahen Gezeitenbereich, erfahren, führte im Experiment zu einer akuten Veränderung der Atmungsrate, gegenüber Bestrahlung ohne UVB-Anteil. Von allen untersuchten Arten erwiesen sich karnivore arktische Amphipoden als die sensitivsten gegenüber UVB-Bestrahlung. Möglicherweise fehlen bei ihnen kleine, niedermolekulare Sonnenschutzpigmente und Antioxidanzien, die herbivore Tiere mit ihrer pflanzlichen Nahrung aufnehmen.

Die bisherigen Untersuchungen lieferten wesentliche Basisdaten über die UV-Effekte auf zellulärer Ebene. In Zukunft wird sich die Projektgruppe auf die molekularen Grundlagen der Anpassung an UV-Strahlung, sowie die Effekte von UV-Strahlung auf der Ebene des Organismus und der Gemeinschaften konzentrieren, um Aussagen über die Beeinflussung von (Teil-) Ökosystemen machen zu können.

mination at all was found when exposed to the full radiation spectrum.

UV-exposure experiments were also performed to investigate the UV-stress in UV-transparent polar amphipods at the Dallmann-Laboratory in the Antarctic and at the Koldewey-Station in the Arctic. In certain cases already a minimal increase in UVB radiation in comparison with the natural radiation caused a conspicuous rise in the mortality of the animals. Already the natural atmospheric UV radiation, which is close to what the animals are exposed during very low tides in their shallow water habitat, cause an acute change of respiration rates, interpreted as metabolic stress response. Of all investigated species, carnivorous arctic amphipods were the most UVB-sensitive, presumably, because they lack some of the small molecular antioxidants as vitamins and sunscreen pigments that herbivores take up with their algal diet.

Important basic data were obtained by the studies on the cellular level described above. In future the project group will work on the molecular basis of acclimation and adaptation to UV radiation, as well as on the effects of UV radiation on organism and community level in order to obtain data on ecosystem impact.