

3.19 Sind Kaltwasserkorallen durch den Klimawandel gefährdet?

ANDRÉ FREIWALD & LYDIA BEUCK

Are cold-water corals threatened by climate change? The scientific investigation of habitat-forming cold-water corals gained impetus through the enhanced availability of state-of-the-art seabed mapping as well as visualisation technology during the past two decades. Cold-water corals are capable to construct kilometre-sized biologic seabed, structures called reefs or banks, in the aphotic zones of continental margins and on the flanks of seamounts. Recent research activities revealed the presence of live and fossil cold-water coral structures from off Mauritania as north as to the Barents Sea with a concentration of living coral habitats in the temperate sector of the north-eastern Atlantic between 50° and 71° northern latitude. Further south, almost dead coral mounds witness the existence of formerly flourishing coral life with corresponding environmental conditions. This 'jump' from the southern to the northern sector occurred at about 11.000 years at the abrupt end of the Younger Dryas cold spell. This geologically sudden migration is not merely the result of temperature changes, but also of a northern re-positioning of productive surface waters. Ongoing warming of polar seas might facilitate the migration of cold-water corals further north, but ocean acidification is regarded as potential threat to cold-water corals in the near future.

Die Erkundung unseres »inneren Universums«, den Tiefen der Ozeane, führte seit den 1980er Jahren zur Entdeckung bislang unbekannter Ökosysteme. Spektakulär sind die schwarzen Raucher der Hydrothermalquellen an mittelozeanischen Rücken. An diesen Quellen tritt bis zu 400°C heißes, mineralreiches Wasser am Meeresboden aus. An der Kontaktzone zum kalten Umgebungswasser fallen vornehmlich Sulfide sowie Salze von Mangan, Eisen, Kupfer und Zink bevorzugt aus. Speziell adaptierte Lebensgemeinschaften sind in diesem extremen Lebensraum zu finden. Obwohl wesentlich länger bekannt als die 1977 entdeckten chemosynthetischen Lebensgemeinschaften der schwarzen Raucher, offenbarte sich erst in den letzten beiden Dekaden die enorme Verbreitung von Korallenriffen in den dunklen und kalten Meereszonen durch den gezielten Einsatz modernster kartierender und bildgebender Technologien (ROBERTS et al. 2009). Mit Fächerloten ausgestattete Forschungsschiffe vermessen seitdem ausgedehnte Strukturen am Meeresboden in 250 bis 1.200 m Wassertiefe, die sich nach einer Inspektion mit bemannten Tauchbooten oder mit Hilfe von Tauchrobotern (Remotely-Operated Vehicles: ROVs) als Korallenriffe entpuppten. Um dieses Korallen-gestützte Ökosystem von den klassischen Korallenriffen der Subtropen und der Tropen zu unterscheiden, wurde der plakative Begriff »Kaltwasserkorallen« eingeführt. Diese strukturbildenden Kaltwasserkorallen formen das Rückgrat einer der artenreichsten Lebensgemeinschaften im oberen Stockwerk der Tiefsee und sind als Biodiversitäts-Hotspots anzusehen.

Vorkommen von Kaltwasserkorallen

Allgemein werden Korallen mit warmen, lichtdurchfluteten Meeren der Subtropen und der Tropen assoziiert.

Tatsächlich lebt die Hälfte der bekannten Steinkorallenarten in großen Tiefen bei niedrigeren Wassertemperaturen und vorwiegend in völliger Dunkelheit. Ihre Lebensräume sind die oberen Stockwerke der Kontinentalränder in 250 bis 1.200 m Wassertiefe (FREIWALD et al. 2004). Kontinentalränder markieren den Übergangsbereich des überfluteten Festlandssockels in die Tiefsee. In vergleichbaren Tiefen existieren Kaltwasserkorallen an den Flanken großer ozeanischer Bänke, wie auf der Porcupine-, Rockall- und Hatton-Bank, oder auf dem Chatham Rücken östlich von Neuseeland (Abb. 3.19-1). Sie besiedeln auch die steilen Wände submariner vulkanischer Seeberge. Beispiele hierfür liefern die Azoren oder die Seeberge des Mittelatlantischen Rückens. Einen besonderen Lebensraum für Kaltwasserkorallen bieten die Fjord- und Sundregionen in den hohen Breiten. Fjorde sind tiefe Rinnen, die durch die hobelnde Wirkung in Festgestein von Gletschern während der zahlreichen Eiszeiten entstanden sind. Sie schneiden sich teilweise einige 100 km weit in das gebirgige Hinterland ein. Sunde weisen eine ähnliche Genese auf. Sie besitzen, anders als Fjorde, zwei Zugänge und sind daher auf die Küstenregionen beschränkt. Diese tiefen Rinnen setzen sich oftmals kontinuierlich bis an die Kante des überfluteten Festlandssockels fort und erlauben in den Warmzeiten den Einstrom ozeanischer Wassermassen. Dadurch stellen sich in diesen Fjorden entsprechende ozeanische Lebensbedingungen ein, einschließlich ihrer typischen Lebensgemeinschaften, wie die der Kaltwasserkorallen. Anschauliche Beispiele bieten zahlreiche Fjorde Norwegens, in denen die Korallen in nur 200 bis 39 m Wassertiefe häufig anzutreffen sind (Abb. 3.19-1). Weitere Beispiele flacher Fjord- und Sundgemeinschaften finden sich in den Äußeren Hebriden vor Nordwest Schottland sowie in den Fjorden Südchiles. Diese Darstellung typischer Le-

bensräume zeigt, dass Kaltwasserkorallen im Vergleich zu den subtropisch-tropischen Warmwasserkorallen eine ungleich weitere geographische Verbreitung aufweisen (Abb. 3.19-1). Ihr Gesamtvorkommen erstreckt sich somit über mehrere Klimazonen von den subpolaren Breiten bis in die Tropen. Nur dort, wo die Kaltwasserkorallen existieren können, herrschen eigene, tiefenspezifische Konditionen vor, die unabhängig von der geographischen Breite zu betrachten sind und ihr Überleben ermöglichen.

Die in diesem Text angesprochenen Korallen zählen zu den Steinkorallen, den sogenannten Scleractinia. Die meisten besiedeln im Larvalstadium Hartsubstrate und beginnen nach der Metamorphose zum Polypen, ein aragonitisches Kalkskelett abzuscheiden. Dieses Kalkskelett schützt den Weichkörper, in welches sich der tentakelbewehrte Polyp in passgenaue Aussparungen des harten Skelettes zurückziehen kann. Die meisten tropischen Steinkorallen weisen eine Besonderheit auf, die ihnen das Überleben in den ansonsten nährstoffarmen Meeren überhaupt erst ermöglichen – eine Symbiose mit pflanzlichen Einzellern aus der Gruppe der Dinoflagellaten. Diese Endosymbionten werden bereits im frühen Lebensstadium der Korallen aus der Wassersäule aufgenommen und in das Gewebe eingelagert. Dort betreiben die Mikroalgen Photosynthese und verbrauchen lokal auf zellulärer Ebene CO_2 und stellen O_2 zur Verfügung. Die Entnahme von CO_2 steigert eine Sättigung des Kalziumkarbonatgehaltes und begünstigt

die skelettbildende Kalkabscheidung der Koralle durch Biomineralisation. Die für das Wachstum der Algen notwendigen limitierenden Nährstoffe werden durch die Stoffwechselprodukte der Wirtskorallen bereitgestellt. Assimilationsprodukte, wie Zucker, stellen im Gegenzug die Algen den Wirtskorallen zur Verfügung. Die lichtabhängigen (phototrophen) Symbionten binden diese Steinkorallen an die flache, lichtdurchflutete Zone des Meeres. Sie werden in der Fachsprache daher als zooxanthellate Korallen bezeichnet. Etwa die Hälfte der heute lebenden Steinkorallen existieren ohne phototrophe Symbionten und zählen folglich zu den azooxanthellaten Korallen, zu denen auch die Kaltwasserkorallen gehören. Unabhängig vom Faktor Sonnenlicht können diese auch große Wassertiefen besiedeln. Wichtig für die Kaltwasserkorallen ist die ausreichende Versorgung mit Nahrung bzw. mit gelösten Nährstoffen, die über Prozesse der benthopelagischen Kopplung aus den fertilen Oberflächenwassermassen in die Tiefe transferiert werden.

Habitatbildende Kaltwasserkorallen

Ein Organismus, der aufgrund seiner Lebensweise und Wuchseigenschaften in der Lage ist, binnen kurzer Zeit, den von ihm besiedelten Meeresboden in Wechselwirkung mit der belebten und unbelebten Umwelt strukturell und biologisch zu dominieren und zu formen, wird als habitatbildend bezeichnet. Von den zur

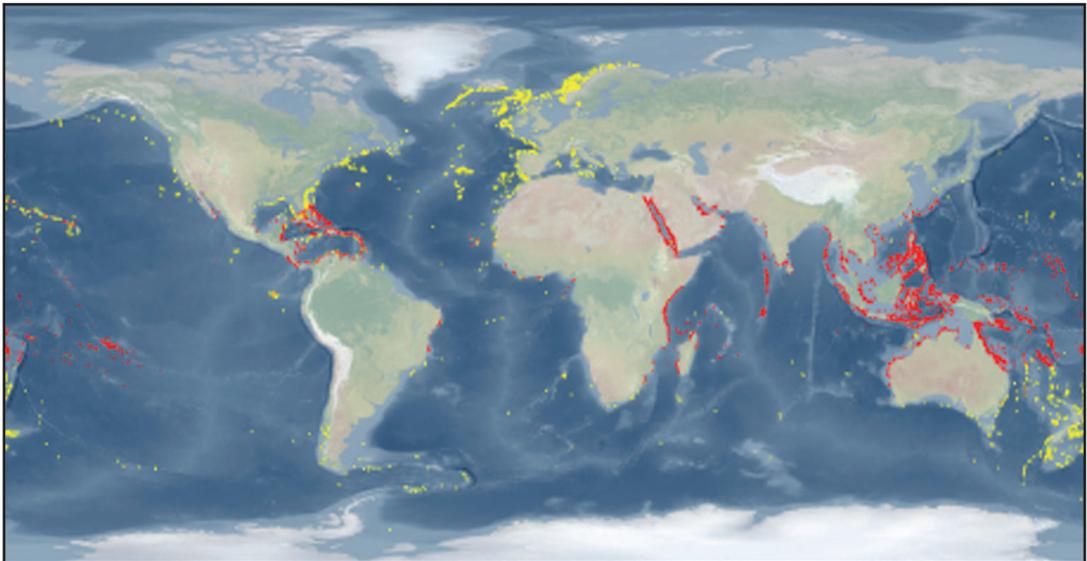


Abb. 3.19-1: Globale Verbreitung der subtropisch-tropischen Warmwasserriffe (rote Punkte) und größere Kaltwasserkorallen-Vorkommen (blaue Punkte) im Vergleich (Quelle: J. Titschack; Marum, Universität Bremen. Tropische Korallenriffdaten wurden aus Version 7.0 und Daten der Kaltwasserkorallen aus der Version 2.0 des UNEP World Conservation Monitore Centre extrahiert).

Zeit 711 bekannten Arten azooxanthellater Steinkorallen sind nur 17 als habitatbildend in den großen Tiefen der Weltmeere bekannt (CAIRNS 2007). Diese sind im Gegensatz zu den solitären Lebensformen durchweg koloniebildend. In der Tat sind selten mehr als zwei Korallenarten in einem Seegebiet signifikant am Aufbau der Riffgerüste beteiligt. Die in diesen Systemen anzutreffende hohe Artenvielfalt erstreckt sich daher in erster Linie auf die Begleitfauna, da lichtabhängige Organismen selbst in den scheinbar flachen Vorkommen norwegischer Fjorde fehlen. Wahre Kosmopoliten unter den koloniebildenden Kaltwasserkorallen sind *Lophelia pertusa* (Abb. 3.19-2A-B), *Madrepora oculata* (Abb. 3.19-2B) sowie *Solenosmilia variabilis*. Die anderen habitatbildenden Arten zeigen eine geographisch eingeschränkte, d.h. endemische Verbreitung.

Vom Korallendickicht zum Riff

Kaltwasserkorallenhabitate umfassen verschiedene Typen, die sich in ihren räumlichen Dimensionen, ihrem Entwicklungsalter und in ihrer Komplexität biologischer Interaktionen voneinander unterscheiden (ROBERTS et al. 2006). Die erste Stufe eines Kaltwasserkorallenhabitates verkörpert das Korallendickicht. Nahezu flächendeckend ist der Meeresboden von mehr oder weniger gleich großen Korallenkolonien bestanden. Im Idealzustand sind noch alle Polypen einer Kolonie am Leben und das Besiedlungssubstrat ist in der Regel noch sichtbar. Schuttbildung und eine intensive Besiedlung der Begleitfauna hat noch nicht eingesetzt. Lediglich einige wenige Spezialisten schaffen es, die natürlichen Abwehrmechanismen des Weichkörpers der Polypen zu überwinden und leben als Parasiten oder als Kommensalen mit den Korallen. Dazu zählen die bohrende Foraminifere *Hyrrokin sarcophaga* und der Polychaet *Eunice norvegica*. Mit zunehmendem Wuchs in die Wassersäule und mit zunehmendem Alter der Korallen beginnt eine Separierung von abgestorbenen Teilen der Kolonien an der Basis und aktiv wachsenden Polypen im äußeren Bereich der Kolonien. Diese Entwicklung leitet entscheidende Veränderungen für das weitere Schicksal des Korallenhabitates ein. Die abgestorbenen Kalkskelette fallen einer Vielzahl von natürlichen Abbauprozessen anheim, der wichtigste unter ihnen ist die Bioerosion. Das dichte Kalkskelett wird in einer Sukzession von Organismen zunächst von bohrenden Pilzgeflechten durchzogen und später kommen weitere sogenannte Endolithen, darunter eine Vielzahl bohrender Schwämme, hinzu (BEUCK et al. 2010). Das unterminierte Skelett wird progressiv ausgehöhlt und Teile der Kolonie brechen ab, bzw. ganze Kolonien fallen in sich zusammen. Die Schuttbildung

als ein wichtiger Prozess der Reliefbildung hat eingesetzt. Nachhaltig unterstützt wird die Sediment- und Reliefbildung jedoch durch einen weiteren Prozess. Die Lebensräume der Kaltwasserkorallen fallen mit partikelreichen bodennahen Wassermassen zusammen. In dieser Suspension befinden sich für das Wachstum der Korallen wichtige gelöste Nährstoffe und Nahrung in Form advektierter Planktonorganismen (Phyto- und Zooplankton). Das vorherrschende bodennahe Strömungsregime hält diese feinkörnigen Partikel in der Schwebe. Erst beim Auftreffen auf die Korallenkolonien wird die Strömungsgeschwindigkeit verringert, so dass die Partikel an Ort und Stelle ausfallen. Vergrößert wird diese natürliche Partikelfalle durch die Präsenz weiterer filtrierender Organismen, die sich bevorzugt an den abgestorbenen Korallengerüsten ansiedeln. Besonders hervorzuheben ist die oftmals beobachtete Ansiedlung eines dichten Bestandes feinverzweigter Foraminiferen, die diese Partikel selektiv agglutinieren. Unter optimalen Bedingungen resultieren infolge dieser geo-biologischen Interaktion enorm hohe Akkumulationsraten von bis zu sechs Metern pro 1.000 Jahre, wie sie aus datierten Sedimentkernen norwegischer Riffsequenzen abgeleitet worden sind (LÓPEZ CORREA et al. eingereicht). In geologischen Dimensionen betrachtet, ist aus dem primären Korallendickicht binnen kurzer Zeit eine lokal begrenzte dreidimensionale Struktur entstanden, die als Kaltwasserkorallenriff oder -bank bezeichnet wird. Seit dem Ende der letzten Eiszeit sind auf dem Norwegenshelf mehr als 6.000 Riffkomplexe von bis zu 35 km lateraler Erstreckung mit örtlich bis zu 35 m hohen Riffstrukturen entstanden.

Gigantische Korallenhögel als geologische Archive

Noch höhere Strukturen kennt man von weiter südlich gelegenen Kontinentalrändern, etwa vor Irland in der Porcupine Seabight sowie um die Rockall Bank. In diesem Seegebiet wurden ca. 2.000 bis zu 350 m hohe Korallenhögel (engl.: coral mounds) in 600 bis 1.000 m Wassertiefe kartiert. Diese Korallenhögel verkörpern die geologisch ältesten Strukturen der Kaltwasserkorallen. Flachseismische Vermessungen dieser Korallenhögel belegen einen in etwa zeitgleichen Beginn auf dem Niveau einer im Nordatlantik weithin bekannten Erosionsfläche. Diese Diskontinuitätsfläche ist das Resultat umfangreicher Veränderungen der Strömungsintensität und der ozeanischen Zirkulation entlang der Kontinentalränder im Nordatlantik während des Pliozäns (Zeitraum vor 5,3 bis 2,5 Mio. Jahren), die zur weitläufigen Erosion geführt hat. Im Jahre 2005 wurde erstmals einer dieser Korallenhögel in der Porcupine Seabight im

Rahmen der IODP Expedition 307 komplett durchteuft. Der 155-m-hohe Challenger Mound begann vor 2,7 Mio. Jahren zu wachsen. Seine erbohrten Sedimente zeigen wiederholte Phasen mit Korallenwachstum, gefolgt von Schichtlücken oder Phasen ohne Korallen (TITSCHACK et al. 2009). Diese Phasen lassen sich mit dem wiederholten Wechsel von Warm- und Kaltzeiten auf der Nordhemisphäre korrelieren. Im Nordatlantik sind weitere Korallenhügelprovinzen bekannt geworden. So etwa im Golf von Cádiz und im Auftriebsgebiet vor Mauretanien. Hier konnte im November 2010 mit einem deutschen Forschungsschiff die Existenz einer mehr als 400-km-langen Kette von Korallenhügeln in 400 bis 600 m Wassertiefe nachgewiesen werden. Obgleich vereinzelt lebende Riffe mit einem ROV entdeckt werden konnten, ist doch der größte Teil dieser ‚mauretanischen Mauer‘ als fossil einzustufen.

Kaltwasserkorallen und Klimawandel

Im Rahmen diverser internationaler Forschungsprojekte der Europäischen Kommission und der Deutschen Forschungsgemeinschaft zur Erforschung des ökologischen Zustandes der Kaltwasserkorallen im Nordostatlantik von Nordnorwegen bis nach Mauretanien sowie im Mittelmeer konnte die Verbreitungsgeschichte vor dem Hintergrund klimatischer und/oder ozeanographischer Umweltveränderungen rekonstruiert werden. Um zu diesen Ergebnissen zu gelangen, wurden in einer konzertierten Aktion Dutzende von Sedimentkernen analysiert und ihre Korallen mit verschiedenen Methoden der absoluten Altersbestimmung datiert (FRANK et al. 2009). Von der Gegenwart ausgehend, befindet sich das Zentrum der Kaltwasserkorallenriffbildung als Maß optimaler Lebensbedingungen im Nordostatlantik zwischen dem 50° bis 71° nördlichen

Breitengrad (Porcupine Seabight bis Nordnorwegen). Altersdatierungen belegen einen relativ plötzlichen Beginn der Besiedlung dieses nördlichen Abschnittes beginnend vor etwa 11.000 Jahren, unmittelbar nach dem Ende einer letzten bedeutenden klimatischen Abkühlung, der Jüngerer Dryas (FRANK et al. 2009). Dagegen zeigen erste Ergebnisse aus dem Sektor 35° bis 17° nördliche Breite, vom Golf von Cádiz bis Mauretanien, Korallenwachstumspulse hauptsächlich während der Glazialzeiten bzw. während der klimatischen Übergänge von einer Warm- in eine Kaltzeit. Mit dem Beginn des Holozäns sind die Korallenpopulationen weitgehend zusammengebrochen. Es scheint, dass die Änderungen der Wassertemperatur nur marginal eine Rolle im ausgeprägten Migrationsverhalten dieses bathyalen Ökosystems gespielt hat. Wir vermuten vielmehr eine Kopplung mit einer zeitgleichen Verlagerung von produktiven Oberflächenwassermassen entlang eines meridionalen Nord-Süd Gradienten. Diesen Nachweis zu führen und darüber hinaus eine Korrelation mit der Entwicklungsgeschichte der Kaltwasserkorallen im westlichen Atlantik herzustellen, ist Gegenstand aktuell laufender und geplanter Forschungsvorhaben. Wie sieht die Zukunft aus? Bei einer Erwärmung der Polregionen erscheint eine Ausweitung der Kaltwasserkorallen bis in arktische Breiten, etwa bis vor Spitzbergen, nicht unwahrscheinlich. Es sind aber gerade die polnahen Wassermassen, von denen eine weitere schleichende Veränderung ausgeht, die einem potenziellen Vordringen der Korallen entgegenstehen könnte: die zunehmende Versauerung infolge steigenden, anthropogenen CO₂-Eintrages mit ihrer Vermischung in die Ozeane (GUINOTTE et al. 2006). Das hat zur Folge, dass der pH-Wert sinkt und der Grad der Karbonatsättigung einen für die Biomineralisation und für die Erhaltung abgelagerter Kalkskelette am Meeresboden kritischen Wert

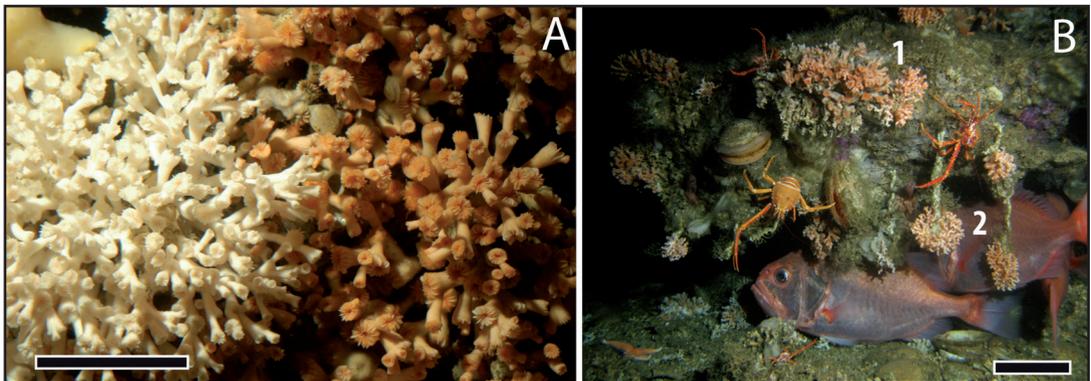


Abb. 3.19-2: Die wichtigsten koloniebildenden Kaltwasserkorallen: **A** Unterschiedliche Farbvarietäten von *Lophelia pertusa* aus dem nordnorwegischen Stjærnsund (250 m Wassertiefe, Maßstab = 10 cm, Quelle: P325 Jago Team, IFM-GEOMAR). **B** Korallenkolonien von *Lophelia pertusa* (1) und *Madrepora oculata* (2) besiedeln einen Felsen in etwa 450 m Wassertiefe vor Mauretanien (Maßstab = 10 cm, Quelle: T. Lundälv, s. Abb. 3.19-1).

unterschreitet. Dieses Phänomen einer Versauerung der Ozeane betrifft jedoch nicht nur die Kaltwasserkorallen, sondern greift in zentrale physiologische Prozesse der Primärproduktion des kalkigen Planktons ein. Derartige Änderungen des CO_2 -Gehaltes und daraus resultierende Schwankungen im Grad der Versauerung des Meerwassers hat es mehrfach in der Erdgeschichte gegeben. Neu ist jedoch die rasche Geschwindigkeit, hervorgerufen durch den anthropogenen Einfluss als Folge der Industrialisierung und Nutzung fossiler Brennstoffe. Eine pH-Wertabsenkung seit der Industrialisierung um den Faktor 0.1 ist bereits eingetreten (KLEYPAS et al. 2006). Sollte die Ozeanversauerung weiter so rasch fortschreiten, werden kalkabscheidende Organismen einem großen Anpassungsdruck ausgesetzt sein. Ende offen.

Literatur

- BEUCK L., A. FREIWALD & M. TAVIANI (2010): Spatio-temporal bioerosion patterns in deep-water scleractinians from off Santa Maria di Leuca (Apulia, Ionian Sea). *Deep-Sea-Research II* 57, 458-470.
- CAIRNS S. D. (2007): Deep-water corals: an overview with special reference to diversity and distribution of deep-water scleractinian corals. *Bull. Mar. Sci.* 81, 311-322.
- FRANK N., E. RICARD, A. LUTRINGER-PAQUET, C. VANDERLAND, C. COLIN, D. BLAMART, A. FOUBERT, D. VAN ROOIJ, J.-P. HENRIET, H. DE HAAS & T. VAN WEERING (2009): The Holocene occurrence of cold water corals in the NE Atlantic: Implications for coral carbonate mound evolution. *Marine Geology* 266, 129-142.
- FREIWALDA., J. H. FOSSÅ, A. GREHAN, T. KOSLOW & J. M. ROBERTS (2004): Cold-water coral reefs. *UNEP-WCMC Biodiversity Series* 22, 1-85.
- GUINOTTE J. M., J. ORR, S. CAIRNS, A. FREIWALD, L. MORGAN & R. GEORGE (2006): Will human-induced changes in seawater chemistry alter the distribution of deep-sea scleractinian corals? *Frontiers in Ecology and the Environment* 4, 141-146.
- KLEYPAS J. A., R. A. FEELY, V. J. FABRY, C. LANGDON, C. L. SABINE & L. L. ROBBINS (2006): Impacts of ocean acidification on coral reefs and other marine calcifiers: A Guide for Future Research, report of a workshop held 18–20 April 2005, St. Petersburg, FL, sponsored by NSF, NOAA, and the U.S. Geological Survey, 88 pp.
- LÓPEZ CORREA M., P. MONTAGNA, A. RÜGGERBERG, J. FIETZKE, B. DORSCHHEL, N. JOSEPH, S. GOLDSTEIN, A. WHEELER & A. FREIWALD (eingereicht): Preboreal onset of cold-water coral growth beyond the Polar Circle revealed by coupled radiocarbon and U-series dating. *Earth and Planetary Science Letters*.
- ROBERTS J. M., A. J. WHEELER & A. FREIWALD (2006): Reefs of the deep: the biology and geology of cold-water coral ecosystems. *Science* 312, 543-547.
- ROBERTS J. M., A. WHEELER, A. FREIWALD & S. CAIRNS (2009): Cold-water corals: The biology and geology of deep-sea coral habitats. Cambridge University Press, 334 pp.
- TITSCHACK J., M. THIERENS, B. DORSCHHEL, C. SCHULBERT, A. FREIWALD, A. KANO, C. TAKASHIMA, N. KAWAGOE, X. LIANDIODPEXEDITION 307 SCIENTIFIC PARTY (2009): Carbonate budget of a cold-water coral mound (Challenger Mound, IODP Exp. 307). *Marine Geology* 259, 36-46.

Prof. Dr. André Freiwald

Dr. Lydia Beuck

Senckenberg am Meer

Abteilung Meeresforschung

Südstrand 40 - 26382 Wilhelmshaven

Andre.Freiwald@senckenberg.de

Lydia.Beuck@senckenberg.de