

3.21 Seeberge – biologische Oasen im Meer und mögliche Auswirkungen des Klimawandels

BERND CHRISTIANSEN

Seamounts - biological oases in the ocean and possible effects of climate change: Seamounts are common topographic features in all oceans. They are often regarded as „oases in the ocean“, because many of them harbour rich benthic communities and increased abundances of pelagic organisms like fish and whales, as compared to the surrounding ocean. Climate change can affect seamount communities in various ways. Apart from the direct effects of temperature and ocean acidification, which may lead to a shift in habitat availability for certain species and local changes of biodiversity, the alteration of the hydrographic regime may cause significant changes in the seamount ecosystems. However, the diversity of seamount types and the complexity of the interaction between the topography, the flow field and the seamount communities make any forecast about the way the ecosystem will change extremely difficult.

Seeberge kommen in allen Ozeanen vor. Die meisten dieser topographischen Gebilde sind Unterwasservulkane. Ein Großteil davon ist erloschen, eine Reihe von ihnen weist aber vulkanische Aktivität in Form von Fluidaustritten oder Lavaflüssen auf. Nach der klassischen Definition ragen Seeberge mindestens 1.000 m über ihre Umgebung auf; inzwischen werden aber häufig auch kleinere Erhebungen ab 100 m Höhe als Seeberge bezeichnet, da sie vergleichbare Eigenschaften haben können.

Die genaue Anzahl von Seebergen ist nicht bekannt, weil nur ein Bruchteil des Ozeanbodens bisher mit Echolotverfahren vermessen ist. Es ist zwar möglich, mit Hilfe von Satelliten Schwerefeldanomalien des Meeresbodens großflächig zu erfassen und daraus topographische Muster zu berechnen, aber die Fehlerquellen sind groß, und je nach verwendetem Algorithmus kommt man zu sehr unterschiedlichen Zahlen. Basierend auf allen verfügbaren Quellen wird die Anzahl von Seebergen >1.000 m heute auf 45.000–350.000 geschätzt; einschließlich der kleineren kann man von mehreren Millionen ausgehen (WESSEL et al. 2010). Abb. 3.21-1 zeigt als Beispiel die Verteilung von Seebergen im Nordatlantik und stellt die aus bathymetrischen Messungen bekannten den aus Satellitendaten vorhergesagten gegenüber.

Größe und Form von Seebergen sind sehr unterschiedlich. Sie können Höhen von mehreren 1.000 Metern erreichen, und ihre Gipfel können in abyssalen und bathyalen Tiefen liegen oder auch bis in die oberflächennahen Wasserschichten reichen. Es gibt Seeberge mit konischer Form oder mit abgeplattetem Gipfel; solche mit einem ausgeprägten Gipfelplateau werden auch als Guyots bezeichnet. Seeberge weisen teilweise sehr steile Hangneigungen von bis zu 60° auf; lokal können auch vertikale Kliffs und Überhänge auftreten.

Seeberge üben einen großen Einfluss auf das Strömungsfeld aus und sind ein wichtiger Faktor in der Durchmischung der Ozeane (LAVELLE & MOHN 2010).

Als Hindernisse können sie die Strömung ablenken, sie beschleunigen oder abbremsen. Durch das Zusammenspiel zwischen Topographie, stetiger Anströmung und oszillierenden Strömungen wie Gezeiten kann es zu vielfältigen und komplexen hydrographischen Phänomenen kommen, die zum Teil auch einen weitreichenden Effekt auf den umgebenden Ozean haben. Dazu gehören z.B. asymmetrische Strömungsmuster am Berg mit erhöhten Geschwindigkeiten auf einer und verringerten auf der anderen Seite. Unter bestimmten Voraussetzungen bilden sich kreisförmige Strömungen über dem Gipfel, die an ihrer Außenseite eine aufwärts gerichtete Komponente und im Zentrum eine abwärts gerichtete haben. Tidenströme können an Seebergen um ein Mehrfaches verstärkt werden, oder es werden interne Wellen gebildet, die sich an den Hängen brechen können. Seeberge können mit ozeanischen Wirbeln, den Eddys, interagieren oder auch selber Eddys erzeugen. Die Ausprägung all dieser Effekte hängt von vielen Faktoren ab, vor allem Form, Größe und Höhe des Seebergs, Stabilität der Wasserschichtung, Geschwindigkeit und Konstanz der stetigen Anströmung, Frequenz der oszillierenden Strömung.

Schon früh vermutete man Zusammenhänge zwischen den Strömungsverhältnissen an Seebergen und deren biologischen Eigenschaften, die sich offensichtlich vom umgebenden Ozean unterscheiden. Insbesondere fand man an einigen Seebergen reiche Gemeinschaften von sessilen Filtrierern, vor allem von Schwämmen und Korallen wie Gorgonaria (Hornkorallen), Antipatharia (Dornkorallen) und Madreporaria (Steinkorallen), die den Eindruck von Seebergen als »Oasen in der Tiefsee« und als Biodiversitäts-Hotspots begründeten (RICHER DE FORGES et al. 2000). Festsitzende Filtrierer sind auf Strömung angewiesen, die ihnen die Nahrung heranführt, und erhöhte Strömungsgeschwindigkeiten könnten somit zu einer verbesserten Nahrungsversorgung für diese Tiere führen. Aber auch die Lebensgemeinschaften des freien Wassers können

scheinbar von den besonderen Bedingungen an Seebergen profitieren und dort höhere Bestände ausbilden, vom Plankton über Fische bis hin zu Walen und auch Seevögeln, wie an einigen Seebergen beobachtet wurde. Dichte Bestände von nutzbaren Fischen waren zumindest kurzfristig Basis für eine lukrative Fischerei an vielen Seebergen, brachen aber durch Überfischung in der Regel schnell zusammen.

Aus solchen Beobachtungen entstand die Vorstellung, dass Seeberge produktiver als ihre Umgebung sind, und man entwickelte verschiedene Hypothesen, worauf dies zurückzuführen ist (GENIN 2004). Dazu gehört, dass die Primärproduktion des Phytoplanktons

oberhalb der Seeberge verstärkt ist wegen der aufwärts gerichteten Strömungskomponenten, die Nährstoffe in die oberflächennahen Wasserschichten transportieren, und dass das Phytoplankton über einen längeren Zeitraum an den Seeberg gebunden bleibt, z.B. durch geschlossene Zirkulationszellen. Die verstärkte Heranführung von Nahrungspartikeln und deren längeres Verbleiben im Bereich des Seebergs durch die speziellen Strömungsverhältnisse könnte ebenfalls zu einer verbesserten Nahrungsversorgung der Seebergbewohner im Vergleich zum umgebenden Ozean führen. Eine weitere Hypothese geht davon aus, dass vertikal wandernde Organismen, die nachts über den Gipfel driften,

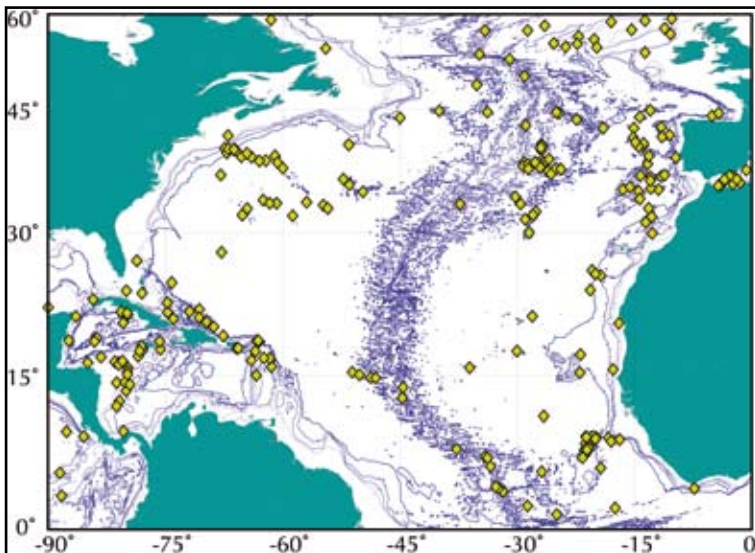
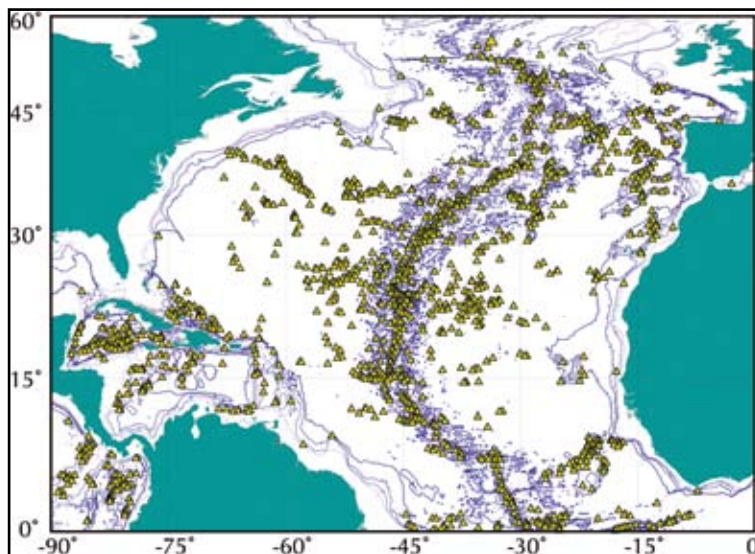


Abb. 3.21-1: Verteilung von Seebergen im Nordatlantik. **oben:** bathymetrisch vermessen (Rhomben); **unten:** aus Satellitenmessungen vorhergesagt (Dreiecke). Daten: IHO-IOC GEBCO Gazetteer of Undersea Feature Names, 2007 version, www.gebco.net; KITCHINGMAN A. & S. LAI (2004): Inferences of Potential Seamount Locations from Mid-Resolution Bathymetric Data. In: MORATO T. & D. PAULY (Hrsg.), *Seamounts: Biodiversity and Fisheries*. Fisheries Centre Research Reports. Fisheries Centre, University of British Columbia, Vancouver. 7-12



im bodennahen Bereich des Seebergs während des Abstiegs am Morgen »eingefangen« werden.

Es gibt einige Hinweise darauf, dass diese Mechanismen tatsächlich eine Rolle spielen können. So wurden in einigen Fällen etwas erhöhte Chlorophyll-Werte und Primärproduktionsraten über Seebergen gemessen. Die Möglichkeit eines längeren Verbleibens von (Nahrungs-)Partikeln über einem Seeberg konnte in Modellrechnungen und in Driftexperimenten demonstriert werden. Auch tägliche Vertikalwanderungen pelagischer Organismen von mehreren hundert Metern, die zu einer Anreicherung in Bodennähe führten, sind beobachtet worden. Allerdings sind die Daten bisher in vielen Fällen nicht eindeutig, und neuere Ergebnisse, z.B. aus dem OASIS-Projekt (CHRISTIANSEN & WOLFF 2009), haben mittlerweile zu einer differenzierteren Betrachtung des Bildes von den vermeintlich hochproduktiven Seebergen geführt. So unterschieden sich die Individuendichten des Planktons einiger Seeberge, das die Nahrungsgrundlage für die höheren Glieder im Nahrungsnetz bildet, nicht deutlich von ihrer Umgebung oder waren sogar geringer (MARTIN & CHRISTIANSEN 2009). Auch die bodennahen Fische (CHRISTIANSEN et al. 2009) und die benthischen Gemeinschaften (MCCLAINE 2007) zeichnen sich nicht immer durch besonders hohe Individuendichten aus.

Trotzdem behält die Bezeichnung »Oasen der Tiefsee« für viele Seeberge ihre Berechtigung. Besonders die vielfältigen Lebensgemeinschaften am und über dem Boden unterscheiden sie deutlich vom umgebenden Ozean. Hier spielen neben den speziellen Strömungsmustern vor allem die verschiedenen Substrattypen eine Rolle, die im Gegensatz zum überwiegend schlackigen Tiefseeboden ein weites Spektrum von feinem Sediment bis zu massivem Fels und damit eine Vielzahl von Lebensraumtypen umfassen. Darüber hinaus ist auch der weite Tiefenbereich wichtig, der von der Tiefsee bis in die lichtdurchfluteten Wasserschichten reichen kann.

Klimawandel und Seeberge

Da die Kenntnisse darüber, wie Seeberg-Ökosysteme funktionieren, immer noch begrenzt sind, können die möglichen Auswirkungen des Klimawandels nach dem bisherigen Kenntnisstand nur begrenzt beurteilt werden und müssen weitgehend spekulativ bleiben. Hinzu kommt die Verschiedenheit der Seeberge, die generelle Aussagen erschwert. Grundsätzlich lassen sich mögliche Effekte von Klimaänderungen bzw. deren Folgen auf Seeberge in vier verschiedene Kategorien unterteilen, die allerdings im Grunde genommen nicht isoliert voneinander betrachtet werden dürfen: 1. Änderungen

des hydrographischen Regimes, 2. Temperaturänderungen, 3. Versauerung des Ozeans, 4. Änderungen des Meeresspiegels. Die grundsätzliche Bedeutung dieser Faktoren wird in anderen Kapiteln dieses Buches ausführlich beschrieben; hier sollen nur einige Aspekte behandelt werden, die speziell für die Seeberg-Ökosysteme relevant sein können.

Änderungen der hydrographischen Verhältnisse

Die prognostizierten Klimaänderungen können sich in vielfältiger Hinsicht auf die physikalischen Strukturen der Wassersäule im Ozean auswirken (s. Kap. 2.1: Kienert). Großskalige Phänomene wie eine mögliche signifikante Veränderung der globalen thermohalinen Zirkulation hätten natürlich dramatische Auswirkungen auf den gesamten Ozean und damit auch auf die Seeberge. Aber auch Auswirkungen auf kleineren räumlichen Skalen, wie veränderte Schichtungs- und Durchmischungsverhältnisse durch den Wandel im Wärmebudget und eine eventuell stärkere Sturmaktivität, Verstärkung, Abschwächung und Verlagerung der vorherrschenden Strömungen, stärkere Trübung usw. dürften für die Organismengemeinschaften der Seeberge bedeutend sein. Die bisherigen Erkenntnisse zur biophysikalischen Kopplung an Seebergen deuten darauf hin, dass die Interaktion des lokalen und des großräumigen Strömungsfeldes mit der Topographie sowie die Wassermassenverteilung und die Schichtungsverhältnisse direkt oder indirekt einen wichtigen Einfluss auf die benthischen und pelagischen Lebensgemeinschaften an den Seebergen hat, insbesondere im Hinblick auf die Nahrungsversorgung und die Verbreitung der Organismen, so dass bei einer Veränderung des physikalischen Umfeldes auch gravierende Veränderungen der trophischen Strukturen, der Energieflüsse und damit der gesamten Ökosysteme zu erwarten sind. Da die Seeberge aber sehr unterschiedlich und die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Einflussfaktoren und der Biologie extrem komplex sind, erscheinen die tatsächlichen Auswirkungen auf die Seeberg-Ökosysteme bzw. deren Lebensgemeinschaften kaum vorhersehbar.

Direkte Effekte von Temperaturänderungen auf die Organismen

Eine signifikante Erhöhung der Oberflächen-Wassertemperatur kann inzwischen in vielen Meeresgebieten nachgewiesen werden. Es gibt natürlich eine Reihe von Organismen auch an Seebergen, die einen relativ weiten Temperaturtoleranzbereich haben und von einer Temperaturerhöhung kaum betroffen werden bzw. sogar profitieren. Die möglichen Auswirkungen eines erhöhten Metabolismus und verstärkter Wachstumsraten

auf das Ökosystem sind aber kaum abschätzbar.

Kritisch wird es für Tiere und Pflanzen, die entweder nur einen engen Temperaturbereich tolerieren, oder bereits an der Grenze ihres Temperaturbereiches leben, sowohl geographisch als auch bathymetrisch. Eine besondere Bedeutung haben in dieser Hinsicht Organismen, die im offenen Ozean ausschließlich oder fast ausschließlich an Seebergen und ähnlichen Strukturen vorkommen; dazu gehören vor allem die typischen Hartbodenbewohner wie Korallen und Schwämme, von denen viele auch nur in einem relativ engen Temperaturbereich leben können. In einer Studie zur Eignung von Habitaten für die Besiedlung von Korallen (*Gorgonaria*) am amerikanischen Kontinentalrand wird zum Beispiel die große Bedeutung der Temperatur verdeutlicht (BRYAN & METAXAS 2007). Denkbar ist bei einem Temperaturanstieg somit erst einmal eine Verschiebung der Grenzen geeigneter Habitate in höhere Breiten oder eine Verschiebung der oberen Vorkommensgrenzen nach unten in kühlere Wasserschichten, wobei zu berücksichtigen ist, dass viele dieser Tiere sehr langsam wachsen und möglicherweise nicht kurzfristig auf den schnellen Temperaturanstieg reagieren und Bestände an anderen Standorten ausbilden können.

Besonders problematisch könnten signifikante Temperaturänderungen für endemische Arten sein, also solchen, die nur in einem eng begrenzten Lebensraum vorkommen. So wurden an manchen Seebergen im Pazifik hohe Anteile potentieller endemischer Arten gefunden (bis zu 34%, RICHER DE FORGES et al. 2000). Wenn ihr Lebensraum aus dem Temperaturtoleranzbereich herausfällt, sterben sie gegebenenfalls aus, da sie offensichtlich in ihren Ausbreitungsfähigkeiten eingeschränkt sind und nicht in kühlere Gebiete ausweichen können.

Lokal kann der Temperaturanstieg somit zu einem Verlust von Biodiversität führen, der noch dadurch verstärkt werden kann, dass insbesondere Korallen und Schwämme häufig habitatbildend sind, d.h. ihrerseits Lebensraum für eine Reihe anderer Tiere schaffen, der damit ebenfalls entfällt. Welche weiteren Konsequenzen dies für das Nahrungsnetz und damit das gesamte Ökosystem hat, ist in ihrer ganzen Komplexität nicht abzuschätzen. Aber auch eine Erhöhung der Artenzahl ist denkbar, wenn sich wärmeliebende Arten in höhere Breiten ausbreiten.

Eine realistische Vorhersage, wie die tatsächliche Verbreitung von Arten und die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften an den Seebergen in 50 oder 100 Jahren aussieht, ist also kaum möglich, zumal neben der Temperatur noch andere, nicht nur klimabedingte, Faktoren wie Substratbeschaffenheit, die Nahrungsversorgung, Hangneigung, Strömungsgeschwindigkeit usw. für die Eignung eines Lebensraumes entscheidend sind.

Versauerung

Eine gravierende Folge des anthropogen verursachten raschen Anstiegs der CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre ist die Versauerung der Ozeane (s. Kap. 3.9: Schulz&Riebesell). Eine Reduzierung des pH-Wertes im Ozeanwasser kann zu einer Reihe von physiologischen Reaktionen bei den Meeresbewohnern führen (z.B. WIDDICOMBE & SPICER 2008). Es wird angenommen, dass von der Versauerung in besonderem Maße Organismen betroffen sind, die kalkhaltige Skelette ausbilden. Markante Mitglieder der benthischen Lebensgemeinschaften an Seebergen sind die Korallen, die dort teilweise dichte Bestände ausbilden. Da unter den Korallen die *Gorgonaria* und *Madreporaria* Kalk in ihren Skeletten einlagern, könnten diese besonders gefährdet sein. Allerdings gibt es zur Zeit noch keine gesicherten Erkenntnisse darüber, inwieweit die Versauerung sich tatsächlich auf die Skelettbildung von Korallen und anderen kalkschaligen Organismen oder auch auf die Auflösung habitatbildender, kalkiger Strukturen wie Steinkorallenriffe auswirkt. Wie mögliche Beeinträchtigungen planktischer Karbonatbildner, z.B. *Coccolithophoriden* und *Foraminiferen*, das Nahrungsnetz an Seebergen verändern können, ist unbekannt.

Aus globalen Modellszenarien zur Habitateignung für Kaltwasserkorallen unter gegenwärtigen und vom IPCC vorausgesagten CO_2 -Bedingungen kommen TITENSOR et al. (2010) zu dem Schluss, dass die Gipfelbereiche von Seebergen bei zunehmender Versauerung Rückzugsgebiete für Kaltwasserkorallen darstellen könnten, da sie grundsätzlich besser geeignete Habitate für diese Gruppen aufweisen als der umgebende Ozean, und da die Versauerung sich in den oberflächennahen Wasserschichten weniger stark auswirkt als in den größeren Tiefen. Fraglich ist allerdings, ob diese Vorhersage bei Einbeziehung der prognostizierten Temperaturerhöhung, die zunächst vor allem die Oberflächenschichten betrifft, aufrechterhalten werden kann.

Änderungen des Meeresspiegels

Die Form vieler flacher Seeberge deutet auf einen starken Einfluss von Änderungen des Meeresspiegels hin. So sind die Gipfelplateaus von Seebergen durch Erosion in Zeiten entstanden, als sie über die Meeresoberfläche hinausragten, sie also Inseln waren (STAUDIGEL & CLAGUE 2010). Auch die Erosionsterrassen vieler Seeberge zeigen, dass ihre Gipfel zeitweise über der Oberfläche lagen. In diesen Fällen spielten sowohl die Schwankungen des Meeresspiegels, z.B. auf Grund der Eis- und Warmzeiten, eine Rolle, als auch Hebungen und Senkungen der Seeberge selbst.

Die für die nahe Zukunft auf Grund des Klimawandels prognostizierte Erhöhung des Meeresspiegels

um einige Dezimeter ist natürlich viel geringer als die in geologischen Zeiträumen erfolgten Schwankungen um Hunderte von Metern und dürfte sich vorerst nicht unmittelbar auf die Seeberge auswirken. Selbst ein verstärktes Abschmelzen des Inlandeseises mit einer Erhöhung des Meeresniveaus um mehrere Meter dürfte direkt nur flache Seeberge betreffen, deren Gipfel in die vom Licht beeinflussten oberflächennahen Wasserschichten ragen. Dies sind die einzigen Gebiete im offenen Ozean, in denen benthische Algen, vor allem auch Makroalgen, wachsen können. Durch die höhere Wassersäule über dem Gipfel gelangt weniger Licht zum Boden, und dadurch könnte der Bereich eingeschränkt werden, in dem ein Wachstum benthischer Algen möglich ist, oder im Extremfall könnten diese ganz verschwinden. Es ist allerdings zu bedenken, dass das Lichtklima nicht allein von der Höhe der Wassersäule abhängt, sondern auch andere Faktoren wie die Trübung des Wassers eine Rolle spielen, die sich als Folge des Klimawandels ebenfalls verändern können. Welche Auswirkungen eine Reduktion benthischer Algen auf das restliche Ökosystem hat, ist schwer abzuschätzen, da über die Rolle der Algen und z.B. ihre Bedeutung für die Nahrungsversorgung bisher nichts bekannt ist.

Ob der Gesamtlebensraum von benthischen Algen im offenen Ozean durch die Erhöhung des Meeresspiegels eingeschränkt wird, ist unklar. Einerseits wird es an den vorhandenen Seebergen wahrscheinlich weniger geeignete Habitate geben, andererseits dürfte die Zahl der Seeberge insgesamt sich vergrößern, wenn flache Inseln dauerhaft überspült werden.

Schlussbetrachtung

Die Interaktionen von Seeberg-Ökosystemen mit dem physikalischen Umfeld sind komplex und zum großen Teil noch nicht verstanden. Signifikante Änderungen in den hydrographischen Verhältnissen durch den Klimawandel dürften aber gravierende Folgen für die Organismengemeinschaften haben, wobei die genauen Auswirkungen an den verschiedenartigen Seebergen sehr unterschiedlich ausfallen dürften und kaum abschätzbar sind. Die direkten Effekte von Temperaturänderungen und der Ozeanversauerung können zu einer Verschiebung von Lebensräumen und lokal zu einer Reduzierung der Biodiversität führen, die u.U. durch den Ausfall habitatbildender Organismen wie Korallen und die Zerstörung biogener Lebensräume verstärkt werden kann.

Literatur

- BRYAN T.L. & A. METAXAS (2007): Predicting suitable habitat for deep-water gorgonian corals on the Atlantic and Pacific Continental Margins of North America. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 330, 113-126.
- CHRISTIANSEN B., B. MARTIN & S. HIRCH (2009): The benthopelagic fish fauna of Seine Seamount, NE Atlantic: Composition, population structure and diets. *Deep-Sea Res. II* 56, 2705-2712.
- CHRISTIANSEN B. & G. WOLFF (2009): The oceanography, biogeochemistry and ecology of two NE Atlantic seamounts: the OASIS project. *Deep-Sea Res. II* 56, 2579-2581.
- GENIN A. (2004): Bio-physical coupling in the formation of zooplankton and fish aggregations over abrupt topographies. *J. Mar. Syst.* 50, 3-20.
- LAVELLE, J.W. & C. MOHN (2010): Motion, Commotion, and Biophysical Connections at Deep Ocean Seamounts. *Oceanography* 23, 90-103.
- MARTIN B. & B. CHRISTIANSEN (2009): Distribution of zooplankton biomass at three seamounts in the NE Atlantic. *Deep-Sea Res. II* 56, 2671-2682.
- MCCLAIN, C.R. (2007): Seamounts: identity crisis or split personality? *Journal of Biogeography* 34, 2001-2008.
- RICHER DE FORGES B., J.A. KOSLOW & G.C.B. POORE (2000): Diversity and endemism of the benthic seamount fauna in the southwest Pacific. *Nature* 405, 944-947.
- STAUDIGEL H. & D.A. CLAGUE (2010): The geological history of deep-sea volcanoes. *Oceanography* 23, 58-71.
- TITENSOR D.P., A.R. BACO, J.M. HALL-SPENCER, J.C. ORR & A.D. ROGERS (2010): Seamounts as refugia from ocean acidification for cold-water stony corals. *Marine Ecology* 31, 212-225.
- WESSEL P., D.T. SANDWELL & S.-S. KIM (2010): The Global Seamount Census. *Oceanography* 23, 24-33
- WIDDICOMBE S. & J.I. SPICER (2008): Predicting the impact of ocean acidification on benthic biodiversity: What can animal physiology tell us? *J. exp. mar. Biol. Ecol.* 366, 187-197.

*Dr. Bernd Christiansen
Universität Hamburg
Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft
Große Elbstraße 133 - 22767 Hamburg
bchristiansen@uni-hamburg.de*