

4.2 Sind Seeberge bedrohte Biodiversität-Hotspots?

BERND CHRISTIANSEN

Sind Seeberge bedrohte Biodiversität-Hotspots? Seeberge sind im Weltozean weit verbreitet. Sie wurden häufig als Orte hoher Produktivität und Biodiversität mit einer großen Anzahl endemischer Arten angesehen. Neuere Untersuchungen stellen diese Verallgemeinerungen in Frage und betonen die Vielfalt von Seebergetypen und ihrer Umgebungen, die zu sehr unterschiedlichen ökologischen Ausprägungen führen können. So mögen einige Seeberge wirklich Biodiversitäts-Hotspots sein, während andere sich im Artenreichtum kaum von der Umgebung unterscheiden. Unabhängig davon, ob ihre Biodiversität erhöht ist oder nicht, sind Arten und Lebensgemeinschaften an Seebergen durch verschiedene menschliche Aktivitäten gefährdet, und wegen des geringen Regenerationspotentials der Seeberg- und Tiefseefauna ist eine Wiederherstellung nach einer Störung, wenn überhaupt, nur in langen Zeiträumen möglich. Zur Zeit stellt die industrielle Fischerei die Hauptbedrohung für Seebergökosysteme dar. Die Bodenschleppnetzfisherei beeinträchtigt nicht nur die Zielarten, sondern bedroht durch hohe Beifanganteile und die Zerstörung von Korallen- und Schwammgemeinschaften und deren assoziierter Fauna große Teile des Ökosystems. In ähnlicher Weise würde ein zukünftiger Abbau von Ferromangankrusten zu einer großflächigen Zerstörung von Lebensgemeinschaften und Habitaten führen. Durch den Klimawandel erhöhte Temperaturen können zu einer Ausbreitung von warmwasserliebenden Arten und einer Verdrängung kälteliebender Arten in höhere Breiten oder tiefere Wasserschichten führen. Die Versauerung des Ozeans auf Grund des erhöhten CO₂-Gehaltes in der Atmosphäre könnte besonders Korallen mit ihren kalkhaltigen Skeletten betreffen und zu substantiellen Veränderungen in den benthischen Lebensgemeinschaften an Seebergen führen. Eine Ausweitung von Sauerstoffminimumzonen würde sowohl pelagische als auch pelagische Gemeinschaften treffen. Potentielle Folgen von Änderungen in den ozeanischen Zirkulationssystemen sind zur Zeit nicht vorhersagbar.

Are seamounts threatened biodiversity hotspots? Seamounts are ubiquitous features in the world oceans. They have commonly been regarded as locations of enhanced productivity and biodiversity and thought to support high levels of endemism. Recent studies question these generalizations and stress the high diversity of seamount types and environmental settings, which may result in very different ecological features. In this respect, some seamounts may be »hotspots of biodiversity«, whereas others do not differ in species richness from their surrounding. Regardless of whether their biodiversity is enhanced or not, seamount species and communities are affected by several human activities and, due to the low resilience and regeneration potential of seamount and deep-sea fauna, a recovery from disturbances is highly unlikely or will take a very long time. Currently the industrial fishery is the main threat to seamount ecosystems, with bottom trawls removing not only target species, but also high amounts of bycatch and destroying coral and sponge communities and their associated fauna. Similarly, a possible future mining for ferromanganese crusts at seamounts will result in large-scale destruction of communities and habitats. The impact of climate change on seamount communities may include an expansion of warm-water species and the displacement of cold water species to higher latitudes or deeper layers in a warming ocean. Ocean acidification due to rising CO₂ levels may particularly affect corals with calcified skeletons and result in substantial changes of the benthic communities at seamounts. Both, pelagic and benthic communities, may be impacted by the expansion of oxygen minimum zones in the tropical oceans. Potential effects of changes in the ocean circulation system can currently not be predicted.

Wie an Land, so ist auch der Meeresboden aller Ozeane mit Hügeln, einzelnen Bergen und Berggrücken durchsetzt. Nach klassischer Definition bezeichnet man solche Erhebungen als Seeberge, die mindestens 1.000 m über den umgebenden Ozeanboden aufragen. Heute werden aber häufig auch kleinere topographische Gebilde mit Mindesthöhen von 100 m einbezogen (STAUDIGEL & CLAGUE 2010).

Infolge der Größe der Ozeane ist bisher nur ein geringer Teil aller Seeberge bathymetrisch vermessen. Die Berechnung von Schwerefeldanomalien aus Satellitendaten führt jedoch zu Schätzungen von mehr als 100.000 großen Seebergen (>1.000 m Höhe) beziehungsweise rund 25 Millionen Erhebungen mit mehr als 100 m Höhe (WESSEL et al. 2010). Die meisten Seeberge sind auf der Erdkruste entstandene Unterwasservulkane mit eigener zentraler Magmazuführung (STAUDIGEL & CLAGUE 2010). Die Mehrzahl davon ist erloschen, aber es gibt auch solche mit hydrothermaler oder magmatischer Aktivität. Form und Größe der un-

termeerischen Berge können sehr unterschiedlich sein. Neben den typischen konischen Seebergen mit mehr oder weniger steilen Hängen und kegelförmiger Spitze und den Tafelbergen (»Guyots«) mit einem durch Erosion abgeflachten Gipfelplateau gibt es auch eine Vielzahl anderer, irregulärer Formen. Einige Seeberge erreichen Höhen von mehreren 1.000 Metern; zum Teil ragen sie so weit in die oberflächennahen Wasserschichten hinein, dass auf ihren Gipfeln das Wachstum von Makroalgen möglich ist.

Seeberge weisen einige besondere Eigenschaften auf, die sie vom Meeresboden und der Wassersäule des umgebenden tiefen Ozeans unterscheiden, und die ihre Ökologie und Biodiversität stark beeinflussen können (siehe auch ROGERS 1994). Hohe Seeberge decken ein weites Tiefenspektrum ab und bieten somit auf begrenztem Raum nicht nur pelagische, sondern auch benthische Lebensräume in mehreren Tiefenzonen. Diese benthischen Lebensräume können eine Vielfalt an Substraten aufweisen, die in Abhängigkeit von

Hangneigung und Strömung von feinem und grobem Sediment über Kiesel und Geröll bis zu anstehendem Fels reichen (Abb. 4.2-1A-E). Im Gegensatz dazu finden wir auf den wenig strukturierten Tiefseeebenen in der Regel nur sehr feines Substrat vor (Abb. 4.2-1F).

Wichtig für die Struktur der pelagischen Lebensräume sowie für die Verbindungen zwischen benthischen und pelagischen Lebensräumen ist auch die hydrodynamische Wechselwirkung zwischen der Seebergtopographie und dem Strömungsregime des umgebenden Ozeans, die zu verschiedenartigen, komplexen Phänomenen führen kann (LAVELLE & MOHN 2010). Lokaler Auftrieb kann zum Beispiel Nährstoffe in die euphotische Zone transportieren. Ringförmige Strömungen um den Berg (z.B. Taylor-Säulen), resonante Verstärkung der Gezeitenströmung, topographisch geführte (interne) Wellen und asymmetrische Strömungsmuster können direkt die Verteilung von (Nahrungs-)Partikeln und Plankton beeinflussen und zum Beispiel dazu führen, dass vorbeidriftende Partikel und Plankton eingefangen (»trapping«), in geschlossenen Zirkulationszellen zurückgehalten (»retention«), oder auch in den umliegenden Ozean exportiert werden.

Seeberge als »Hotspots« für Artenvielfalt und Endemismus

Im ursprünglichen Sinne werden solche Gebiete als Biodiversitäts-Hotspots bezeichnet, in denen eine besonders hohe Zahl endemischer Arten vorkommt, die durch menschliche Aktivitäten, zum Beispiel Habitatzerstörung, stark ge-

fährdet sind. In der Seeberg-Literatur wird der Begriff auch allgemeiner im Sinne von umgrenzten Gebieten mit erhöhter Biodiversität im Vergleich zur Umgebung verwendet, wobei unter Biodiversität meistens Artenreichtum verstanden wird. Die folgenden Ausführungen beziehen sich deshalb ebenfalls vor allem auf die Biodiversität als Vielfalt von Arten, wobei diese immer auch in einem ökologischen Kontext zu sehen ist.

Ausgehend von ihren physikalischen Eigenschaften und gestützt von einer begrenzten Zahl an Beobachtungen, hat man den Seebergen bereits früh auch biologische Besonderheiten zugeschrieben, zum Beispiel:

- Seeberge sind Oasen im tiefen Ozean, mit erhöhter Produktivität und hohen Organismenbeständen,
- Seeberge sind Orte mit besonders hohem Artenreichtum
- die Isolierung der Seebergökosysteme führt zur Speziation und damit zu einer hohen Zahl endemischer Arten,
- Seeberge sind Trittsteine für die Verbreitung von Arten über Ozeandistanzen,

Diese Vorstellungen haben bis zum Ende des 20. Jahrhunderts das Bild von Seebergen maßgeblich geprägt. Neuere Untersuchungen haben in den letzten Jahren jedoch zu der Erkenntnis geführt, dass die oben genannten Eigenschaften sicher nicht universell gültig sind, sondern dass man Seeberge wegen der großen Vielfalt ihrer Ausprägungsformen und ihrer Umweltbedingungen wesentlich differenzierter betrachten muss. Es stellte sich auch heraus, dass viele der Vorstellungen von

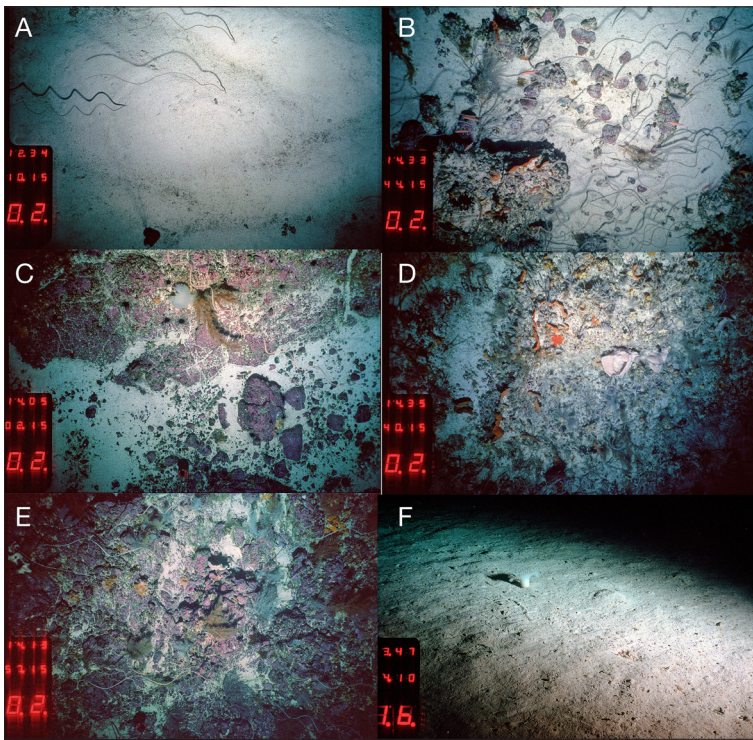


Abb. 4.2-1: Beispiele für Substrate an Seebergen (A-E) und in der Tiefseeebene (F). A Sediment mit wenigen Peitschenkorallen; B Sediment mit einzelnen Steinen: Peitschenkorallen, Hornkorallen; C Fels, Steine, Sediment: Hornkorallen, Seeigel, Tunicaten; D Fels mit wenig Sediment: Schwämme; E Fels: Hornkorallen, Peitschenkorallen, Schwämme; F Tiefseesediment mit Seeanemone und Lebensspuren (Fotos: B. Christiansen).

»typischen Seebergeigenschaften« auf einer unzureichenden Datenbasis beruhen. Eine Einschätzung von Paradigmen in der Seebergforschung geben ROWDEN et al. (2010a).

Produktivität an Seebergen

Vor allem die Beobachtung reicher Fischvorkommen, insbesondere auch kommerziell nutzbarer Arten, führte bereits früh zu der Auffassung, dass Seebergökosysteme besonders produktiv sind (»Oasen der Tiefsee«). In einer der ersten Arbeiten über Seeberge berichtete schon HUBBS (1959) über große Fänge an Thunfischen über einem Seeberg im zentralen Ostpazifik und erwartete, dass Seeberge generell ein großes Potential für die kommerzielle Fischerei haben. Inzwischen gibt es viele Hinweise auf Seeberge als Anziehungspunkt nicht nur für manche große Fischarten, sondern auch für Wale, Schildkröten und sogar Seevögel. Auch der Fund von dichten Beständen an sessilen Filtrierern, insbesondere Kaltwasserkorallen und Schwämmen, bestärkte die Vermutung, dass Seeberge sehr produktiv sind. So fanden zum Beispiel ROWDEN et al. (2010b) in einer der wenigen quantitativen Arbeiten über das Benthos an Seebergen eine viermal höhere Biomasse epibenthischer Megafauna, zum größten Teil sessiler Filtrierer, an einer Reihe pazifischer Seeberge im Vergleich zum angrenzenden Kontinentalhang. Die Autoren schränkten aber ein, dass dieser Befund nicht unbedingt auf andere Seeberge übertragbar ist.

In der Frage, ob Seebergökosysteme produktiver als ihre Umgebung sind, wird oft von Beständen auf Produktivität geschlossen. Aber ein Großteil der Seebergfauna, wie auch der der übrigen Tiefsee, zeichnet sich gerade durch extrem langsames Wachstum und hohe Lebensdauer sowie geringe Fortpflanzungsraten und späte Geschlechtsreife aus, weist also prinzipiell eine geringe Produktivität auf. Beispiele sind Korallen, Schwämme und andere Invertebraten, aber auch die meisten Tiefseefische. Diese Lebensgemeinschaften können somit auch bei hohen Beständen relativ unproduktiv sein. Untersuchungen, die an Seebergen tatsächlich auf die Produktivität zielen und die Energieflüsse durch das Ökosystem quantifizieren, existieren praktisch nicht.

Die hohe Dichte von pelagischer Megafauna (z.B. Tunfische, Haie, Wale) und Megabenthos (z.B. Schwämme, Korallen) an Seebergen wird häufig auf ein besonders gutes Nahrungsaufkommen zurückgeführt. Zu den Gründen gibt es verschiedene Hypothesen. Lokal induzierter Auftrieb könnte Nährstoffe in die euphotische Zone transportieren und dort zu einer verstärkten Primärproduktion im Vergleich zum umgebenden Ozean führen. Zwar gibt es einige wenige Beobachtungen von erhöhter Chlorophyllkonzentration oder Primärpro-

duktion über Seebergen (z.B. OLIVEIRA et al. 2016), es ist aber unwahrscheinlich, dass die Verweildauer von Plankton über dem Berg ausreicht, um die Energie durch das Nahrungsnetz zu höheren trophischen Ebenen zu transferieren und dort größere Bestände zu unterstützen (siehe DENDA & CHRISTIANSEN 2014). Wahrscheinlicher ist, dass die Seebergfauna vor allem auf Nahrung angewiesen ist, die von außen zugeführt wird (z.B. HIRCH & CHRISTIANSEN 2010). Möglicherweise werden durch die hohen Strömungsgeschwindigkeiten an Seebergen verstärkt Nahrungspartikel aus dem umgebenden Ozean herangeführt. Dies könnte vor allem die großen Bestände und die Dominanz von sessilen Filtrierern erklären, die auf eine solche Advektion von Nahrung angewiesen sind. An Seebergen, die in die mesopelagische Zone ragen, könnten benthopelagische Räuber von vertikal wandernden mesopelagischen Organismen profitieren, die nachts über den Seeberg driften und morgens beim Abstieg in tiefere Wasserschichten in Bodennähe geraten (topographic blockage). Für die Aggregationen von pelagischer Megafauna sind auch andere Gründe denkbar, zum Beispiel dass sie Seeberge als Sammelpunkte zum Laichen oder als Orientierungspunkte auf ihrer Wanderung nutzen.

Artenreichtum an Seebergen

Die Annahme, dass Seebergökosysteme besonders artenreich sind, basiert einerseits auf der Beobachtung von anscheinend reichen Benthos- und Fischgemeinschaften im Vergleich zu den umgebenden Tiefseeebenen, und kann andererseits auf die Schlussfolgerung zurückgeführt werden, dass sowohl eine starke Habitat-Heterogenität als auch ein hoher Energieeintrag die Artenvielfalt fördern. Wie oben dargestellt, weisen viele Seeberge tatsächlich im Vergleich zu den sehr einformig erscheinenden Sedimenten der Tiefseeebenen eine große Vielfalt an Substraten und Tiefenzonen auf, die gegebenenfalls ökologische Nischen für eine Vielzahl benthischer Arten bieten können; somit ist eine hohe β -Diversität an solchen Seebergen zu erwarten. Auch das Vorhandensein von dichter Korallen- und Schwammbedeckung, die ihrerseits Habitat für eine assoziierte Fauna bilden, könnte die Artenvielfalt an Seebergen erhöhen. Ein Zusammenhang zwischen hoher Produktivität (Energieeintrag) und Diversität an Seebergen, der zu einer erhöhten α -Diversität im Vergleich zu ähnlichen Habitaten führen könnte, erscheint bei der Unsicherheit über die tatsächliche Produktivität von Seebergökosystemen weniger klar.

Ein grundsätzliches Problem in der Beurteilung der Biodiversität an Seebergen besteht darin, dass insgesamt nur sehr wenige von ihnen biologisch untersucht sind und in den meisten Fällen Vergleichsstudien mit der Umgebung oder ähnlichen Habitaten fehlen, zum Bei-

spiel dem Kontinentalhang. Hinzu kommt, dass sich ein großer Anteil der Studien auf die oberen Bereiche hoher Seeberge und auf einzelne taxonomische Gruppen beschränkte, meistens Megabenthos oder Fische, und deswegen in vielen Fällen Aussagen über den Artenreichtum von Seebergssystemen, aber auch über die Vielfalt von Ökosystemkomponenten und ihre Verknüpfungen kaum möglich sind. Relativ gesichert ist die Erkenntnis, dass Seeberge, die in oberflächennahe Wasserschichten ragen, ozeanische Räuber anziehen, darunter Tunfische, Haie und Wale, deren Diversität dort auf kleinem Raum deutlich höher ist als auf entsprechenden Skalen im offenen Ozean. Gestützt auf Langleinenaufnahmen, bezeichneten MORATO et al. (2010) Seeberge deshalb als »Hotspots für pelagische Biodiversität«. Dies ist jedoch nicht direkt auf die unteren trophischen Ebenen im Pelagial übertragbar. So scheint sich das holoplanktonische Zooplankton an Seebergen nicht generell vom umgebenden Ozean zu unterscheiden (z.B. DENDA et al. 2016). Es gibt aber Hinweise darauf, dass das Zooplankton an Seebergen durch Larvenstadien benthischer Arten bereichert wird und man manche Seeberge somit als »Hotspots« für meroplanktonische Larven benthischer Invertebraten bezeichnen kann (DENDA et al. 2016, MULLINEAUX & MILLS 1997).

Vergleichsstudien zwischen den benthischen Lebensgemeinschaften an Seebergen und benachbarten Kontinentalhängen zeigen kein eindeutiges Bild und sind nur eingeschränkt aussagekräftig, weil sie sich auf einzelne Taxa beschränken und auch die für den Vergleich gewählte Skala eine Rolle spielt. In einer Studie über die Crustaceenfamilie Galatheidae fanden SAMADI et al. (2006) zwar grundsätzlich die gleichen Arten wie am benachbarten Kontinentalhang, die Artenzahl an einzelnen Seebergen und damit in einem eng begrenzten Gebiet war aber sehr hoch. Deshalb stuften sie Seeberge als »Biodiversitäts-Hotspots« ein. Andere Arbeiten deuten dagegen darauf hin, dass die Artenvielfalt bestimmter taxonomischer Gruppen an Seebergen ähnlich oder sogar geringer als am Kontinentalhang ist (z.B. HOWELL et al. 2010).

Endemismus an Seebergen

Seeberge wurden häufig mit Inseln verglichen, die wegen ihrer geografischen Isolierung eine hohe Speziation erfahren und darum besonders viele endemische Arten aufweisen, also solche, die nur in einem begrenzten Gebiet vorkommen. Die Annahme war, dass die Ausbreitung von Arten zwischen Seebergen durch den dazwischen liegenden tiefen Ozean, aber auch durch rezirkulierende Strömungsmuster behindert ist. In einer der ersten Studien über die Gesamtheit der benthischen Makro- und Megafauna fanden RICHER DE FORGES et al. (2000) an 24 Seebergen in der Tasman und Coral Sea (Pazifischer Ozean) einen Anteil von rund einem Drittel bisher unbeschriebener Arten, die sie deshalb

als potentielle Endemismen einstufen. Auch wurde eine geringe Übereinstimmung in der Zusammensetzung der Artengemeinschaften zwischen Seebergen verschiedener Regionen festgestellt und daraus auf einen relativ geringen Austausch zwischen den Gebieten geschlossen. Neuere Arbeiten zur Konnektivität fanden aber eine erstaunlich hohe genetische Übereinstimmung vieler Taxa zwischen verschiedenen Seebergen; allerdings unterschied sich häufig auch die Zusammensetzung der Seeberggemeinschaften voneinander (z.B. SAMADI et al. 2006). Möglicherweise spielt dabei weniger die Isolierung der Seeberge eine Rolle als die tatsächliche Ausprägung und Verteilung der Habitate, die letztendlich die Artenzusammensetzung bestimmen. Die Einschätzung, dass Seeberge Orte mit besonders vielen endemischen Arten sind, konnte durch neuere Arbeiten ebenfalls nicht bestätigt werden. Sie beruht wahrscheinlich auf einer viel zu geringen Probandendichte und der damit verbundenen mangelnden Kenntnis über die Verbreitung der meisten Arten in der Tiefsee, die zuverlässige Aussagen über Endemismen in diesem Lebensraum generell kaum zulässt (MCCLAIN 2007).

Seeberge als Trittsteine

Bereits HUBBS (1959) warf die Frage auf, ob Seeberge zur Ausbreitung von Arten über ozeanische Distanzen beitragen können. Während Speziation und Endemismus eine substantielle Isolation voraussetzen, basiert die Hypothese von Seebergen als »Trittsteinen« für die Ausbreitung von Arten auf dem Gegenteil, nämlich der faunistischen Verbindung zwischen den Seebergen, zum Beispiel durch Strömungen, mit deren Hilfe Larven passiv verdriftet werden; aber auch für aktive Schwimmer könnten sich die Distanzen zwischen geeigneten Habitaten durch »Zwischenstopps« an Seebergen verkürzen. Es gibt einige Hinweise darauf, dass diese Mechanismen tatsächlich eine Rolle spielen. So kamen zum Beispiel WILSON & KAUFMANN (1987) in einer Analyse von biogeographischen Daten von Invertebraten und Fischen zu dem Schluss, dass Seeberge sowohl im Atlantik als auch im Pazifik eine Funktion als Trittsteine haben. Insbesondere die Gipfel- und oberen Hangregionen hatten viele gemeinsame Arten mit den Hang- und Schelfregionen derselben Provinz, während die tiefer lebenden Arten zum großen Teil kosmopolitisch waren. Auch die Ähnlichkeit der benthopelagischen Fischfauna an vielen flachen Seebergen des Nordostatlantiks stützt die Trittstein-Hypothese (CHRISTIANSEN et al. 2014, VIEIRA et al. 2016).

Bedrohung der Biodiversität von Seebergen durch anthropogene Einflüsse

Unabhängig davon, ob Seeberge tatsächlich Hotspots für die Artenvielfalt sind, gibt es eine Reihe von

menschlichen Aktivitäten, die einzelne Arten und Artengemeinschaften beeinträchtigen können, und die zumindest lokal, unter Umständen aber auch auf größeren geografischen Skalen, zu einem Verlust an Biodiversität, zur Veränderung der Zusammensetzung von Lebensgemeinschaften und zu einem veränderten Ökosystem führen können.

Fischerei

Historisch und bis in die heutige Zeit hineinreichend geht die größte Bedrohung für Seebergökosysteme von der Fischerei aus. Die handwerkliche Fischerei mit Angeln und Langleinen von kleinen Booten aus hat an Seebergen in relativ geringer Entfernung von den Küstengewässern wahrscheinlich eine lange Tradition. Erst als die Fangerträge in den Schelfmeeren wegen der Überfischung geringer und seit den 1960er Jahren reiche Fischvorkommen an küstenfernen Seebergen entdeckt wurden, begannen diese auch für die industrielle Fischerei interessant zu werden und wurden systematisch auf ihr fischereiliches Potential hin erkundet. Insbesondere die damalige Sowjetunion, im Pazifik auch Australien und Neuseeland, trieben die fischereiliche Ausbeutung von Seebergen voran und setzten vor allem speziell für die raue Topographie ausgerüstete Schleppnetze ein. Typisch für eine solche Seeberg-Fischerei ist ein »boom and bust«-Verlauf: zu Beginn der Fischerei werden sehr hohe Fangerträge erzielt, die aber nach wenigen Jahren stark abnehmen. Die Bestände werden dann so weit heruntergefischt, bis der Fang kommerziell nicht mehr lohnt; danach wandert die Fischerei zu einem anderen Standort ab.

Diese Art der Fischerei hat schwerwiegende Folgen für das Ökosystem. Allein die Dezimierung oder sogar Eliminierung der Zielarten hat eine erhebliche Störung der trophischen Beziehungen und Rückkopplungen innerhalb des Ökosystems zur Folge. Die Schleppnetz-fischerei an Seebergen ist außerdem oft mit einem hohen Beifanganteil verbunden. Die typischerweise exponentielle Verringerung auch der Menge an Beifang im Verlauf der Fischerei zeigt deutlich, dass die Bestände solcher Nichtzielarten ebenfalls direkt schwer geschädigt werden (NIKLIŠTŠEK et al. 2010). Darüber hinaus führt die Bodenschleppnetz-fischerei zu einer großflächigen Zerstörung von benthischer Fauna und damit im Falle der Korallen- und Schwammgemeinschaften auch zu einer erheblichen Habitatzerstörung (z.B. ALTHAUS et al. 2009) mit den entsprechenden Folgen für die assoziierte Fauna. Ein besonderes Problem ist das geringe Potential für eine Regeneration des Ökosystems an Seebergen. Dies hat verschiedene Gründe. So kann durch große Entfernungen zwischen Seebergen eine Rekrutierung durch benachbarte Bestände erschwert oder verlangsamt

werden. Da die Schleppnetz-fischerei nicht nur die Biota, sondern auch die Bodenstruktur beeinträchtigt, verändert sie das Substrat zur Wiederbesiedlung. Vor allem führen das langsame Wachstum, die lange Lebensdauer, eine späte Reproduktion und geringe Reproduktionsraten vieler für Seeberge typischer Arten dazu, dass eine Erholung des Ökosystems, wenn überhaupt, nur in sehr langen Zeiträumen erfolgt. So haben WILLIAMS et al. (2010) festgestellt, dass an pazifischen Seebergen im Verlauf von 5 bzw. 10 Jahren nach Einstellung der Fischerei keine Anzeichen für eine Wiederherstellung der megabenthischen Lebensgemeinschaften zu erkennen waren. Es ist deshalb zweifelhaft, dass eine nachhaltige Seebergfischerei überhaupt möglich ist (NORSE et al. 2012). Allerdings diskutierten CLARK & DUNN (2012) mögliche Managementmaßnahmen, um eine perspektivisch langfristige Fischerei und die Bewahrung der Habitate an Seebergen in Einklang zu bringen.

Forschung

Im Vergleich zur Fischerei dürfte die Beeinflussung der Seebergökosysteme durch Forschungsaktivitäten gering sein, allerdings gibt es dazu keine quantitativen Untersuchungen. Trotzdem könnte die wiederholte wissenschaftliche Probennahme mit Bodenschleppnetzen, Langleinen und Dredgen lokal zu erheblichen Schäden führen und bei kleinen Seebergen auch nachhaltige Veränderungen hervorrufen. Da sich Meeres-säuger an Seebergen sammeln, können seismische Untersuchungen, zum Beispiel zur Lagerstättenforschung, möglicherweise zu einer direkten Schädigung dieser Tiere führen oder zu einer Änderung des Verhaltens, wie einer Meidung des Seebergs.

Tiefseebergbau

Die Verknappung von Rohstoffen und ihr Vorkommen in häufig politisch instabilen Regionen haben zur Suche nach Alternativen auch im marinen Bereich geführt. Schon seit den 1980er Jahren des letzten Jahrhunderts wird über die Nutzung von Manganknollen in der Tiefsee diskutiert, die aber vor allem aus wirtschaftlichen Gründen nie realisiert wurde. Als weitere Lagerstätten für kommerziell verwertbare Mineralien wurden Massivsulfide an Hydrothermalquellen sowie kobaltreiche Ferromangankrusten identifiziert, die an Kontinentalhängen und vor allem an Seebergen vorkommen. In den letzten Jahren ist das Interesse am Tiefseebergbau wieder stark gestiegen, da die genannten Lagerstätten auch recht hohe Konzentrationen seltener Elemente aufweisen, die in vielen modernen elektronischen Geräten Verwendung finden. Zur Zeit konzentrieren sich die Bemühungen um einen Mineralienabbau in der Tiefsee auf die Massivsulfide, für die es bereits Abbaukonzepte und erste Abbauli-

zenzen gibt, und auch Manganknollen stehen wieder im Fokus; es ist aber anzunehmen, dass beim Vorliegen entsprechender wirtschaftlicher und technischer Rahmenbedingungen auch ein Abbau der Ferromangankrusten an Seebergen in Erwägung gezogen wird.

Ferromangankrusten entstehen durch Präzipitation an sedimentfreien Felsoberflächen in Wassertiefen von 1.000-3.000 m, insbesondere an der Grenzschicht zwischen der Sauerstoffminimumzone und dem sauerstoffreichen Tiefenwasser (WANG et al. 2011). Sie bilden sich mit einer Rate von nur 1-7 mm je 1 Mio. Jahre, und ihre hohe Porosität und Oberfläche begünstigt die Anreicherung von seltenen Metallen. In erster Linie Tellur, aber auch Kobalt, Wismut, Zirkonium und andere können in deutlich höheren Konzentrationen als in terrestrischen Lagerstätten vorkommen (HEIN et al. 2010). Für einen möglichen kommerziellen Abbau der Krusten müssen die Lagerstätten einige Voraussetzungen erfüllen: so muss die Konzentration an wertvollen Metallen relativ hoch sein, eine gewisse Schichtdicke und hinreichende Fläche ist erforderlich, und die Oberflächenneigung sollte relativ gering sein. Diese Eigenschaften finden sich an nur relativ wenigen Seebergen, vor allem an Guyots mit ausgeprägten, sedimentfreien Gipfelplateaus in Wassertiefen zwischen 1000 und 2500 m, die zum größten Teil im Pazifik liegen (HEIN et al. 2009).

Bei einem möglichen kommerziellen Abbau der Krusten wären erhebliche Folgen für das Ökosystem und damit auch für die Biodiversität an den betroffenen Seebergen und in ihrer Umgebung zu erwarten. Direkte Untersuchungen dazu gibt es bisher zwar nicht, und auch konkrete technologische Konzepte für die Gewinnung der Mineralien liegen nicht vor, aber die Entfernung der Krusten würde auf jeden Fall, unabhängig von der Methodik, zu einer großflächigen Zerstörung von Habitaten und der darauf siedelnden Fauna führen, wie es an Seebergen schon für die Bodenschleppnetzfisherei mit den entsprechenden Folgen nachgewiesen wurde (s.o.). Eine Wiederbesiedlung würde, wenn überhaupt, nur über sehr lange Zeiträume erfolgen, insbesondere bei langsam wachsenden, sessilen Arten wie Korallen und Schwämmen (SCHLACHER et al. 2014). Zwar ist bisher nicht klar, ob es spezielle Arten gibt, die auf die Krusten als Substrat angewiesen sind, allerdings konnten Unterschiede in der Struktur von Lebensgemeinschaften in Regionen mit Krusten im Vergleich zu solchen ohne Krusten nachgewiesen werden (SCHLACHER et al. 2014), aber auch eine starke Heterogenität der Krustengemeinschaften (MORGAN et al. 2015), so dass nach einer großflächigen Entfernung des Substrats selbst bei einer erfolgreichen Wiederbesiedlung eine dauerhaft stark veränderte Lebensgemeinschaft zu erwarten ist. Ein weiteres Problem sind die beim Abbau und bei der Aufarbeitung der

Mineralien entstehenden und u.U. mit giftigen Stoffen belasteten Sedimentwolken, die nicht nur benthische, sondern auch pelagische Organismen in einem größeren Umkreis schädigen und damit dort zu einer Verarmung der Fauna führen können. Insbesondere die benthopelagische Lebensgemeinschaft dürfte stark betroffen sein, die hoch spezialisiert ist und zum Beispiel über trophische Verbindungen eine Schnittstelle zwischen Boden und Wassersäule darstellt.

Klimawandel

Über mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität der Seeberge kann zur Zeit nur spekuliert werden; konkrete Untersuchungen zu dem Thema gibt es bisher nicht. Auch der oben bereits angerissene geringe Kenntnisstand über die Lebensgemeinschaften an Seebergen und deren Zusammenhang mit ozeanografischen Einflussfaktoren sowie das große Spektrum an verschiedenen Seeberg-Ökosystemen erschweren die Prognose über mögliche Veränderungen. Eine differenzierte Betrachtung über zu erwartende Folgen des Klimawandels für die Seebergökosysteme gibt CHRISTIANSEN (2011). Die wichtigsten Punkte seien hier noch einmal zusammengefasst.

Grundsätzlich wirken an Seebergen die gleichen mit dem Klimawandel verbundenen Mechanismen wie im offenen Ozean oder in Küstengewässern, und somit sind auch ähnliche Folgen für das Ökosystem zu erwarten. Die meisten Veränderungen werden, zumindest kurz- und mittelfristig, die Gipfel- und oberen Hangbereiche von hohen Seebergen betreffen, die bis in Wasserschichten oberhalb von 1.000 m Tiefe ragen, während die Bereiche unterhalb dieser Tiefe wahrscheinlich weniger betroffen sein werden.

Änderungen in der Verteilung von Arten und der Zusammensetzung von Lebensgemeinschaften als direkte Folge des Temperaturanstiegs sind bereits in vielen Meeresgebieten erkennbar. Auch an Seebergen ist zu erwarten, dass eine Temperaturerhöhung zur Expansion wärmeliebender und zur Verdrängung kälteliebender Arten in höhere Breiten oder auch in größere Tiefen führen wird. Voraussetzung ist allerdings, dass die dort herrschenden Umweltbedingungen den Ansprüchen der Arten genügen und zum Beispiel geeignetes Habitat vorhanden ist. Außerdem dürfte die geringe Wachstums- und Vermehrungsrate vieler Seebergorganismen und gegebenenfalls ein geringes Ausbreitungspotential eine rasche Reaktion auf Temperaturerhöhungen und eine entsprechende Standortverschiebung besonders der benthischen Fauna erschweren. Eventuelle endemische Arten mit eingeschränktem Ausbreitungspotential könnten auch direkt vom Aussterben bedroht sein.

Obwohl es inzwischen eine große Anzahl von Pu-

blikationen über die Auswirkungen von erniedrigten pH-Werten auf die marine Fauna gibt, sind die Konsequenzen für die Seeberggemeinschaften kaum abzuschätzen. Von der Ozeanversauerung durch den Anstieg der CO₂-Konzentration sind wahrscheinlich besonders Organismen betroffen, die kalkhaltige Strukturen ausbilden. Zum Beispiel bauen die für die felsigen Substrate vieler Seeberge typischen Hornkorallen (*Gorgonaria*) und Steinkorallen (*Madreporaria*) kalkhaltige Skelette auf. Falls die erniedrigten pH-Werte tatsächlich die Skelettbildung beeinträchtigen oder sogar die kalkigen Strukturen riffbildender Korallen auflösen, würde dies zu erheblichen Veränderungen der benthischen Lebensgemeinschaften an den betroffenen Seebergen führen. Allerdings schlagen TITENSOR et al. (2010) vor, dass Seeberge bei zunehmender Versauerung der Ozeane sogar Rückzugsgebiete für Kaltwasserkorallen bilden können, weil sie insgesamt im Vergleich zum umgebenden Ozean auch bei den vorhergesagten Szenarien eine große Fläche an geeignetem Habitat in oberflächennahen Wasserschichten mit höherem Aragonitsättigungsvermögen aufweisen.

Der vorhergesagte Meeresspiegelanstieg durch Eisschmelze und thermische Volumenausdehnung im Bereich von Dezimetern bis maximal einige Meter dürfte kaum direkte Auswirkungen auf die Lebensgemeinschaften von Seebergen haben. Allenfalls wäre denkbar, dass Bereiche am Gipfel flacher Seeberge aus der euphotischen Zone herausfallen und dort Makroalgen und assoziierte Fauna verschwinden. Die Gipfelbereiche flacher Seeberge könnten auch durch die Zunahme von extremen Wetterereignissen, zum Beispiel tropischen Wirbelstürmen, beeinträchtigt werden, die direkte Habitatzerstörung, erhöhte Trübung und stärkere Durchmischung der Wassersäule verursachen.

Die Ausdehnung von Sauerstoffminimumzonen in den tropischen Meeres könnten Auswirkungen auf die pelagischen und benthischen Lebensgemeinschaften der Seeberge in den entsprechenden Tiefen haben. Da die



Abb. 4.2-2: Verlorenes Schleppnetz auf dem Ampère Seamount, Nordostatlantik (Foto: B. Christiansen).

Toleranz verschiedener Arten auf geringe Sauerstoffkonzentrationen sehr unterschiedlich ist, sind in den betroffenen Bereichen starke Verschiebungen in der Artzusammensetzung und damit unter Umständen auch der trophischen Struktur möglich.

Wegen der immer noch geringen Kenntnis und der Komplexität der »biophysikalischen Kopplung« (LAVELLE & MOHN 2010) sind die Folgen veränderter Strömungsverhältnisse auf die biologischen Systeme an Seebergen aufgrund von Verschiebungen im Temperaturregime der Ozeane oder in den großskaligen Windsystemen zur Zeit kaum vorhersehbar. Veränderte hydrodynamische Effekte dürften aber zu erheblichen Veränderungen im Produktionsregime sowie zu Verschiebungen sowohl in den pelagischen als auch in den benthischen Lebensgemeinschaften der Seeberg-Ökosysteme führen.

Verschmutzung

Die Verschmutzung der Meere mit Müll hat in den vergangenen Jahren eine zunehmende Aufmerksamkeit erfahren, insbesondere seit der Entdeckung des großen Müllwirbels im Pazifik. Seitdem hat es zahlreiche Untersuchungen gegeben, die Menge und Verteilung des Mülls, insbesondere Plastikmülls, und dessen Auswirkungen auf das marine Ökosystem zum Ziel haben. Auch Seeberge bleiben von dem Müllproblem nicht verschont. In einer Untersuchung mit Videotransekten fanden VIEIRA et al. (2015) erhebliche Mengen an Müll auf der Gorrige Bank, ca. 200 km westlich vom Kap St. Vicente, Portugal. Im Bereich der Gipfel und des oberen Hanges handelte es sich hauptsächlich um Überreste aus fischereilichen Aktivitäten, z.B. aufgegebene oder verlorene Netze (Abb. 4.2-2), Tauwerk und Langleinen, während mit zunehmender Tiefe überwiegend Metall-, Glas- und in geringerem Maße Plastikgegenstände gefunden wurden. Inwieweit diese eine konkrete Bedrohung für die lokale Biodiversität sein können, ist zur Zeit schwer abzuschätzen. Zwar konnten Einflüsse von insbesondere Plastikmüll auf verschiedene Organismengruppen nachgewiesen werden, aber es ist nicht bekannt, ob dies eine substantielle Rolle an Seebergen spielt. Verlorenes Fischereigeschirr kann allerdings noch für lange Zeit Organismen fangen (»ghost fishing«) und möglicherweise lokal eine Bedrohung darstellen, die aber im Vergleich zum direkten Einfluss der aktiven Fischerei eher gering sein dürfte.

Schlussfolgerungen

Wegen der großen Vielfalt von Seebergen und des geringen Kenntnisstandes ihrer Ökosysteme sind generelle Aussagen über ihren Artenreichtum und ihre Stellung als »Biodiversitäts-Hotspots« nicht möglich. Die bisherigen

Untersuchungen zeigen eine weite Spannbreite an unterschiedlichen Seebergeigenschaften. Auch die reale und potentielle Bedrohung von Seebergökosystemen durch menschliche Aktivitäten ist sehr unterschiedlich, wobei sich grundsätzlich Lebensgemeinschaften an Seebergen wegen ihres geringen Regenerationspotentials nicht oder aber nur in sehr langen Zeiträumen von Störungen erholen können. Die meisten Bedrohungsszenarien betreffen zur Zeit direkt nur die Gipfel- und oberen Hangbereiche von hohen Seebergen bis in Wassertiefen von maximal 1.000-1.500 m. Insbesondere die Fischerei, aber auch Auswirkungen des Klimawandels können hier zu starken Veränderungen in den Seeberggemeinschaften führen. Bei einer zukünftigen Ausbeutung der Ferromangankrusten würden an den betroffenen Seebergen die Lebensgemeinschaften bis in ca. 2.500 m Tiefe ebenfalls bedroht. Tiefere Seeberge bzw. Seebergbereiche könnten aber indirekt auch durch Einwirkungen auf oberflächennahe Prozesse beeinträchtigt werden, die zum Beispiel die vertikalen Stoff- und Energieflüsse verändern.

Literatur

- ALTHAUS, F., A. WILLIAMS, T. A. SCHLACHER, R. J. KLOSER et al. (2009): Impacts of bottom trawling on deep-coral ecosystems of seamounts are long-lasting. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 397, 279-294
- CHRISTIANSEN, B. (2011): Seeberge – biologische Oasen im Meer und mögliche Auswirkungen des Klimawandels. In: LOZÁN, J. L., H. GRASS, L. KARBE & K. REISE (Hrsg.), *Warnsignal Klima: Die Meere – Änderungen & Risiken*. Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg, pp. 230-234
- CHRISTIANSEN, B., R. P. VIEIRA, S. CHRISTIANSEN, A. DENDA et al. (2014): The fish fauna of Ampère Seamount (NE Atlantic) and the adjacent abyssal plain. *Helgolander Mar Res* 69, 13-23
- CLARK, M. R. & M. R. DÜNN (2012): Spatial management of deep-sea seamount fisheries: balancing sustainable exploitation and habitat conservation. *Environmental Conservation* 39, 204-214
- DENDA, A. & B. CHRISTIANSEN (2014): Zooplankton distribution patterns at two seamounts in the subtropical and tropical NE Atlantic. *Mar. Ecol.* 35, 159-179
- DENDA, A., C. MOHN, H. WEHRMANN & B. CHRISTIANSEN (2016): Microzooplankton and meroplanktonic larvae at two seamounts in the subtropical and tropical NE Atlantic. *J. Mar. Biol. Assoc. UK.*, 1-27
- HEIN, J. R., T. A. CONRAD & R. E. DUNHAM (2009): Seamount Characteristics and Mine-Site Model Applied to Exploration- and Mining-Lease-Block Selection for Cobalt-Rich Ferromanganese Crusts. *Marine Georesources & Geotechnology* 27, 160-176
- HEIN, J. R., T. A. CONRAD & H. STAUDIGEL (2010): Seamount Mineral Deposits: A Source of Rare Metals for High-Technology Industries. *Oceanography* 23, 184-189
- HIRCH, S. & B. CHRISTIANSEN (2010): The trophic blockage hypothesis is not supported by the diets of fishes on Seine Seamount. *Mar. Ecol.* 31, 107-120
- HOWELL, K. L., S. L. MOWLES & A. FOGGO (2010): Mounting evidence: near-slope seamounts are faunally indistinct from an adjacent bank. *Mar. Ecol.* 31, 52-62
- HUBBS, C. L. (1959): Initial discoveries of fish faunas on seamounts and offshore banks in the eastern Pacific. *Pacific Science* 13, 311-316
- LAVELLE, J. W. & C. MOHN (2010): Motion, Commotion, and Biophysical Connections at Deep Ocean Seamounts. *Oceanography* 23, 90-103
- MCCLAIN, C. R. (2007): Seamounts: identity crisis or split personality? *Journal of Biogeography* 34, 2001-2008
- MORATO, T., S. D. HOYLE, V. ALLAIN & S. J. NICOL (2010): Seamounts are hotspots of pelagic biodiversity in the open ocean. *PNAS* 107, 9707-9711
- MORGAN, N. B., S. CAIRNS, H. REISWIG & A. R. BACO (2015): Benthic megafaunal community structure of cobalt-rich manganese crusts on Necker Ridge. *Deep-Sea Res.* 1104, 92-105
- MULLINEAUX, L. S. & S. W. MILLS (1997): A test of the larval retention hypothesis in seamount-generated flows. *Deep-Sea Res.* 44, 745-770
- NIKLIŠČEK, E. J., J. CORNEJO-DONOSO, C. OYARZÚN, E. HERNÁNDEZ et al. (2010): Developing seamount fishery produces localized reductions in abundance and changes in species composition of bycatch. *Mar. Ecol.* 31, 168-182
- NORSE, E. A., S. BROOKE, W. W. L. CHEUNG, M. R. CLARK et al. (2012): Sustainability of deep-sea fisheries. *Mar. Pol.* 36,307-320
- OLIVEIRA, A. P., T. P. COUTINHO, G. CABEÇADAS, M. J. BROGUEIRA et al. (2016): Primary production enhancement in a shallow seamount (Gorringe - Northeast Atlantic). *J. Marine Syst.* 164, 13-29
- 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
- ROGERS, A. D. (1994): The biology of seamounts. *Advances in Marine Biology* 30, 305-350
- ROWDEN, A. A., J. F. DOWER, T. A. SCHLACHER, M. CONSALVEY et al. (2010a): Paradigms in seamount ecology: fact, fiction and future. *Mar. Ecol.* 31, 226-241
- ROWDEN, A. A., T. A. SCHLACHER, A. WILLIAMS, M. R. CLARK et al. (2010b): A test of the seamount oasis hypothesis: seamounts support higher epibenthic megafaunal biomass than adjacent slopes. *Mar. Ecol.* 31, 95-106
- SAMADI, S., L. BOTTAN, E. MACPHERSON, B. DE FORGES et al. (2006): Seamount endemism questioned by the geographic distribution and population genetic structure of marine invertebrates. *Mar. Biol.* 149, 1463-1475
- SCHLACHER, T. A., A. R. BACO, A. A. ROWDEN, T. D. O'HARA et al. (2014): Seamount benthos in a cobalt-rich crust region of the central Pacific: conservation challenges for future seabed mining. *Diversity and Distributions* 20, 491-502
- STAUDIGEL, H. & D. A. CLAGUE (2010): The geological history of deep-sea volcanoes. *Oceanography* 23, 58-71
- TITTENSOR, D. P., A. R. BACO, J. M. HALL-SPENCER, J. C. ORR et al. (2010): Seamounts as refugia from ocean acidification for cold-water stony corals. *Mar. Ecol.* 31, 212-225
- VIEIRA, R., R. COELHO, A. DENDA, B. MARTIN et al. (2016): Deep-sea fishes from Senghor Seamount and the adjacent abyssal plain (Central Eastern Atlantic). *Marine Biodiversity*
- VIEIRA, R. P., I. P. RAPOSO, P. SOBRAL, J. M. S. GONÇALVES et al. (2015): Lost fishing gear and litter at Gorringe Bank (NE Atlantic). *J. Sea Res.* 100, 91-98
- WANG, X., F. PEINE, A. SCHMIDT, H. C. SCHRÖDER et al. (2011): Concept of biogenic ferromanganese crust formation: Cocoliths as bio-seeds in crusts from Central Atlantic Ocean (Senghor Seamount/Cape Verde). *Natural Product Communications* 6, 1-10
- WESSEL, P., D. T. SANDWELL & S.-S. KIM (2010): The Global Seamount Census. *Oceanography* 23, 24-33
- WILLIAMS, A., T. A. SCHLACHER, A. A. ROWDEN, F. ALTHAUS et al. (2010): Seamount megabenthic assemblages fail to recover from trawling impacts. *Mar. Ecol.* 31, 183-199
- WILSON, R. R. & R. S. KAUFMANN (1987): Seamount Biota and Biogeography. In: KEATING, B. H., P. FRYER, R. BATIZA & G. W. BOEHLERT (eds.), *Seamounts, Islands, and Atolls*. American Geophysical Union, Washington, D. C., pp. 355-377

Kontakt:

Dr. Bernd Christiansen
 Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft
 Universität Hamburg
 bernd.christiansen@uni-hamburg.de

Christiansen, B. (2016): Sind Seeberge bedrohte Biodiversität-Hotspots? In: Lozán, J. L., S.-W Breckle, R. Müller & E. Rachor (Hrsg.), *Warnsignal Klima: Die Biodiversität*. pp. 224-231 Online: www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de. doi:10.2312/warnsignal.klima.die-biodiversitaet.36.