Profil

Band 13

Reinhold **LEINFELDER**, Ulrich **KULL** & Franz **BRÜMMER** (Hrsg.)

Riffe - ein faszinierendes Thema für den Schulunterricht

Materialien für die Fächer Biologie, Erdkunde und Geologie

Institut für Geologie und Paläontologie
Universität Stuttgart 1998
und GeoBio-Center at LMU 2002

2. Auflage (online-Version), © GeoBio-Center München, 2002
erhältlich unter www.riffe.de oder www.palaeo.de/riffbuch

VORWORT ZUR ZWEITEN AUFLAGE (ONLINE-VERSION)

Das vorliegende, auf eine fürs Internationale Jahr des Riffes (IYOR 1997) in Manuskriptform verfügbare und 1998 im Jahr der Ozeane als Sonderband der Reihe PROFIL publizierte "Riff-Schulbuch" erfreute sich großer Beliebtheit und Nachfrage. Die Auflage ist inzwischen komplett vergriffen. Zahlreiche Anfragen zeigen jedoch, dass dieses Buch nach wie vor sehr gut angenommen wird.

Aus Kostengründen ist eine zweite gedruckte Auflage nicht machbar; außerdem existiert die wissenschaftliche Zeitschriftenreihe Profil, herausgegeben vom Institut für Geologie und Paläontologie nicht mehr in gedruckter Form. Als verantwortlicher Herausgeber des Originalbandes entschloss ich mich deshalb, Ihnen eine komplette und kostenlose online-Version des gesamten Buches zur Verfügung zu stellen, welche unter http://www.riffe.de bzw. http://www.palaeo.de/riffschulbuch als pdf-File vom Netz ladbar ist.

Bitte beachten Sie, dass alle Autoren des Buches auf ein Honorar verzichteten und dass auch Verlage und Bildautoren kostenlos viele Abbildungen zur Verfügung gestellt haben. Artikel und Arbeitsblätter für den Schulunterricht können für nichtkommerzielle Ausbildungszwecke ungefragt benutzt werden. Die Weiterverwendung von Texten und Abbildungen in publizierten Projekten (z.B. für Webprojekte) kann jedoch leider nicht gestattet werden. Bitte fragen Sie im Zweifelsfall bei den Autoren direkt nach.

Diese Online-Version (vom März 2002) stellt einen überwiegend unveränderten Nachdruck des Originalbuchs dar. Aus Zeitgründen war eine umfassende Überarbeitung leider nicht möglich. Die Artikel sind jedoch nach wie vor aktuell wie nie. Gerade die Problematik des Riffbleichens erfuhr durch das dadurch verursachte Massensterben von Korallen im Jahr 1998/1999 besonderes öffentliches Interesse. Durchforsten Sie für aktuelle Meldungen das Web (z.B. den Noaa-Server unter http://coral.aoml.noaa.gov).

Im Ressourcen-Teil wären die Angaben naturgemäß teilweise zu überarbeiten bzw. zu ergänzen. Dies gilt insbesondere für Internetressourcen, für die ich auf Web-Suchmaschinen bzw. die aktuelle Geobiolink-Datenbank unter http://www.palaeo.de/geolinks verweise. Unter http://www.reefcheck.de finden Sie ebenfalls aktuelle Hinweise. Auch die Adressen der Autoren und angegebenen Ansprechpartner haben sich teilweise geändert; mir sind diese Änderungen häufig nicht bekannt. Im Text wird jedoch in Form von farbigen Notizen immer wieder mehrfach auf Änderungen hingewiesen. Die größten Änderungen betreffen die überwiegende Verlagerung der ehemaligen Riffgruppe Stuttgart an die Universität München. Dies betrifft auch den Verfasser. Entsprechend sind auch viele, im Text erwähnte Webangebote mit umgezogen. Der Riffressourcen-Server ist nun unter http://www.riffe.de erreichbar; viele andere vormals in Stuttgart beheimatete Angebote nun über http://www.palaeo.de (z.B. der Jurassic Reef Park: http://www.palaeo.de/edu/JRP) . Suchen Sie im Bedarfsfall einfach auf den palaeo.de-Seiten nach den gewünschten Ressourcen. Etliche Änderungen wurden im Text markiert.

Da die Vorlagen in unterschiedlichsten Formaten vorhanden waren, gibt es auch einige kleinere Layout-Uneinheitlichkeiten in der pdf-Version. Zur besseren online-Lesbarkeit wurde auf ein DIN-A4-Überformat ausgewichen. Sollten Sie beim Ausdrucken Probleme bekommen, drucken Sie die Datei einfach mit etwas Verkleinerung (z.B. 90%).

Ich wünsche viel Spaß und Erfolg mit dem faszinierenden Thema Riffe im Schulunterricht!

München, im März 2002

online-Herausgeber: Reinhold Leinfelder

Prof. Dr. Reinhold Leinfelder
GeoBio-Center an der LMU und Lehrstuhl Paläontologie und Historische Geologie der Universität München
Direktor der Bayerischen Staatssammlung für Paläontologie und Geologie (FE Paläontologie)
Direktor des Paläontologischen Museums München

Paläontologie München, Richard-Wagner-Str. 10, D-80333 München
rrl@lrz.uni-muenchen.de

Profil

Band 13

Riffe - ein faszinierendes Thema für den Schulunterricht
Materialien für die Fächer Biologie, Erdkunde und Geologie

Herausgegeben von

REINHOLD **LEINFELDER,** ULRICH **KULL** & FRANZ **BRÜMMER**

mit Beiträgen von

ROLAND **BUCHS**, FRANZ **BRÜMMER**, ROBERT **GINSBURG**,
HANS-DIETER **GÖRTZ**, HANS **HAGDORN**, DOROTHEA **HAND-WIEDMANN**,
INGEBORG **HAUSSMANN**, GEORG **HEISS**, REINHOLD **LEINFELDER**,
CHRISTA **MAASSEN**, MARTIN **NOSE,** GÜNTER **SCHWEIGERT**,
JÜRGEN **SCHWEIZER** & WINFRIED **WERNER**

als wesentlicher Teil der Aktivitäten zum Internationalen Jahr des Riffs mit dem Inge-und-Werner-Grüter-Preis für Wissenschaftsjournalismus 1999 ausgezeichnet

Institut für Geologie und Paläontologie
Universität Stuttgart
1998

Konzept und Herausgeber dieses Bandes	*R. Leinfelder, U. Kull, F. Brümmer*
Herausgeber der Reihe PROFIL	*Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Stuttgart*
Autoren	*Roland Buchs, Franz Brümmer, Robert Ginsburg, Hans-Dieter Görtz, Hans Hagdorn, Dorothea Hand-Wiedmann, Ingeborg Haussmann, Georg Heiss, Reinhold Leinfelder, Christa Maaßen, Martin Nose, Günter Schweigert, Jürgen Schweizer & Winfried Werner*
Digitale Bildverarbeitung	*R. Leinfelder*
Layoutarbeiten	*C. Fischer, R. Diener, M. Krautter, R. Leinfelder, M. Neuweiler*
Digitales Endlayout und Schriftleitung dieses Bandes	*R. Leinfelder*
Schriftleitung der Reihe PROFIL	*M. Krautter*
Sponsoren	*Universität Stuttgart (Rektorat), Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Stuttgart, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bonn*
Druck	*Kurz & Co., Stuttgart*
Cover-Abbildung	*Stephanie Naglschmid/DIVEMASTER Artgalerie. Dieses Bild ist als handsigniertes und numeriertes Kunstposter in garantiert limitierter Auflage (200), im Format 67,5 x 97,5 cm zu beziehen über: Buchservice Naglschmid, Rotebühlstr. 87 A, 70178 Stuttgart.*

Copyright

1997 Institut für Geologie und Paläontologie und Organisationsteam IYOR-Deutschland, sowie jeweils bei den Artikeln angegebene Fremdcopyrights. Logos unterliegen dem Copyright der ensprechenden Organisationen; mit Erlaubnis verwendet. Die einzelnen Beiträge dieses Bandes dürfen ohne Genehmigung nur zu nichtkommerziellen Unterrichtszwecken vervielfältigt werden.

pdf-Konvertierung R. Leinfelder, München.
pdf-Konvertierung und online-Herausgeber:
Reinhold Leinfelder, © Paläontologie
München, 2002

Internationales Jahr des Ozeans 1998

Universität Stuttgart

Deutsche Forschungsgemeinschaft

DFG

VORWORT (zur Originalauflage)

Riffe sind ein faszinierendes, aber auch sehr gefährdetes Ökosystem. Riffwissenschaftler riefen deshalb 1997 weltweit das „Internationale Jahr des Riffes“ (International Year of the Reef, IYOR) aus, insbesondere um die Öffentlichkeit über die Bedeutung von Riffen für den Menschen, aber auch über deren Gefährdung durch den Menschen, sowie mögliche Schutzmaßnahmen besser zu informieren. Auch für 1998 (Internationales Jahr des Ozeans, IYO) und darüber hinaus bleibt aber die Notwendigkeit umfassenderer Information zu Riffen bestehen. Aus diesem Anlaß publizieren wir diesen Materialienband für den Schulunterricht mit Autoren aus Schule und Wissenschaft.

Für die Schule ist die unterrichtliche Behandlung von Riffen besonders geeignet, um daran ökologische und evolutionsbiologische Aspekte aufzuzeigen; vor allem ist sie aber auch ein hervorragender Ansatz für eine interdisziplinäre Arbeitsweise (fächerverbindenden Unterricht). Die meisten Regionen Deutschlands, sowie Österreich und die Schweiz liegen weit entfernt vom Meer und haben keine modernen Riffe. In der geologischen Entwicklung dieser Länder spielten aber Riffe in mehreren Epochen eine wesentliche Rolle; diese Riffe können auch in geologischen Aufschlüssen demonstriert werden.

Die vorliegende Sammlung soll dazu dienen, den Lehrkräften für die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Biologie und Geographie/ Geologie geeignete Materialien an die Hand zu geben - sowohl als wissenschaftliche Grundlagen als auch für Unterrichtsanregungen.

Anläßlich eines Weiterbildungsseminars für Lehrkräfte wurde in Zusammenarbeit mit dem Oberschulamt Stuttgart im Frühjahr 1997 eine erste Manuskriptversion dieses Materials erstellt und an alle Schulen des Bezirks Stuttgart kostenlos weiterverteilt. Die Herausgeber danken dem Oberschulamt Stuttgart, dabei insbesondere Frau Reg.-Schuldirektorin Marga Bühler-Kull für diese logistische und finanzielle Unterstützung. Weitere Oberschulämter in Baden-Württemberg verteilten die Materialien ebenfalls; andere Schulen wurden durch ihre Ministerien informiert und konnten das Material zum Selbstkostenpreis beziehen. Der große Erfolg dieser ersten Manuskriptversion veranlaßte uns, die vorliegende, überarbeitete und stark ergänzte Version als Vollpublikation herauszugeben, in der Hoffnung, auch über das Jahr 1997 hinaus das Thema „Riffe“ im Schulunterricht besser verankern zu können. Der vorliegende Band ist wiederum zum reinen Selbstkostenpreis beziehbar; alle beitragenden Autoren und Herausgeber verzichteten auf ein Honorar. Wir danken auch den Kollegen, die ihre Fotos kostenlos zur Verfügung gestellt haben. Die Arbeitsblätter und Infotexte dieses Bandes können für Unterrichtszwecke frei kopiert werden.

Als Anregung zu diesem Band diente ein ähnliches, englischsprachiges Werk, „The Coral Forest Teachers Guide“, wofür wir Coral Forest sehr dankbar sind. Die Bezugsquelle dafür (Alevizon et al. 1996) sowie eine Auflistung vieler weiterer Ressourcen finden Sie im Teil 3 dieses Bandes. Besonders hinweisen dürfen wir auch auf ein Poster zu Riffbedeutung und Riffgefährdung, sowie auf ein Video, welche ebenfalls anläßlich des Jahr des Riffes insbesondere für Schulen produziert wurden (siehe Ressourcen-Sammlung). Weitere Ressourcen zum Thema sind auch im Internet unter <**http://www.geologie.uni-stuttgart.de/ iyor/schule**> verfügbar.

nun via: http://www.riffe.de

Der Druck dieses Bandes war nur durch die finanzielle Unterstützung der Universität Stuttgart (Rektorat), des Instituts für Geologie und Paläontologie der Universität Stuttgart und der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) Bonn möglich, wofür wir uns herzlich bedanken. Frau Stephanie Naglschmid, MTI-Press Stuttgart stellte dankenswerterweise die Farbabbildung des Einbandes kostenlos zur Verfügung; diese Abbildung kann als Poster ebenfalls bezogen werden (s. Hinweis auf S. ii). Eventuelle durch den Verkauf dieses Bandes entstehende Überschüsse werden für eine weitere Auflage reserviert bzw. für ähnliche Projekte verwendet.

Stuttgart, im November 1997

Die Herausgeber:
Reinhold Leinfelder
Ulrich Kull
Franz Brümmer

Bitte beachten Sie auch das Vorwort zur online-Auflage auf derUmschlaginnenseite

Sie können durch Anklicken des Titels direkt zum entsprechenden Artikel springen.
Alternativ können Sie die Lesezeichen auf der linken Fensterseite verwenden (ggf. aufklappen)

Inhalt

TEIL 1: HINTERGRUNDWISSEN

Heutige Korallenriffe - Biologie, Ökologie, Geologie und Verbreitung (F. Brümmer & R. Leinfelder)..... S. 3

Symbiose von Korallen mit grünen Dinoflagellaten: Grundlage der Riffbildung (H.D. Görtz) ..... S. 17

Der Mensch und die Riffe: Bedeutung, Gefährdung, Schutzmaßnahmen (R. Leinfelder & F. Brümmer)..... S. 21

Riffe aus alten Zeiten: das Beispiel der Jurariffe (R. Leinfelder) ..... S. 37

Riffe im Weißen Jura der Schwäbischen Alb (G. Schweigert) ..... S. 49

Riffe aus dem Muschelkalk (H. Hagdorn) ..... S. 56

TEIL 2: UNTERRICHTSMATERIALIEN

Sekundarstufe I: Das Korallenriff (D. Hand-Wiedmann)..... S. 71

Sekundarstrufe II: Das Korallenriff im Unterricht der Klassenstufen 11 und 13 (J. Schweizer)..... S. 77

Anregungen und Materialien für die Fächer Erdkunde und Geologie (I. Haussmann & R. Buchs)..... S. 85

Arbeitsblätter „Korallenriffe“ für die Fächer Biologie und Erdkunde der Klassenstufen 7-9 (C. Maassen) ..... S. 95

Arbeitstext „Städte unter Wasser - Gibt es so etwas?“ (R. Leinfelder & R. Ginsburg) S.105

TEIL 3: RESSOURCEN UND INFOTEXTE

Besuchenswerte fossile Riffe (M. Nose, W.Werner & G.Schweigert) S.117

Info-Kurztexte zu Riffen (Bedeutung, Gefährdung, richtiges Verhalten) (R. Leinfelder).....S.123

Kurzinfo zum Internationalen Jahr des Riffes 1997 und zum Internationalen Jahr des Ozeans 1998 (R. Leinfelder & F. Brümmer) S.133

Reef Check - eine globale Gemeinschaftsaktion von Riffwissenschaftlern und Sporttauchern: Reef Check 97 Presse-Konferenz vom 16. Oktober 1997, Hongkong (übersetzt von G. Heiss) S.135

Riffwissenschaftler in Deutschland: Referenten und Ansprechpartner (R. Leinfeder & F. Brümmer).....S.139

Riff-Ressourcen: Bücher, Zeitschriften, Filme, Videos, CD-ROMs, Internet, Aquarien (F. Brümmer & R. Leinfelder) S.143

Tauchen in Korallenriffen - Anregungen zum umweltverträglichen Verhalten (F. Brümmer) S.147

TEIL 1: HINTERGRUNDWISSEN

Profil ***13****: 3-16, 9 Abb.; Stuttgart 1998*

Heutige Korallenriffe - Biologie, Ökologie, Geologie und Verbreitung

FRANZ **BRÜMMER**, *STUTTGART* * & *REINHOLD* **LEINFELDER**, *STUTTGART***

EINLEITUNG

Wer heute von Artenvielfalt spricht, wird neben dem tropischen Regenwald ohne zu zögern die Korallenriffe als Ort höchster Biodiversität nennen. In keinem anderen Lebensraum leben so viele verschiedene Arten von Pflanzen und Tieren auf so engem Raum nebeneinander. Korallenriffe bieten Lebensraum für eine ungeheure Anzahl von pflanzlichen und tierischen Organismen. Obwohl sie weniger als 0,2% des Meeresbodens bedecken, leben dort annähernd 25% der Organismen, die man bis heute in den Ozeanen kennt. Nahezu 5.000 Arten von Fischen und mehr als 2.500 Korallenarten konnten bisher klassifiziert werden. Hiervon gehören aber nur 1.000 Arten zu den riffbildenden Steinkorallen. Schätzungen der Artenzahlen unserer Riffe bewegen sich zwischen 500.000 und einer Million Arten. Die meisten davon sind jedoch noch nicht einmal entdeckt. Wegen dieser riesigen Lebensvielfalt werden Korallenriffe auch als die Regenwälder der Meere bezeichnet. Zwar bieten Regenwälder z. B. einen Lebensraum für über eine Million Arten von Insekten sind und besitzen damit im allgemeinen eine höhere Artenvielfalt, in Korallenriffen jedoch lebt eine höhere Zahl an Wirbeltierarten und mehr systematische Großgruppen sind vertreten.

Überraschenderweise wird dieses ganze Ökosystem Korallenriff zu einem großen Teil von einem kleinen Nesseltier aufgebaut. Seit ihrem ersten „Auftauchen“ vor ca. 500 Millionen Jahren (- damals noch in altertümlichen, später wieder ausgestorbenen Korallengruppen -) in tropischen Gewässern haben sie sich überaus erfolgreich weiterentwickelt. Moderne, mit unseren heutigen Riffkorallen verwandte Steinkorallen gibt es seit etwa 240 Millionen Jahren.

Abb. 1: Die Unterscheidung von Hydrozoen, Scyphozoen und den Anthozoen-Gruppen Hexacorallia und Octocorallia. Nach ZIEGLER (1991), verändert.

DIE KORALLEN

Was ist eine Koralle?

Ein **Korallentier** *ist ein meeresbewohnendes, wirbelloses Tier (Invertebrata, Tier ohne stützende Wirbelsäule). Innerhalb der Nesseltiere (Cnidaria) gehört es zur Klasse der Blumentiere (Anthozoa).*

Die anderen drei Klassen der Nesseltiere sind die **Hydrozoen (Hydrozoa), die Würfelquallen (Cubozoa)** *und* **Schirmquallen (Scyphozoa)** *(Abb. 1).*

Hydrozoen besitzen einen typischen Generationswechsel zwischen Polyp und Meduse; hierzu gehören z. B. der Süßwasserpolyp (Hydra sp.) und die Portugiesische Galeere (Physalia physalis). Aber auch die Feuerkoralle (Millepora dichotoma) zählt zu dieser Klasse.

* PD Dr. Franz Brümmer, Biologisches Institut, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 57, 70550 Stuttgart, Email: bruemmer@po.uni-stuttgart.de

** Prof. Dr. Reinhold Leinfelder, Institut für Geologie und Paläontologie, Universität Stuttgart, Herdweg 51, 70174 Stuttgart, Email: reinhold.leinfelder@geologie.uni-stuttgart.de

neue Adresse von R. Leinfelder siehe Vorwort zur online-Auflage, Umschlaginnenseite

Die Würfelquallen (Cubozoa) zeichnen sich ebenfalls durch den Besitz einer Medusen- und Polypengeneration und durch winzige Polypen aus. Vertreter wie die Feuerqualle oder gar die Seewespe (Sea wasp, Chironex fleckeri) sind für heftigste Nesselwirkung bekannt und gefürchtet! Meist ohne Polypengeneration kommen die **Schirmquallen (Scyphozoa)** *vor. Die Medusengeneration wird als Quallen bezeichnet. Bekannte Vertreter sind die Ohrenqualle (Aurelia aurita) und die Kompaßqualle (Chrysaora hysoscella)*

Bei den **Blumen- oder Korallentieren (Anthozoa)** *kommen nur Polypen vor. Nach der Anzahl von inneren Scheidewänden (Septen) werden achtstrahlige (Octocorallia) mit 8 Septen und 8 gefiederten Tentakeln, die stets koloniebildend sind, von den sechsstrahligen Korallen (Hexacorallia) mit Septen oft in Sechszahl oder einem Vielfachen davon unterschieden (Abb. 1). Letztere sind nicht immer, aber meist stockbildend. Als Vertreter der Octocorallia seien die Orgelkoralle (Tubipora sp.); Tote Mannshand (Alcyonium dicitatum), die Hornkorallen (Gorgonaria), die Edelkoralle (Corallium rubrum), die Seefedern (Pennatularia) sowie die Seepeitsche (Funiculina sp.) genannt.*

Zu den Hexacorallia zählen z. B. die Pferdeaktinie (Actinia equina), die Dornkorallen (Antipatharia) mit der Schwarze Koralle (Antipathes sp.), die Zylinderrosen (Ceriantharia) und die Krustenanemonen (Zoantharia), sowie die Vielzahl der Steinkorallen (Madreporia, Scleractinia).

Angehörige dieser Klasse sind dadurch gekennzeichnet, daß ihr Körper nur auf einer Seite eine Öffnung besitzen, die gleichzeitig als Mund und als After dient (Abb. 1). Ihr Skelett kann entweder innerhalb oder außerhalb des Gewebes eine steinartige, eine hornige oder eine ledrige Konsistenz besitzen. Einige Cnidaria, darunter die Quallen (Medusen) leben im freien Wasser, sie driften mit der Strömung. Andere setzen sich als Polyp auf schon vorhandenen Riffen fest, so wie z. B. die Seeanemonen und eben die Korallen.

Es gibt zwei grundlegend verschiedene Gruppen von Korallen: Die **hermatypen** *oder riffaufbauenden Steinkorallen und die* **ahermatypen** *Korallen, welche kein festes Gerüst aufbauen. Unter diesen sind auch die Vertreter der Weichkorallen.*

Wußten Sie schon?

Das ***Große Barriere-Riff*** *ist das größte Bauwerk, das von lebenden Organismen aufgebaut wurde. Es ist die einzige lebendige Struktur, die man aus dem All erkennen kann. Es ist der Nordostküste Australiens vorgelagert und erstreckt sich über eine Länge von 2.000 Kilometer.*

Wie ist eine Koralle aufgebaut?

Der Körper des Korallentiers wird **Polyp** *genannt - eine hohle, sackförmige Struktur (Abb. 1, 2). An seinem oberen freien Ende befindet sich die* **Mundöffnung**, *welche von* **Tentakeln** *umgeben ist. Innerhalb des sackförmigen Körpers befindet sich der* **Magen**. *Die klebrigen Tentakel enthalten harpunenartige Apparate (***Nematocysten***), die es dem Polypen ermöglichen, vorbeischwimmende Beute zu fangen und zu betäuben. Anschließend führen die Tentakel die Nahrung zum Mund, durch den sie in den Magen gelangt. Dort findet die Verdauung statt. Anschließend gelangen die unverdaulichen Rückstände wieder durch den Mund ins Freie. Innerhalb des Magens befinden sich auch die langen Mesenterialfilamente, die der Polyp ausstreckt, um sich zu verteidigen, wenn ihm andere Korallen zu nahe kommen.*

Weiterhin entnehmen die Polypen von Steinkorallen aus dem Seewasser gelöste Calcium- und Bicarbonationen und verwenden diese, um ein äußeres hartes Kalkskelett aus Calciumcarbonat auszubilden (Abb. 2). Dieses Kalkskelett schützt den verletzlichen weichen Polypen auch vor Angriffen seiner Freßfeinde.

Abb. 2: Schematischer Aufbau eines Korallenpolypen. Aus OLIVER & COATES (1987), verändert.

Wie entsteht der steinharte Kalk?

Innerhalb der Gewebe eines Polyps leben mikroskopisch kleine Algen als sogenannte **Endosymbionten**. *Sie leben also in einer* **Symbiose** *(einer gegenseitig vorteilhaften Beziehung) mit den Korallen (siehe Artikel GÖRTZ).*

Die Algen versorgen den Polyp über die **Photosynthese** *mit Sauerstoff und Kohlenhydraten und erleichtern die Kalkskelettbildung. Im Austausch dazu versorgt der Polyp die Endosymbionten mit anderen Nährstoffen, sorgt für deren Schutz und bietet ihnen überhaupt einen Lebensraum.*

Wußten Sie schon?

Die Farbe der Korallen stammt nicht vom Korallentier, sondern vom Chlorophyll und anderen Farbstoffen der Endosymbionten, die in hoher Zahl in dessen Gewebe leben. Diese Farbe kann von weiß, gelb, braun und olivgrün bis hin zu rot, grün, blau und violett variieren. Die Farbe des Kalkskelettes der Korallen ohne Endosymbionten ist ein schlichtes helles Weiß.

Was fressen Korallen?

Zusätzlich zu den Nährstoffen, die von den Endosymbionten zur Verfügung gestellt werden, ernähren sich Korallen von **Plankton**. *Als Plankton bezeichnet man meist kleine Pflanzen wie auch Tiere, die passiv durch den Wind und die Strömungen über die Meere verdriftet werden. Das meiste Plankton ist zu klein, um mit bloßem Auge gesehen zu werden.*

Das pflanzliche Plankton wird **Phytoplankton**, *das tierische Plankton, von dem sich Korallen ernähren,* **Zooplankton** *genannt. Somit erhalten planktonfressende Korallen ihre Nährstoffe und Energie zum einen aus der Sonnenerergie (via ihrer Endosymbionten), zum anderen aus einem entfernten Ökosystem. Geschätzt wird, daß ungefähr 60% des in einem Riff vorbeidriftenden Zooplanktons von Korallenpolypen eingefangen wird.*

Die meisten Korallen fressen nur nachts. Da sie in geringerer Gefahr schweben, von Freßfeinden gesehen und angegriffen zu werden, können sie unbekümmert ihre Tentakel ausstrecken. Tagsüber ruhen die Tentakel zum Schutz in das Kalkskelett zurückgezogen.

Wie vermehren sich Korallen?

*Korallenpolypen vermehren sich sowohl geschlechtlich (mit anderen Artgenossen), wie auch ungeschlechtlich (aus sich selbst). Sexuelle Fortpflanzung tritt ein, wenn die Korallen ihre Geschlechtsprodukte, Eier und Spermien, in das Wasser freisetzen. Die Spermien befruchten dann das Ei; daraus entwickelt sich eine Larve (***Planula).** *Dieses Freisetzen der Geschlechtsprodukte tritt normalerweise bei den Korallen einer Art innerhalb des Riffes zum selben Zeitpunkt ein, um die Chance einer Befruchtung zu erhöhen. Weiterhin steigen bei einem solchen Massenereignis die Chancen für das einzelne Ei, nicht gefressen zu werden. Obwohl die meisten Steinkorallen* **hermaphroditisch**, *das heißt zweigeschlechtig sind, werden die Eier manchmal von den Spermien anderer Kolonien befruchtet. Somit wird sichergestellt, daß die genetische Vielfalt erhalten bleibt und neue Individuen entstehen, die sich an veränderte Lebensbedingungen besser anpassen können oder schon angepaßt sind.*

Die Planula-Larve treibt, getrieben von der Strömung, mit anderen Planktonorganismen mehrere Stunden bis viele Wochen im Wasser. Diejenigen, die überleben, setzen sich auf hartem Untergrund fest und verwandeln sich in den Polypen. Dieses Verdriftetwerden der Larven ist die einzige Möglichkeit für Hartkorallen, neue Lebensräume zu erreichen und zu besetzen. Eben auf diese Weise werden abgestorbene Riffareale, aber auch Betonpfeiler, Schiffswracks und Ölbohrplattformen neu besiedelt.

Wußten Sie schon?

In Australien werden im Frühjahr (dem Herbst auf der Südhalbkugel) entlang des ***Großen Barriere-Riffes*** *für einige Nächte nach Vollmond von mehr als 130 Korallenarten von Korallen Millionen und Abermillionen von Eiern und Spermien gleichzeitig ins Meer entlassen. Andere Riffbewohner, wie Anemonen, Seegurken und auch der Dornenkronenseestern verhalten sich genauso.*

Ungeschlechtliche Fortpflanzung *tritt ein bei der* **Knospung**. *Der erwachsene Polyp verdoppelt sich unter Ausbildung eines neuen Polypen, der dem elterlichen Gewebe aufsitzt. Eine* **Korallenkolonie** *entwickelt sich dadurch, daß sich konstant neue Knospen und damit neue Polypen dazubilden. Wenn der neue Polyp wächst, kann es sein, daß der ältere Polyp neben ihm abstirbt; damit trägt sein Kalkskelett zum Aufbau des Kalkgerüstes des Riffes bei. Unter Optimalbedingungen können Steinkorallen in der Natur bis zu 2 cm pro Jahr wachsen, sich verzweigende Korallen sogar bis zu 10 cm und mehr. Trotzdem kann die Neubildung eines mächtigen Korallenriffes Hunderte von Jahren dauern.*

Korallenkolonien können ebenso anderen arteigenen wie artfremden Kolonien aufsitzen. Dadurch bilden sich große und sehr komplexe Riffstrukturen aus. Einige dieser aneinandergrenzenden Kolonien kämpfen, um einen besseren Platz im Licht oder in der Strömung zu bekommen. Die Korallenpolypen setzen dazu ihre nesselzellenbesetzten Tentakel oder ihre Mesenterialfilamente ein, um

den Konkurrenten zu attackieren oder zu töten. Unter geeigneten Bedingungen können neue Kolonien auch aus abgebrochenen Teilen der Ursprungskolonie entstehen. Auf diese Weise sind Korallenriffe auch in der Lage, schnell wieder hochzuwachsen, nachdem Stürme, Hurrikanes oder Zyklone die alten Kolonien zerstört haben.

Wußten Sie schon?

In den siebziger Jahren wurde entdeckt, daß das Alter einer Koralle auf dieselbe Art bestimmt werden kann wie das Alter eines Baumes? Auf der Röntgenaufnahme einer Koralle werden Jahresringe sichtbar und können gezählt werden. Einige Korallenkolonien aus dem Großen Barriere-Riff besitzen ein Alter von 800-1.000 Jahren. Das heißt, ihr Wachstum begann als die Schlacht von Hastings (1066 n.Chr.) in England geschlagen wurde und der erste Kreuzzug (1096 n. Chr.) Frankreich in Richtung Jerusalem verließ.

Die verschiedenen Korallentypen

Steinkorallen

Riffbildende oder hermatypischen Korallen, die ein hartes äußeres Kalkskelett absondern, werden gewöhnlich als **Hart-** *oder* **Steinkorallen** *bezeichnet. Sie besitzen üblicherweise sechs Tentakel oder ein Vielfaches davon (Hexacorallia). Sie können sowohl als Einzeltier wie auch als Kolonie angetroffen werden. Diese Kolonien der Steinkorallen bilden drei grundlegende Wuchsformen aus: verzweigte, massive und tellerförmige Kolonien. Häufig anzutreffende Formen der Steinkorallen sind beispielsweise die Geweihkorallen, Hirnkorallen, Pilzkorallen und Tellerkorallen.*

Wasserbewegungen beeinflussen die Wuchsform von Korallen. Wo starke Wellen die Seeseite des Riffes anlaufen, wachsen verzweigte Korallen mit dicken, massiven oder abgeplatteten Kolonien. Meist in tieferen Bereichen, wo das Wasser ruhiger ist, werden die Verzweigungen immer feiner und manche Kolonien nehmen die Form großer dünner Platten an, um ihren Endosymbionten die maximale Lichtabsorption zu ermöglichen. Die Pilzkoralle ist eine der wenigen Korallenarten, die nicht in Kolonien wächst, also nur als Einzelpolyp vorkommt.

Wußten Sie schon?

Steinkorallen sind nicht nur in tropischen Riffen verbreitet: Sie kommen in allen Ozeanen von der Flachwasserzone bis in Tiefen von 6.000 m vor. In hohen Breiten gibt es in mehreren hundert Metern Wassertiefe sogar richtige Korallenrasen.

Weichkorallen

Auf den ersten Blick würde man diesen Vertretern ohne Hartskelett keinen großen Beitrag am Riffaufbau zutrauen. Wie der Name sagt, scheiden Weichkorallen kein starres Skelett ab; ihre Kolonien werden vielmehr durch den Wasserdruck in ihrem Innenraum aufgerichtet. Abgelagerte kleine Kalkkörperchen als mikroskopisch kleine Plättchen, Stäbchen oder Nadeln sorgen für zusätzliche Stabilität. Sie stützen die Gewebe. Nach dem Absterben einer Kolonie werden die Kalkelemente frei. Sie fallen in die vielen kleinen und kleinsten Riffhohlräume, wo sie verkitten und somit wichtig für die „Zementierung" des Riffes sind. Darüber hinaus besetzen Weichkorallen meist als erste freiwerdende Stellen im Riff und verhindern somit die Ansiedlung von hermatypischen (= riffbauenden) Steinkorallen.

Weichkorallen werden auch als **Octokorallen** *(Octocorallia) bezeichnet, nach der charakteristischen Zahl ihrer Tentakel. Diese beträgt meist acht oder ein Vielfaches davon. Octokorallen schließen die Weichkorallen, die Seefedern, die Schwarze Koralle, die Peitschenkorallen und die Blaue Koralle ein.*

Octokorallen wachsen auch in Kolonien auf dem Riff. Sie besitzen eine verzweigte, manchmal kammähnliche Form und ihr Innenskelett erlaubt es ihnen, sich zu biegen und damit der anbrandenden Strömung nachzugeben und ihr zu folgen. Einige der Weichkorallen produzieren toxische Komponenten, was sie erheblich unappetitlicher für potentielle Freßfeinde macht. Viele Weichkorallen gedeihen in starken Strömungen, wo große Mengen Plankton vorbeigetrieben werden. Sie wachsen aber auch gut in Bereichen, wo Hartkorallen nur schwer existieren können. Dazu gehören dunkle Höhlen und Überhänge.

WO KOMMEN KORALLENRIFFE VOR?

Die meisten Korallen gedeihen in flachem, klarem und lichtdurchflutetem Wasser mit Temperaturen zwischen 26°C und 27°C. Wenn über einen längeren Zeitraum Temperaturen niedriger als 20°C oder höher als 29°C auftreten, sterben die meisten Korallen. Die Korallen benötigen wegen ihrer Endosymbionten zum Gedeihen auch eine sehr hohe Lichtmenge. Aus diesem Grund findet man das stärkste Korallenwachstum in klarem Wasser bei Wassertiefen von weniger als 10 bis 15 m. Unterhalb von 40 - 50 m beginnt die Artenzahl der riffbildenden Korallen zurückzugehen, hin zu noch größeren Tiefen verschwinden sie nach und nach ganz.

Abb. 3: Verbreitung der heutigen Korallenriffe. Aus WELLS & HANNA (1992), verändert.

Geographische Verbreitung

Die meisten Korallenriffe liegen zwischen dem Wendekreis des Krebses (20° nördlicher Breite) und dem Wendekreis des Steinbocks (20° südlicher Breite)[1] (Abb. 3). Wo jedoch an den Westküsten der Kontinente kalte, nährstoffreiche Strömungen aufsteigen, finden sich auch in niedrigen Breiten keine Korallenriffe. Außerdem können sie nicht vor größeren Flußmündungen, wie z.B. der Amazonasmündung existieren, da dort zuviel Schwebstoffe eingetragen werden. Die Korallenriffvorkommen lassen sich in drei Areale gliedern: den **Indopazifik**, *den* **Westatlantik** *und das* **Rote Meer**.

Die indopazifische Region zieht sich von Südostasien über Polynesien und Australien westwärts über den Indischen Ozean bis Afrika. Diese Region ist die zur Zeit größte und reichste Lebensgemeinschaft an Korallen- und Fischarten. Die westatlantische Region zieht sich von Florida bis Brasilien, die Bermudas, die Bahamas, die Karibik, Belize bis hin zum Golf von Mexiko. Das Rote Meer ist die kleinste der drei Regionen. Es erstreckt sich zwischen Afrika und Saudi-Arabien. Aufgrund einer Reihe von nur hier vorkommenden Arten wird es meist als eigenständige Region bezeichnet.

Basierend auf dieser geographischen Verbreitung läßt sich feststellen, daß sich 60% aller Korallenriffe der Erde im Indischen Ozean und dem Roten Meer befinden, 25% im Pazifischen Ozean und 15% in der Karibik.

Wußten Sie schon?

Die Riffe des Westatlantiks haben sich teilweise später als die des Indopazifiks entwickelt. Die Karibik ist geologisch betrachtet relativ jung. Die Riffe dort besitzen nicht die große Artenvielfalt, wie die des älteren Indopazifiks, der aus dem Tethysmeer des Erdmittelalters hervorging. Außerdem sind in den quartären Eiszeiten erheblich mehr Korallen im Atlantik als im Pazifik ausgestorben.

WIE ENTSTEHEN KORALLENRIFFE?

Hartkorallen tragen den strukturell größten Teil zum Riffaufbau bei. Andere Organismen, insbesondere koralline Kalkrotalgen, aber auch Protozoen, Moostierchen und Röhrenwürmer verbinden und zementieren durch ihr Wachstum alles miteinander und stabilisieren so das Riff; wie wir gesehen haben auch die Weichkorallen. Bohrende Organismen (wie beispielsweise Bohrschwämme, Bohrmuscheln, Bohrwürmer und Bohralgen), grüne Kalkalgen, deren kalzifizierte "Blätter" abfallen, und Weidegänger wie Seeigel und Papageifische, die

---

[1] Die weiter oben erwähnten, seltenen und atypischen Tiefwasser-Korallenrasen der hohen Breiten zählen wir hier nicht zu den Korallenriffen. Sie bestehen in der Regel nur aus einer angepaßten Korallenart und charakterisieren ein vollständig unterschiedliches Ökosystem.

Korallen fressen, produzieren wiederum sandige und schlammige Kalksedimente.

Wußten Sie schon?

Das Kalziumkarbonat der Kalkalgenfragmente, der Muschel- und Schneckenschalen und natürlich vor allem der Korallen tragen wesentlich zum pH-Ausgleich der Ozeane bei. Dies steuert wiederum klimatische Prozesse. Ohne diese pH-Balance gäbe es kein Leben, so wie wir es kennen.

Rifftypen

Nach ihrem Aussehen und ihrer Entstehungsgeschichte lassen sich vier Haupttypen von Korallenriffen unterscheiden: Saumriffe, Barriereriffe, Plattformriffe und Atolle. In tropischen Gewässern wachsen **Saumriffe** *(auch Küstenriffe genannt) direkt von der Küstenlinie der Kontinente und Inseln aus.* **Barriereriffe** *(auch Wallriffe genannt) findet man weiter seewärts, von der Küste durch einen breiten Streifen ruhigen und geschützten Wassers, der Lagune, getrennt.* **Plattformriffe** *sind auf allen Seiten von tiefem Wasser umgeben und wachsen auch nach allen Seiten.* **Atolle** *findet man im offenen Meer, sie besitzen eine mehr oder weniger ringförmige Gestalt mit einer seichten Lagune im Zentrum.*

Atollbildung

Darwins Theorie der Atollentstehung

Schon 1842 schlug Charles Darwin eine Theorie für die Entstehung der Atolle vor, die eine Erklärung der Riffbildung bietet und heute noch akzeptiert wird.

Die Theorie kann am besten anhand tropischer Inseln verstanden werden. Eine vulkanische Insel der Tropen bietet die flache untermeerische Basis, auf der sich Korallen ansiedeln und Riffe bilden können. Möglicherweise wuchs um diese Insel ein Saumriff, das an einigen Stellen nur durch einen schmalen Streifen Wassers vom Land getrennt war.

Wenn die Insel durch **Erdkrustenbewegungen** *etwas im Meer absinkt, bildet sich eine Lagune und die Rifforganismen formen ein Barriereriff. Sollte das langsame Absinken der Insel weiter anhalten und eine bestimmte Geschwindigkeit nicht überschreiten, ist das Korallenwachstum in der Lage, dieses Absinken zu kompensieren und das Riff überlebt als Atoll. Das Atoll tritt dabei eher als eine große Zahl kleinerer Inseln in Erscheinung, die durch Kanäle voneinander getrennt sind, und nicht als geschlossener Ring. Diese Kanäle erlauben auch einen Wasseraustausch zwischen dem offenen Meer und der Lagune.*

1. Platzgewinn (Akkomodationsgewinn) durch Meeresspiegelanstieg

2. Platzgewinn (Akkomodationsgewinn) durch Subsidenz

Abb. 4: Prinzipien der Riff- und Karbonatplattformbildung. Für mächtige Riff- und Plattformkomplexe ist insbesondere Platzgewinn durch Meeresspiegelanstieg bzw. Ozeanbodenabsenkung notwendig.

1a. Stabiler oder nur schwach steigender Meeresspiegel schafft keinen bzw. ungenügend Platz. Riffe können über ihren eigenen Schutt vorwachsen (progradieren), da mehr Karbonat produziert wird als vertikal untergebracht werden kann.

1b. Bei raschem Meeresspiegelanstieg wird die ganze Karbonatproduktivität benötigt, um Schritt zu halten. Dadurch entstehen aggradierende Riffe bzw. Karbonatplattformen.

2. Darwins Atolltheorie im Licht der Plattentektonik. Aktive Vulkane finden sich entlang mittelozeanischer Rücken oder Hot Spots. Die weiterdriftende Platte kühlt langsam ab und senkt sich dadurch ab. Alte Vulkane versinken langsam und Atolle können aufwachsen.

Die Bildung der Maledivenatolle

Am Beispiel der Malediven soll dieser Vorgang noch etwas näher erläutert werden:

Die **Inselwelt der Malediven** *(Abb. 5, 6) ist ein Teil eines mehr als 2 km dicken Flachwasserkalkpakets vor allem tertiären Alters, welches auf vulkanischem Untergrund liegt. Die erdgeschichtlichen Vorgängen lassen sich im Einzelnen wie folgt nachvollziehen (Abb. 7):*

An der Kreide / Tertiär - Grenze (vor ca. 66 Millionen Jahren) und danach war Indien ein isolierter Kontinent und auf der „plattentektonischen Reise“ nach Norden. Bedingt durch diese Plattenbewegungen gab es in NW-Indien extrem viel Vulkanismus (Dekkan-Trappe).

Abb. 5: Die Atolle der Malediven. Zwischen 6°N und 2° Nord erscheint eine doppelte Kette von Atollen (äußere und innere Plattform), die durch die Innere See getrennt wird. Riffe und Karbonatsandbarren sind schwarz gezeichnet. Nach PURDY & BERTRAM (1993), verändert.

Abb. 6: Die Atolle der Malediven, wie hier das Felidu-Atoll sind überwiegend aus Miniatollen, den sogenannten Faros zusammengesetzt. Aus PURDY & BERTRAM (1993), verändert.

Im Alt-Tertiär (Eozän; 50 Millionen Jahre) lagerte sich auf einer großen Basaltaufwölbung (ähnlich wie es heute etwa zwischen Rotem Meer, Golf von Jemen und dem ostafrikanischen Grabensystem vorhanden ist) eine enorm breite, durchgehende Karbonatplattform ab. Wahrscheinlich gab es auf beiden Seiten der Plattform Barriereriffe; dahinter war alles sehr flach, aber sicher auch mit vielen Riffen besetzt. Auch diese Plattform war den tektonischen Bewegungen ausgesetzt, die in der Mitte eine Dehnung verursachten und somit einen Graben entstehen ließen (Abb. 7, A). Endpunkt dieses Teilabschnittes war die Zweiteilung der Plattform, wobei sich an beiden Teilen randständig Barriereriffe und Kalksandbarrensysteme bildeten. Durch einen starken Meeresspiegelfall innerhalb des Oligozäns fiel der gesamte Schelf vorübergehend trocken.

Danach stieg der Meeresspiegel wieder an und blieb bis ins späte Jungtertiär (also während spätem Oligozän, Miozän und Teilen des Pliozäns) relativ hoch (Abb. 7, B). Allerdings wuchsen die neuen Riffe und Kalkplattformen erst einmal am Rand der älteren, da dort die günstigsten Bedingungen herrschten. Dadurch ergab sich ein breites Becken zwischen den beiden neuen randlichen Plattformen. Im Laufe der Zeit verkleinerte sich das zentrale Becken wieder, da die hochproduktiven Kalkplattformen sich in diese Richtung verbreiterten, also Schutt und Riffe nach vorne bauten (progradierten); es blieb aber bis heute eine schmale innere Depression, die Innere See ('Inner Sea').

Im ausgehenden Pliozän (vor gut 2 Millionen Jahren) begannen die eiszeitlichen Meeresspiegelschwankungen, die während des Pleistozäns anhielten (also bis vor ca. 10.000 Jahren, als das Holozän begann). Während der Kaltzeiten war der

Meeresspiegel tief (das Wasser steckte im Eis der damals viel größeren Polkappen und Inlandsgletscher) und die beiden Maledivenplattformen fielen immer wieder trocken (jedoch nicht die Inner Sea). Während des Trockenfallens gab es intensive Verkarstung. Insgesamt bildeten sich mäßig konkave Strukturen auf beiden Seiten. Bei Meeresspiegelanstieg (in Warmzeiten) fingen die Riffe an den höchsten Stellen an, wieder zu wachsen. Um mit dem rasch steigenden Meeresspiegel mitzuhalten, waren höchste Wachstumsleistungen notwendig. Auf der Strecke blieb dabei möglicher Vorbau, dazu reichte die zu geringe Produktion nicht aus. Dieses Hochwachsen ohne seitliche Verbreiterung wird als sog. Aggradation bezeichnet. Bedingt durch das Hochwachsen, einhergehend mit häufigen Meeresspiegelschwankungen bildeten sich punktförmige Riffe an den Tellerrändern aus, die letztendlich zur heutigen Morphologie führten (Abb. 7, C).

Zur Verdeutlichung und stark vereinfacht ist dieser vielphasige Prozeß in Abb. 8 dargestellt.: Spätpliozänes Trockenfallen der äußeren und inneren Kalkplattform führte zu einer Süßwasserlinse und entsprechender tellerförmiger Verkarstung. An den Rändern der beiden Teller wuchsen dann bei steigendem Meeresspiegel bevorzugt Riffe, was die Anlage der beiden ehemaligen Großatollstrukturen ergab. (Abb. 8, 1). Bei der nächsten, durch Meeresspiegelfall bedingten Verkarstung lösten sich die Riffe insbesondere zu großen Turmkarstblöcken auf (Abb. 8, 2).

Bei der Flutung dieser Blöcke bildeten sich Riffe wiederum bevorzugt am Rande, so daß sich kleinere Atolle bildeten (Abb. 8, 3), die in ihrer Anordnung die beiden früheren Großatolle nachzeichneten. Fielen diese kleineren Atolle trocken, bildete sich wiederum Turmkarst (Abb. 8, 4), an dessen Rändern sich bei der nächsten Flutung noch kleinere Riffatolle (Miniatoll, Faro) bildeten (Abb. 8, 5).

Die durch die Innere See getrennten ehemaligen Großatolle haben sich also zu zwei Ringen von kleineren Atollen (z.B. Ari, Male, Felidu-Atoll) umgebaut. Die kleineren Atolle bestehen ihrerseits wiederum aus Ringen von Miniatollen (Faros). Und so sieht es heute auf den Malediven aus (vgl. Abb. 5, 6)!

Abb. 7: Die geologische Entwicklung der Malediven während des Tertiärs und des Quartärs. Erläuterung siehe Text. Aus PURDY & BERTRAM (1993), verändert. Die Entwicklung seit dem jüngeren Pliozän ist in Abb. 8 näher dargestellt.

5. Steigender Meeresspiegel führt zum Wiederaufleben des Riffwachstums. Die Riffe wachsen wieder bevorzugt am Rand der Turmkarstblöcke. Dies erzeugt Atolle 3. Ordnung, die durch Rinnen voneinander getrennt sind.

4. Erneutes Trockenfallen und Verkarstung bei niedrigem Meeresspiegel. Dabei wiederum Turmkarstbildung in kleinerer Dimension sowie Anlage von Rinnen zwischen den Karstblöcken.

3. Erneute Flutung bei steigendem Meeresspiegel. Riffwachstum als Atoll bevorzugt an den Rändern der gefluteten Turmkarstblöcke. Dargestellt ist ein einziger ehemaliger Turmkarstbereich bewachsen von einem Atoll 2. Ordnung (siehe 2). Die einzelnen Atolle werden durch „Kanäle“ getrennt.

2. Verkarstung von Riffen und großmaßstäbliche Turmkarstbildung während niedrigem Meeresspiegel. Die Innere See bleibt vollständig marin. Zwischen den Turmkarstblöcken werden die späteren „Kanäle“ angelegt.

1. Aggradierendes Aufwachsen von Riffen bei raschem Meeresspiegelanstieg, bevorzugte Lage an den Rändern der beiden tertiären Kalkplattformen und damit Anlage der beiden Großatollstrukturen (Atolle 1. Ordnung).

Abb. 8: Stark schematische, vereinfachte Darstellung der Atollgenese der Malediven durch quartäre Meeresspiegelschwankungen.

Wie geht es auf den Malediven weiter? Solange der Meeresspiegel weiter ansteigt (und der Mensch tut ja sein Möglichstes dazu), werden im günstigsten Fall die Atolle weiterbestehen. Das Hochwachsen, d.h. die Aggradation hält an. Schädigt der Mensch die Riffe jedoch noch mehr, wird auch dies abreißen und die Riffe werden „ertrinken", das heißt, das Riffwachstum wird mit dem Meeresspiegelanstieg nicht Schritt halten können und zum Erliegen kommen (dies ist bei unseren Anstrengungen wohl der wahrscheinlichste Fall). Sollte der Meeresspiegelanstieg aufhören bzw. sich stark verlangsamen und die Riffe gesund sein, dann werden die Atollagunen zunehmend aufgefüllt werden und von den Atollen nach außen transportierter Riffschutt wird wieder die Zwischenräume zwischen den Atollen verfüllen. Darauf könnten sich Riffe in horizontaler Richtung in Richtung offener Ozean und Richtung Innere See vorbauen, die sog. Progradation würde sich wie im Zeitraum von Oligozän und Pliozän wieder einstellen

Atolle kann man, umgeben von tiefem, klaren Wasser, über ausgedehnte Regionen des Indopazifiks finden. Darunter ist auch Kwajalein der Marschall-inseln im Pazifik, das mit einer Länge von 129 km das größte Atoll der Welt ist.

Wußten Sie schon?

Darwin's Theorie der Atollbildung wurde zu seinen Lebzeiten sehr kontrovers diskutiert. Die meisten Menschen konnten sich nicht vorstellen, daß ganze Inseln im Meer versinken. Sie konnten nicht verstehen, daß die ganze Erde eine dynamische Struktur darstellt, dauernd in Bewegung ist und ständig ihre Form verändert.

WER LEBT ALLES IM KORALLENRIFF?

Das Ökosystem eines Korallenriffes

Korallenriffe sind die Basis für das produktivste Ökosystem des flachen Wassers dieser Erde. Ein **Ökosystem** *ist eine Gruppe von Lebewesen, wie zum Beispiel Korallen, Algen und Fische, zusammen mit deren unbelebter Umgebung wie Felsen, Wasser und Sand. Jedes davon beeinflußt das andere und alle sind irgendwie notwendig, um das Leben in dieser Gemeinschaft aufrechtzuerhalten. Wenn einer dieser Faktoren durch menschengemachten oder auch natürlichen Einfluß aus dem Gleichgewicht gebracht wird, dann ist auch das Überleben aller anderen aufs Höchste gefährdet (siehe Artikel* LEINFELDER & BRÜMMER*).*

Wußten Sie schon?

Alle Ökosysteme der Erde sind miteinander verknüpft. Sie bilden eine lebende Klammer, das den ganzen Planeten Erde bedeckt - die Biosphäre. Als Fallbeispiel sei genannt: Wenn zu viele Bäume im Regenwald gefällt werden, wird Boden aus diesem Wald durch den Regen ausgewaschen und gelangt in die Flüsse. Diese wiederum tragen diese Sedimentfracht in die Ozeane. Der Schlamm treibt weit hinaus ins Meer und bedeckt nahe an den Küsten liegende Riffe. Einige Korallenarten können sich von diesem Belag befreien, aber die meisten sind nicht dazu in der Lage. Wenn der Schlamm nicht innerhalb einer gewissen Zeit durch Strömungen abgewaschen wird, beginnen die Polypen zu ersticken und sterben langsam ab. Nicht nur der Regenwald ist dann zerstört, sondern auch die Korallenriffe der vorliegenden Küsten.

Riffzonen

Korallenriffe sind nicht überall gleich, sondern sie werden durch den Einfluß der Kräfte der See und durch den Meeresgrund mitgeformt. Dabei lassen sich eine Reihe von unterscheidbaren Zonen feststellen, die sogenannten **Riffzonen** *(Abb. 9). Ein Verständnis dieser Riffzonen erleichtert das Verstehen des ganzen Ökosystems Korallenriff. Dabei sollte man aber immer im Hinterkopf behalten, daß diese Zonen nicht exakt gegeneinander abgegrenzt sind, sondern fließend ineinander übergehen. Manchmal fehlt eine solche Zone sogar ganz. Das Ökosystem Korallenriff ist auch mit den nahen Ökosystemen des Festlandes vernetzt, die aus tropischem Regenwald, Lagunen an der Küste, kleinen Inseln oder Mangroven bestehen können.*

Die wichtigsten Riffzonen sind: Die **Lagune** *mit Strand, Mangroven, Seegraswiesen und Flecken-riffe, das* **Riffdach** *und das* **Vorriff***.*

Die Lagune

Zwischen dem Strand und dem Riffdach liegt die Lagune mit einer großen Zahl von Pflanzen- und Tierarten. Dazu gehören die Mangroven, die Seegräser, die grünen (Kalk)algen, die Schwämme (die gibt's natürlich vor allem auch im Riff), die Schnecken und Muscheln, Seeigel, Fische, Krebs-tiere, Meeresschildkröten und auch kleine Haie.

Der Strand

Auf der Landseite der Lagune findet man oft einen sandigen Strand. Dieser wird von Wellen geformt. Einige Tiere nutzen den Strand zur Fortpflanzung. Meeresschildkröten klettern des Nachts aus dem Wasser an den Strand, um hier bis zu 100 Eier in selbstgegrabenen Löchern zu legen. Diese werden im warmen Sand von der Sonne und der gespeicherten Wärme ausgebrütet. Einige

Strand- und Watvögel bauen ihre Nester ebenfalls dort. Andere Vögel rasten am Strand während ihrer Züge von Süd nach Nord, wiederum andere ernähren sich von den dort lebenden Kleintieren.

Die Mangrove

Mangroven findet man an den Übergängen vom Wasser zum Land, in der Gezeitenzone. Diese Bäume sind einzigartig, weil sie im Meerwasser gedeihen können. Schnellwachsend mit über 60 cm im ersten Jahr besitzen einige Mangroven besondere spezialisierte Samenschoten, die sogenannten Propagulen, die an den Enden von den Ästen wachsen. Wenn diese Schoten reifen, fallen sie in den Schlamm, bleiben stecken und bilden Wurzeln aus. Aus ihnen bildet sich dann wieder ein neuer Mangrovenbaum. Mangroven besitzen ebenfalls Luftwurzeln, die aus dem Schlamm nach oben bis an die Luft wachsen. Mit ihnen nehmen sie Sauerstoff auf, was die untermeerischen Wurzeln vor dem Ersticken bewahrt.

Mangroven sind aus mehreren Gründen sehr wichtig:

- *Sie helfen das Land vom Meer abzugrenzen und schützen die Küstenlinie vor starker Erosion, weil ihre Wurzeln durch Wellen ausgewaschene Sedimente fangen und verfestigen.*
- *Reste und Stoffwechselprodukte dort lebender Vögel und anderer Tiere, sowie abgefallenes Pflanzenmaterial reichern den Boden mit Nährstoffen an. Dadurch wird dessen Fähigkeit erhöht, anderes pflanzliches Leben zu tragen. Gleichzeitig wird durch die Fixierung von Nährstoffen im Mangrovenbereich verhindert, daß zu viele Nährstoffe zu den Riffen gelangen, was für diese schädlich ist.*
- *Von Flüssen in Küstenbereiche eingespültes Bodenmaterial, Schlick- und Sandpartikel werden durch die Mangrovenwurzeln herausgefiltert und gelangen somit ebenfalls nicht ins Riff.*
- *Mangroven dienen als Lebensraum für viele verschiedene Tier- und Pflanzenarten. Ihr komplexes Wurzelsystem und die Verzweigungen ihrer Stämme und Äste bieten einen ausgezeichneten Lebensraum für Tiere, dort können diese ihre Nahrung finden, sie können ruhen, sich paaren und ihren Nachwuchs zur Welt bringen. Beispielsweise benutzen die großen, sich von Früchten ernährenden Fledermäuse bis zum Sonnenuntergang Mangroven als Schlafplatz, ehe sie bei Einbruch der Dunkelheit ausfliegen. Hummer und Winkerkrabben ernähren sich von den Nährstoffen, die das bei Ebbe zurückweichende Meer liegenläßt. Sie recyclen Mineralien und organisches Material im Mangrovenwald. Andere Krabben ernähren sich von den Blättern der Mangroven. Jungfische suchen Schutz im Wurzelwerk bis sie größer geworden sind, um im Riff zu überleben. Stechrochen, kleine Haie und auch Krokodile verstecken sich in den Wurzeln, wo sie ruhen und nach Nahrung suchen. Austern und andere Muscheln wachsen auf den Mangrovewurzeln und werden wiederum von den Eingeborenen als Nahrungsquelle genutzt.*

Unglücklicherweise wurde erst in jüngster Zeit die Notwendigkeit des Schutzes für den Lebensraum Mangroven erkannt. Der Mangrovenwald ist wohl einer der am stärksten gefährdeten Lebensräume. Mindestens 50% des Bestandes sind weltweit schon verlorengegangen, weitere Anteile werden gerade vernichtet. Mangrovenwälder werden gefällt als Brennmaterial und um Platz zu schaffen für Teiche zur Fischzucht und Garnelenzucht oder für Hotels und Ferienanlagen.

Die Seegraswiese

Seegräser sind eine Gruppe mariner höherer Pflanzen, die auf dem sandigem Meeresgrund der Lagune meistens zwischen Fleckenriffen wachsen. Die Seegraswiese dient auch als Kinderstube für Jungfische. Nur wenige Tiere, so die Meeresschildkröte oder die Seekuh (im Indopazifik Dugong, im Atlantik und der Karibik Manatee genannt) können tagsüber frei schwimmend in der Seegraswiese oder im Korallenriff angetroffen werden.

Das Fleckenriff

Einige Lagunen enthalten ziemlich flache, runde oder ovale, aus Korallen bestehende Rifferhebungen. Diese sind umgeben von Seegraswiesen oder Sandgrund. Diese Fleckenriffe variieren erheblich in ihrer Größe, manche sind so groß wie ein kleines Auto, manche erreichen Ausmaße wie ein Fußballfeld. Die Vielfalt ihrer Bewohner variiert ebenso mit ihrer Größe. Üblicherweise gilt: Je größer das Fleckenriff, desto größer die Artenzahl.

Das Riffdach

Das Riffdach ist der höchste Teil des gesamten Riffes und damit der flachste. Es ist am leichtesten von der Wasseroberfläche aus sichtbar und ist

Abb. 9: Die verschiedenen Zonen in einem Barriereriff.

sogar aus dem Flugzeug zu erkennen. Man sieht es als braunes Band, das durch eine weiße Linie begrenzt wird, an der sich die Wellen des offenen Meeres brechen. Nipptiden und Wellen legen oft Teile des Riffdaches trocken, Stürme fegen darüber hinweg und zerbrechen dabei Korallenplatten und Äste. Aus diesem Grund findet man hier weniger Korallenarten als im Riff des tieferen Wassers. Aber trotzdem ist das Riffdach immer noch Heimat für viele Pflanzen und Tiere, darunter der Papageifisch, Seepocken und Algen. Wenn die Flut abläuft, bleiben manchmal Gezeitentümpel, sogar mit Wasserständen einige Zentimeter über dem Meeresspiegel, auf dem Riffdach zurück. Diese Gezeitentümpel werden regelmäßig wieder mit Seewasser gefüllt. Darin leben oft Krabben, kleine Fische, verschiedenste Würmer, Seesterne und Meeresschnecken unter vielen anderen Arten. Diese Tiere kann man auch in den anderen Teilen des Riffes finden.

Das Vorriff

Der seewärts liegende Hang des Riffes wird Vorriff genannt und kann wiederum in zwei Teile geteilt werden, den höher liegenden Teil und einen Teil im tieferen, ruhigeren Wasser.

Der höher liegende Teil (auch Rifffront genannt) ist wesentlich lichtdurchfluteter und Heim einer unglaublichen Zahl verschiedener Riffbewohner. Darunter sind Hart- und Weichkorallen, Schwämme, der Clownfisch und Seeanemonen, Hummer, Schmetterlingsfische, Kaiserfische, Wimpelfische, Seesterne, Muscheln, Papageifische, Mollusken, Meeresschildkröten und viele, viele mehr. **Zoo-** *und* **Phytoplankton** *wird von Strömungen aus tieferen Teilen des Meeres ins Riff getragen. Dadurch werden die Riffbewohner mit leicht zugänglicher Nahrung versorgt. Dieser Riffteil besteht aus einem Hang mit gemäßigtem Neigungswinkel, der sich von einer Wassertiefe von 3-5m bis in Tiefen von 18-22m erstreckt.*

Im tiefer liegenden Teil des Vorriffes geht das Organismenwachstum stark zurück. Bei einigen Riffen kann man Rinnen finden (Wälle aus lebenden Korallen mit dazwischenliegenden sandgefüllten Kanälen oder Gräben), die senkrecht zur seitlichen Ausdehnung des Riffes verlaufen. Bei wieder anderen Riffen fällt das Vorriff Hunderte von Metern schroff in die Tiefe ab. In weniger stark geneigten Vorriffen lagert sich der durch die Wellen aus dem flachen Riff herausgewaschene Riffschutt ab. Einige typische Bewohner des tieferen Vorriffs sind Weichkorallen, Muränen, Haie, Mantas und Adlerrochen.

Wußten Sie schon?

Krabben, Seeigel, viele Schnecken und viele Fische sind quasi die Putzkolonne des Riffes. Sie halten das Riff sauber. Die Krabben fressen tote Fische und die Seeigel, ***sowie herbivore Schnecken und Fische*** *fressen Algen, die beginnen, über Korallenbruchstücke zu wachsen. Dieses Sauberhalten der Oberfläche ermöglicht es den Korallenlarven, sich dort anzusiedeln.*

Die Nahrungskette

Nährstoffe und Energie werden auf verschiedenen Wegen durch das Ökosystem Korallenriff geschleust. An der Basis der Nahrungskette, (besser noch als Nahrungsnetz bezeichnet), stehen die **Primärproduzenten**, *Photosynthese-betreibende Pflanzen, also Phytoplankton, Algen, Seegräser und die Mangrove. Algen treten in allen Größen auf, von den Endosymbionten und Phytoplankton, die kaum mit dem unbewaffneten Auge erkennbar sind, bis zu fußballgroßen Algen oder meterlangen Tangen. Die Primärproduzenten stellen in der Nahrungskette Nährstoffe und Energie für die* **Primärkonsumenten** *bereit. Das sind Tiere, die sich von diesem Pflanzenmaterial ernähren und deshalb* **Herbivore** *genannt werden. Diese Primärkonsumenten werden von anderen Tieren gefressen, den* **Sekundärkonsumenten**. *Diese werden* **Omnivore** *genannt, wenn sie sowohl Pflanzen als auch Tiere fressen.* **Karnivore** *heißen sie, wenn sie nur tierische Nahrung aufnehmen. Die Nahrungskette endet mit den abbauenden Organismen, die Pflanzenteile und abgestorbene Tiere zersetzen; meist handelt es sich dabei um Pilze oder Bakterien und einzellige Protozoen.*

*Energie und Nährstoffe tauschen sich im Riffökosystem in einem nicht endenden Prozeß ständig aus. Dabei gibt es Formen, die sich nur nachts ernähren (**nocturnal**), andere dagegen nur tags (**diurnal**), wieder andere hingegen nur in der Dämmerung oder bei Anbruch des Tages (**crepuscular**).*

Herbivore

Herbivore ernähren sich nur von Pflanzen. Die meisten Herbivoren leben im flachen, gut durchlichteten Wasser, weil dort ihre Nahrung, die Pflanzen am besten gedeiht. Es gibt sie in vielen Größen, wie Zooplankton, das sich von Phyto–plankton ernährt oder wie die Riesenmuschel, die 1 m Durchmesser erreichen kann und dann 450 kg wiegen kann.

Wie die Korallen lebt die Riesenmuschel in einer symbiontischen Beziehung mit ihren mikroskopisch kleinen Partnern, den Endosymbionten. Die Muschel züchtet ihre Nahrungsquelle in ihrem fleischigen Mantel. Die Endosymbionten geben dem Mantel die leuchtendsten Farben, von braun über blau und grün.

Die Menschen haben in vielen Teilen des Pazifiks ganze Populationen dieser Muscheln vernichtet, um an ihr Fleisch und ihre Schale zu gelangen. Glücklicherweise gibt es Projekte, diese riesigen Muscheln zu züchten und wieder im Riff aus-zusiedeln.

Unter den riffbewohnenden sind die Papagei–fische und die Soldatenfische die am häufigsten vertretenen Herbivoren in den Korallenriffen. Andere Herbivore des Riffes sind Gehäuse–schnecken, grüne Schnecken, Seeigel, einige Meeresschildkröten und die Seekühe.

Omnivore und Karnivore

Einige der riffbewohnenden Tiere sind Omnivore, die sich sowohl von Pflanzen, als auch von Tieren ernähren. Unter diesen ist der wunderschöne und graziöse Engelfisch. Zusammen mit den Herbivoren sind die Omnivoren das bei Tage sichtbarste Leben im Riff.

Die Karnivoren im Riff ernähren sich nur von anderen Tieren. Dabei verwenden sie die unter–schiedlichsten Strategien, um an ihre Beute zu kommen. Die von Karnivoren gefressene Beute–menge variiert erheblich. Bestimmte Haie nehmen 10% ihres Eigengewichtes pro Woche an Nahrung zu sich, Eidechsenfische dagegen fressen pro Woche bis zu 80% ihres Eigengewichtes an kleinen Fischen.

*Der bekannteste Karnivore ist wohl der **Hai**, obwohl einige Hai-Arten kein Fleisch fressen. Viele Riffhaie, wie der Ammenhai beispielsweise sind nachtaktiv, sie schlafen tagsüber zwischen den Korallen. Andere Karnivoren sind Barrakuda, Barsch und Muräne.*

Wußten Sie schon?

In einem Riff befinden sich Putzstationen. An speziellen Orten leben kleine Putzerfische und Putzergarnelen, die Parasiten und Unreinheiten von der Haut größerer Fische entfernen. Die zu reinigenden Fische erlauben den Putzern sogar, ungefährdet in ihre Kiemen und ihren Mund zu gelangen. Diese Plätze werden von Fischen sogar gezielt aufgesucht, wo sie regelrecht warten. Putzertiere sind sehr wichtig für die Gesundheit der anderen Fische und somit auch für das ganze Riff.

Schutzmechanismen

Korallenriffe bewohnende Tiere schützen sich auf die unterschiedlichste Art und Weise. Einige verstecken sich im Sand, andere hinter oder in den Korallenstöcken. Manche schwimmen in der Lagune und verstecken sich zwischen den Mangrove–wurzeln, wieder andere schwimmen in Schwärmen über das Riff. Einige besitzen eine giftige Haut–oberfläche, andere blasen sich auf und erscheinen dann viel größer. Einige der Methoden, die zum Beutefang benutzt werden, eignen sich auch, um einer Bejagung zu entgehen.

*Bestimmte Fischarten benutzen Farbe in ihrer Haut zur **Tarnung** und verschmelzen quasi mit ihrer Umgebung, was ein Erkennen durch ihre Fraßfeinde erheblich erschwert. Der große gelbe Schmetterlingsfisch hat einen großen runden schwarzen Fleck nahe der Schwanzbasis, der wie ein Auge eines weit größeren Fisches aussieht. Wenn ein Fraßfeind angreift, was er für den Kopf seiner Beute hält (aber in Wirklichkeit der Schwanz ist), ist es für den Schmetterlingsfisch möglich, in entgegengesetzter Richtung zu entkommen. Seine dünne pfannkuchenförmige Gestalt erlaubt es ihm auch, schnellstens wegzuschwimmen und sich in Spalten zu verstecken, in denen sein Jäger nicht hineinpaßt. Schmetterlingsfische sind tagaktiv, ihre prächtigen, ins Auge fallenden Farben und Muster präsentierend. Nachts suchen sie Schutz an der Oberfläche des Riffes, oft besitzen sie dann eine dunkle und unauffällige Farbe.*

*Die **Seeanemone** hat eine eigentümliches Verhältnis zum **Clownsfisch**, der zwischen ihren Tentakeln lebt und dadurch vor Freßfeinden geschützt ist. Es wird angenommen, daß der Schleim der oberen Hautschicht den Clownsfisch vor den Nesselzellen in den Tentakeln der Seeanemone schützt. Als Gegenleistung dafür verjagt der Clownsfisch mit seinem ausgeprägten Territorialverhalten andere Fische, die möglicher–weise der Seeanemone zwecks Nahrungsaufnahme zu nahe treten wollen.*

Einige Meeresschnecken benutzen ebenfalls die giftigen Nesselzellen der Seeanemone oder der

Korallenpolypen, nur bilden sie die Nesselzellen nicht selber. Wenn eine **Nacktschnecke** *die Tentakel einer Seeanemone abfrißt, löst sie die Nesselzellen nicht aus. Ganz im Gegenteil, die Nesselzellen werden in die exponierten Körper–teile, meistens die Kiemen, transportiert und dienen dort zum Schutz der Schnecke. Nackt–schnecken gibt es in den unterschiedlichsten Formen und mit den unterschiedlichsten Farben. Ihre prächtige Farbe soll wohl potentielle Freßfeinde warnen.*

Der Kofferfisch besitzt einen harten, ver–knöcherten Körper oder Panzer wie ein Baum–stumpf, was es für einen Jäger ziemlich knifflig werden läßt, ihn zu fressen. Einige sondern ein Gift aus ihrer Haut ab, wenn sie in Aufregung geraten. Kofferfische schwimmen langsam umher und ernähren sich von kleinen Tieren, Algen und Schwämmen.

Der Steinfisch verwendet gleich mehrere Mechanismen, um sich zu schützen. Einerseits tarnt er sich hervorragend und verschmilzt mit seiner Umgebung, andererseits besitzt er Rückenstacheln mit tödlichem Gift, das ihn davor bewahrt, gefressen zu werden. Es wird berichtet, daß der Steinfisch eines der tödlichsten Gifte des gesamten Indopazifiks besitzt. Wenn ein Taucher ihn berührt, kann schon die kleinste Menge injizierten Giftes ernsthafte Gesundheitsschäden nach sich ziehen.

Der achtarmige Krake, die zehnarmige Sepia und ihr Verwandter, der Kalmar sind ebenfalls wahre Meister der Tarnung. Sie können in Sekunden-schnelle die Farbe und auch die Oberfläche ihres Körpers verändern und den Untergrund, auf dem sie sitzen, kopieren. Wenn sie sich angegriffen fühlen, stoßen sie eine Wolke dicker, schwarzer Tinte aus, hinter der sie dann ungesehen verschwinden können. Sie besitzen ein hochentwickeltes Nervensystem mit relativ großem Gehirn und großen Augen. Diese großen Augen erweitern ihr Gesichtsfeld und erhöhen die Fähigkeit, nachts zu sehen, was natürlich auch hilft, Feinden aus dem Wege zu gehen. Sie benutzen diese Fähigkeit zur Tarnung, auch um ihrer Beute aufzulauern.

Viele Brassen können ihre Augen unabhängig voneinander bewegen. Eines schaut nach vorne, das andere späht nach Feinden. In der Dämmerung verstecken sich viele Papageifische in den Korallenblöcken. Dort sekretieren sie Schleim aus ihrem Mund und hüllen sich darin ein. Der Schleim verhindert, daß Geruchsstoffe in die Umgebung gelangen und ihre Feinde sie wittern und dann finden können.

Der Einsiedlerkrebs und die kleine gelbe Grundel schützen sich vor Feinden, indem sie sich in Löcher verkriechen. Der Einsiedlerkrebs macht das, indem er ein leeres Schneckenhaus mit sich herumträgt, und die Grundel zieht in ein hohles, totes Stück einer Koralle ein. Bei der geringsten Störung ziehen sie sich in ihre Behausung zurück, wo sie sicher sind. Grundeln gehören zu den kleinsten Fischen im Korallenriff, manche sind weniger als 1cm lang.

Wenn sie angegriffen werden, schützen sich der Igelfisch und der Kugelfisch dadurch, daß sie sich bis zur doppelten Körpergröße mit Wasser aufblasen, was es ihren Feinden sehr schwer macht, sie zu schlucken. Ebenso besitzen sie große, hervorstehende Augen, die in jede Richtung sehen können. Feinde werden sehr schnell entdeckt und sie können schnell und unentdeckt fliehen. Kugelfische produzieren ein starkes Gift, das Tetrodotoxin, das starke Vergiftungserscheinungen und auch den Tod verursachen kann, wenn dieser Fisch nach falscher Zubereitung gegessen wird. Trotz dieser Probleme wird der Kugelfisch in Japan als Delikatesse gegessen.

Wie kurz geschildert, ist die Symbiose der Riffkorallen mit einer Alge grundlegend für die Lebensraum Korallenriff. Hierzu finden Sie weiterführende Informationen im nachfolgenden Beitrag.

Korallenriffe sind für den Menschen äußerst wichtig. Dennoch macht der Mensch den Korallen–riffen schwer zu schaffen. Informationen hierzu finden Sie in getrennten Beiträgen in diesem Band.

LITERATUR

Im Text zitiert:

OLIVER, W.A.JR. & COATES, A.G. (1986): Phylum Cnidaria.- In: Boardman, R.S., Cheetham, A.H. & Rowell, A. (eds), Fossil Invertebrates, Blackwell, London.

PURDY, E.G. & BERTRAM, G.T. (1993): Carbonate Concepts from the Maldives, Indian Ocean.- AAPG Studies in Geology, **34***, Tulsa.*

WELLS, S. & HANNA, N. (1992): Das Greenpeace-Buch der Korallenriffe.- München (Beck-Verlag).

ZIEGLER, B. (1991): Einführung in die Paläobiologie. Spezielle Paläobiologie, Teil 2. Protisten, Spongien und Coelenteraten, Mollusken.- Stuttgart (Schweizerbart).

Für weiterführende Literatur verweisen wir auf Teil 3 dieses Bandes.

DANK

Dieser Artikel lehnt sich in Struktur und Inhalt in einigen Teilen an einen entsprechenden Artikel des Coral Forest Teacher's Guide von Coral Forest (ALEVIZON et al. 1996, siehe Teil 3 dieses Bandes) an; wir danken für die Anregung. Joachim Baumeister, Stuttgart, übersetzte die in diesen Artikel eingeflossenen Abschnitte des Coral Forest-Artikels.

Profil ***13****: 17-19, 3 Abb.; Stuttgart 1998*

Symbiose von Korallen mit grünen Dinoflagellaten: Grundlage der Riffbildung in tropischen Meeren

HANS-DIETER **GÖRTZ**, *STUTTGART**

Zwischen Riff-Bewohnern sind mannigfaltige Formen der Symbiose beschrieben. Raubfische lassen sich von Putzerfischen pflegen, Clownfische tummeln sich im Tentakelschopf von nesselnden Seeanemonen; weitere Beispiele ließen sich nennen. Grundlegend für den Lebensraum ist aber die Symbiose der Riffkorallen selbst mit dem Dinoflagellaten Symbiodinium microadriaticum. Diese Symbiose ermöglicht das Wachstum der Korallen, die massive Kalkbildung und damit das Wachstum der Riffe in den nährstoffarmen warmen Meeren überhaupt.

ANATOMIE DER SYMBIOSE

Die Symbionten leben in den Korallen in Entodermzellen (Abb. 1). Ektodermzellen sind stets frei von Symbionten. Die Symbionten brauchen das Sonnenlicht. Es ist deshalb verständlich, daß insbesondere die Entodermzellen der Tentakeln, des Coenosarks (das Gewebe, das die einzelnen Polypenindividuen verbindet) und der Mundscheibe Symbionten beherbergen.

Symbionten finden sich nur in Entodermzellen, wo sie einzeln in einer Vakuole leben. Außer der vegetativen, sphärischen Form der Symbionten, die sich durch Zweiteilung der Wirtszelle vermehrt, tritt das gymnodinoide Stadium auf. Dieses Stadium zeigt einen für Dinoflagellaten typischen Bau mit zwei Geißeln, deren eine in der Querrille (Cingulum) der Zelle unduliert, während die andere Geißel als Schleppgeißel fungiert. Zusätzlich zur vegetativen Vermehrung kann sich S. microadriatium auch sexuell fortpflanzen. In enzystierter Form durchlaufen die Zellen dabei eine Meiose und bilden bewegliche, eingeißelige Gameten aus, die haploid sind. Durch die Verschmelzung zweier Gameten entsteht wieder die diploide vegetative Form.

Korallen pflanzen sich überwiegend vegetativ fort. Sie wachsen aus und bilden Ableger. Bei der geschlechtlichen Fortpflanzung nehmen schon die befruchteten Eizellen vom Mutterorganismus Symbionten auf. Auch kleine Larven enthalten deshalb schon Symbionten. Die symbiontischen S. microadriaticum sind wirtsspezifisch. Verwandte

Abb. 1: Die Symbionten, Symbiodinium microadriaticum, und ihre Lage in den Wirtskorallen. a - vegetative Form der Symbionten in einer Vakuole einer Entodermzelle; b - gymnodinoides Stadium. Ch - Chloroplast; P - Pyrenoid; Mi - Mitochondrium; ZS - Zellkern des Symbionten; ZW - Zellkern der Wirtszelle.

*Prof. Dr. H.-D. Görtz, Biologisches Institut der Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 57, 70550 Stuttgart

Arten, die teilweise noch gleich benannt werden, werden als Symbionten anderer Tiere gehalten. Allgemein bezeichnet man "grüne Symbionten" von marinen Tieren auch als Zooxanthellen, wobei es sich überwiegend um Dinoflagellaten oder Diatomeen handelt, die meist wirtsspezifisch als Symbionten aufgenommen werden. Symbiontische S. microadriaticum haben gegenüber freilebenden Dinoflagellaten dieser Art eine fast völlig reduzierte Theka ("Schale"). Diese Veränderung ist reversible. Ausgeschiedene S. microadriaticum bilden eine für Dinoflagellaten typische, also stabilere Theka aus, wenn sie wieder freilebend wachsen. Die Theka besteht aus Celluloseplatten, die in flachen Vesikeln, sogenannten Alveolen, unter der Zellmembran die ganze Zelle umgeben (Abb. 2). Dinoflagellaten werden deshalb im Deutschen auch als Panzerflagellaten bezeichnet.

Abb. 2: Bau eines freilebenden Dinoflagellaten im Querschnitt, vereinfacht, schematisch. A - Alveolen mit Celluloseplatten, die den Panzer der Zelle bilden; Ch - Chloroplasten; G - Geißeln; Mi - Mitochondrien; P - Pyrenoid; Ph - Phagosome (Nahrungsvakuole); Z - Zellkern.

STOFFWECHSELBEZIEHUNGEN

Symbiontische Dinoflagellaten scheiden bis zu rund 50 % des fixierten Kohlenstoffs in Form kleiner Metabolite in die Wirtszellen verschiedener mariner Tiere aus. Mit bis zu 90 % der transportierten Metabolite hat Glycerin die größte Bedeutung. Auch Glucose und Alanin werden in die Wirtszelle abgegeben. Diese Substrate werden von den Korallen genutzt. Von den Korallen im Stoffwechsel gebildetes Acetat und CO_2 wird von den Symbionten wieder zum Aufbau von Photosyntheseprodukten genutzt. Die Symbionten geben außerdem Lipide ab, die von den Korallen direkt als Reservestoffe genutzt und außerdem zum Aufbau von Mucolipiden verwendet werden. Mucolipide dienen den Korallen als schützender Überzug und offenbar auch zum Einfangen von Planktonorganismen.

Es ist somit einleuchtend, daß die photosyntheseaktiven Symbionten den Korallen Vorteile bringen. Das gilt ganz ähnlich für verschiedenste andere Tierarten. Korallen haben aber einen zusätzlichen, ganz spezifischen Nutzen von ihren Symbionten. Durch die grünen Symbionten wird nämlich die Kalkbildung erheblich begünstigt. Aus dem Meerwasser wird das reichlich vorhandene Calcium von den Korallen aufgenommen. Durch den photosynthetischen CO_2-Verbrauch der Symbionten wird das HCO_3^- - Gleichgewichtsprodukt des Bicarbonatsystems für die Skelettbildung verfügbar. Die Zusammenhänge sind in Abb. 3 dargestellt. Die Kalkabscheidung erfolgt in Form von Aragonit (rhombisches Calciumcarbonat).

SYMBIOSE ODER AUSBEUTUNG?

Die Photosyntheseraten symbiontischer S. microadriaticum sind denen freilebender Individuen vergleichbar. Dennoch vermehren sie sich im Korallenwirt erheblich langsamer als freilebend. Das ist sicher zum Teil begründet durch Abgabe erheblicher Mengen von Photosyntheseprodukten an die Wirtszellen. Diese Abgabe von Metaboliten wird von den Wirtszellen durch hormonähnlich wirkende Faktoren gesteigert bzw. sogar erzwungen, wodurch indirekt die Zellteilung der Symbionten inhibiert wird. Zusätzlich geben die Wirtszellen offenbar organische Substrate wie Aminosäuren nur kontrolliert an die Symbionten ab; möglicherweise wird auch die Abgabe von anorganischen Substraten an die Zooxanthellen kontrolliert.

Symbiontische Dinoflagellaten sind also fest im Griff der Wirtszellen. Obwohl die Korallen die Zooxanthellen ausscheiden können, haben die Symbionten ihrerseits anscheinend keine Möglichkeit, die Wirtszellen zu verlassen. Sie sind gefangen, abhängig und müssen für ihre Wirte produzieren.

SCHUTZ DER KORALLEN TUT NOT

Obwohl Korallenriffe riesige Ausmaße annehmen können, sind sie doch empfindlich, sitzen doch die lebenden Individuen nur oben auf den Korallenstökken. Hier können ihre Symbionten das Sonnenlicht voll nutzen. Brechen die oberen Korallenenden ab und sinken nach unten in dunkle Bereiche oder werden tieferliegende von Ablagerungen bedeckt, müssen sie absterben, nicht nur weil sie Schwierigkeiten beim Nahrungserwerb haben, sondern auch weil kein Licht mehr zu ihnen vordringt. Aufgrund der

Bereitstellung von Lipiden und energiereichen Metaboliten und der Steigerung der Kalkbildung ist die Photosynthese der Symbionten für die Wirtskorallen äußerst wichtig. Es ist deshalb verständlich, daß Beeinträchtigungen der symbiontischen Dinoflagellaten sich auf die Korallen und die Riffbildung negativ auswirken. Schon eine Reduzierung der Lichtmenge, wie sie etwa nach Vulkanausbrüchen durch Verdunkelung vorkommen kann, kann die Riffbildung weitgehend zum Erliegen bringen. Wassertrübungen können sich in gleicher Weise auswirken, wobei Ablagerungen von Schwebstoffen zusätzlich noch die Nahrungsaufnahme und Atmung der Korallen blockieren und die Korallen schließlich irreversibel schädigen können. Die Kohlenstoff-Fixierung durch die Symbionten ist auch global gesehen von nennenswerter Bedeutung. Aufgrund der großen Ausdehnung der Korallenriffe errechnet sich ozeanweit ein Wert von ca 3 x 109 t fixiertem C pro Jahr. Das ist gewaltig viel, fast 10 % der gesamten marinen Primärproduktion. Es gilt also auch deshalb, Verschmutzungen der Meere zu vermeiden und die empfindlichen Korallenriffe zu schützen.

Abb. 3: Kalkbildung bei riffbildenden Korallen in Symbiose mit Dinoflagellaten. Nach KREMER IN WERNER, 1987. SP - Symbiontenphotosyntese mit CO_2-Fixierung; SA - Symbiontenatmung. Die Schritte 1. und 2. werden von der Carboanhydrase der Polypen vermittelt.

LITERATUR

CHEVALIER, J.-P. & TIFFON, Y.: Algues symbiotiques. In: Traité de Zoologie. Vol. III(3). Masson, Paris, 1987.

HAUSMANN, K. & HÜLSMANN, N.: Protozoology. Thieme Verlag, Stuttgart, 1996.

HINDE, R.: The fate of carbon in symbiosis between zooxanthellae and invertebrates: uncertainties and progress. Endocytobiology V (Editors: SATO, S., ISHIDA, M. & ISHIKAWA, H.). Tübingen University Press, Tübingen, 1993.

TRENCH, R.K.: The cell biology of plant-animal symbiosis. Ann. Rev. Plant Physiol. 30: 485-531, 1979.

WERNER, D.: Pflanzliche und mikrobielle Symbiosen. Thieme, Stuttgart, 1987.

Hinweis: *Auch manche wirbellose Tiere unserer heimischen Gewässer beherbergen grüne Symbionten. Am besten zu beobachten ist diese Symbiose bei dem grünen Paramecium, Paramecium bursaria, und dem grünen Süßwasserpolypen, Chlorohydra (Hydra) viridissima. Beide Organismen können in begrenztem Umfang nach Voranmeldung zusammen mit Kultur- und Beobachtungsanleitung bezogen werden von der Abteilung Zoologie des Biologischen Instituts, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 57, 70550 Stuttgart.*

Profil ***13****: 21-36, 3 Taf.; Stuttgart 1998*

Der Mensch und die Riffe: Bedeutung, Gefährdung, Schutzmaßnahmen

REINHOLD **LEINFELDER**, *STUTTGART** & *FRANZ* **BRÜMMER**, *STUTTGART***

DIE BEDEUTUNG VON RIFFEN FÜR DEN MENSCHEN

Unsere faszinierenden heutigen Korallenriffe stellen nach dem tropischen Regenwald das Ökosystem mit den meisten Tier- und Pflanzenarten dar. Etwa 1.000.000 Arten, so schätzt man, leben in den Riffen. Allerdings sind bisher nur 65.000 davon bekannt, die meisten sind also noch gar nicht entdeckt. Dies trifft insbesondere auf die unzähligen kleinen Arten von Würmern, Gliederfüßlern und Weichtieren zu, die in den Lückensystemen der Riffe leben. Die Evolution ist in den Riffen besonders aktiv; der engbegrenzte und von so vielen Organismen gleichzeitig bewohnte Lebensbereich bedingt einen starken evolutiven Druck und bewirkt neue Erfindungen, wie z.B. die vielen Lebensformen, die aus Symbiosen Vorteil ziehen. Riffe sind also bereits wegen ihres immensen Artenreichtums und ihrer unglaublich komplexen ökologischen Zusammenhänge bewunderns- und schützenswert, aber auch von ungeheuerem Wert für die wissenschaftliche Forschung.

Darüberhinaus haben Riffe jedoch eine große allgemeine Bedeutung für den Menschen. Sie sind mehr als ästhetische Strukturen, die aber neben den Riffwissenschaftlern nur von Schnorchlern und Tauchern bewundert werden oder andere vielleicht einmal in einem Unterwasserfilm erfreuen. Die Riffwälle bilden Sturmbarrieren, welche Küsten schützen und natürliche Häfen bilden. Fische und Weichtiere, die Hunderte von Millionen Menschen ernähren, finden im Riff Lebensraum. Vom Küstentourismus leben noch weit mehr Menschen; auch er wäre ohne Riffwachstum stark eingeschränkt. Bislang nur erahnbar ist, welche ungeheure biologische Ressource für pharmazeutische Produkte Riffe - ähnlich wie Regenwälder - darstellen. Möglicherweise stellen Riffe sogar wichtige Klimapuffer dar, deren Bedeutung bis heute ebenfalls nicht vollständig klar ist. Fossile Riffe erlauben uns, weitreichende Rekonstruktionen früherer Umweltbedingungen zu erstellen, welche zur Simulation unserer Zukunft durch Computermodellierungen herangezogen werden können. Riffe, die während der letzten Eiszeiten wuchsen, sowie die Hunderte bis Tausende von Jahre alten Anteile unserer noch lebenden Riffe haben den Klimaverlauf aufgezeichnet und helfen uns, natürliche und menschengemachte Veränderungen zu differenzieren. Die größten Erdöllagerstätten der Welt befinden sich ebenfalls in fossilen Riffsystemen.

Riffe als Küstenschutz und Landgewinnungssysteme

Tropische und subtropische Bereiche werden häufig von schweren Stürmen heimgesucht. Aus der Karibik sind uns besonders viele Beispiele bekannt. Hurricanes, aber auch weniger starke Stürme würden jedoch noch weitaus mehr Schäden anrichten, wenn die Inseln und Küstenabschnitte in diesen Gebieten nicht von Riffen geschützt wären. Die Riffbarrieren wirken als Wellenbrecher. Man muß sich nur einmal den enormen Wellengang in einem zum Meer hin offenen flachen Außenriff vorstellen; im Gegensatz dazu die dahinterliegende ruhige Lagune (Taf. 1/1, 2). Schnell wird damit die Schutzfunktion der Riffe deutlich.

* Prof. Dr. Reinhold Leinfelder, Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Stuttgart, Herdweg 51, 70174 Stuttgart; Fax: 0711-1211341; Email: reinhold.leinfelder@geologie.uni-stuttgart.de

** PD Dr. Franz Brümmer, Biologisches Institut - Zoologie, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 57, 70550 Stuttgart; Fax: 0711-6855096, Email:bruemmer@po.uni-stuttgart.de

neue Adresse von R. Leinfelder siehe Vorwort zur online-Auflage, Umschlaginnenseite

Viele Inseln und Küstenbereiche sind überhaupt nur vorhanden, weil sie von solchen umgebenden Riffen vor den starken Ozeanwellen geschützt werden. Würden diese verschwinden, verlagerten sich viele Küstenlinien schnell landwärts und so manche Insel wäre schnell abgetragen. Riffe verhindern aber nicht nur Abtragung, sondern können sogar zu neuen Landflächen führen. Lagunen bilden sich nur, wo Riffe vorhanden sind. In den Lagunen produzieren viele Organismen durch ihre Skelette und ihre Ernährungsweise viele kalkige Sedimentpartikel. Schuttmaterial aus den Riffen wird durch Wellen ebenfalls in die Lagunen verfrachtet. Beides zusammen bedingt, daß Lagunen flach bleiben und oftmals zunehmend flacher werden. Größere Stürme können hinter Riffen sowie in der Lagune Sandeilande aufwerfen, die durch Mangroven, nachdem sich eine Süßwasserlinse gebildet hat, später auch durch andere Landpflanzen, wie z.B. Kokospalmen besiedelt werden können. Die Bevölkerung auf solchen Inseln ist ein integrierter Teil des Ökosystems. Lebenswichtig für die Bevölkerung sind dabei Fischfang mit umweltverträglichen Methoden, die maßvolle Verwendung von bei Hurricanes in die Lagune geworfenen toten Korallenblöcken als Baumaterial sowie die vollständige Verwertung von Kokospalmen und anderen Pflanzen. Unglaublich, was man aus Kokospalmen alles herstellen kann: die Liste reicht von Getränken, Essig, Ölen, Fetten und anderen Nahrungsmitteln, Kinder und Säuglingsheilnahrung, Holzkohle aus Schalen, Seilen aus der Kokoswolle, Behältnissen und Dächern aus Blättern bis zu Bau- bzw. Bootsholz.

Fischfang

In den Riffen ist der Reichtum an Fischen, aber auch an Mollusken und Schalentieren sprichwörtlich (Taf. 1/3). Die Bevölkerung in Riffgebieten, mehrere Hundert Millionen Menschen, ernährt sich deshalb zu einem überwiegenden Teil von diesen Nahrungsquellen. Viele Fische, die aber auf hoher See oder auch in Lagunen gefangen werden, haben ihre Kinderstuben in den Höhlen- und Spaltensysteme der Riffe. Darüberhinaus kommen viele Hochseefische an und in die Riffe zum Beutefang. Das Verschwinden der Riffe hätte also nicht nur Folgen für den Riffang in direkter Umgebung, sondern auch weitreichende Auswirkungen auf den Fischfang generell, also auch für Nichtriffregionen wie Europa.

Tourismus

Urlaubsreisen sind ein Luxus, den sich fast ausschließlich Bewohner reicher Länder oder die Reichsten der Bewohner armer Länder leisten können. Allerdings darf man daraus nicht ableiten, daß beim Verschwinden von Riffen eben nur diese Touristen betroffen wären. Die wichtigste Einnahmequelle von Entwicklungsländern ist heute der Tourismus, insbesondere der Küstentourismus. Viele Riffe befinden sich in Entwicklungsländern. Die Einnahmen im Küstentourismus allein in der Karibik, einem der klassischen Riffgebiete belaufen sich jährlich auf mindestens 10 Milliarden US $; Tendenz steigend. Werden die Riffe zerstört, bleiben nicht nur die Rifftouristen weg. Wie wir bereits geschildert haben, gibt es ohne Riffe keine flachen, ruhigen, grünblauen Lagunen, fallen ohne schützendes Riffbollwerk viele idyllische Sandstrände der Abtragung der Wellen zum Opfer und viele Küstenressorts wären den häufigen Stürmen schutzlos überlassen (Taf. 3/5). Damit würden nicht nur die Rifftouristen, sondern auch die 'nur' tropische Idylle und Strände suchenden, zahlenmäßig überwiegenden Normaltouristen wegbleiben und viele Entwicklungsländer vor dem Bankrott stehen. Aktive Sporttaucher gibt es weltweit etwa 7 Millionen, wobei die Deutschen wahrscheinlich die größte Gruppe stellen. Schnorcheltouristen belaufen sich auf ein Vielfaches davon und die Zahl von Touristen, die Riffe nicht selbst besuchen, jedoch in Riffländern Urlaub machen, liegt noch um eine Potenz höher.

Aber auch in den Industrieländern wären merkliche Wirtschaftseinbußen spürbar. Der Tourismus in Riffgebiete stellt einen wichtigen Wirtschaftsfaktor auch in den Standorten Deutschland, Österreich und der Schweiz dar; man denke nur an die Reiseveranstalter, Tauchausrüster, Tauchschulen und sonstige Wassersportgerätehersteller. Nicht ohne Grund ist eine der weltgrößten Messen für Wassersport, die „boot" in Deutschland (Düsseldorf) angesiedelt und zieht jährlich fast eine halbe Million Besucher an.

Pharmazeutische Ressourcen

Erst in letzter Zeit erkannt wird die Bedeutung von Riffen hinsichtlich der vielfältigen biologisch wertvollen Substanzen, die Rifforganismen produzieren. Diese Organismen - allen voran Schwämme, Weichkorallen, Algen, Seegurken und Seescheiden - stellen ein unbezahlbares und derzeit unüberschaubares Reservoir medizinisch bedeutsamer Stoffe dar, deren Erforschung gerade erst begonnen hat (Taf. 1/4). Die genetischen Ressourcen haben nach Schätzungen einen Wert in der Größenordung von vielen Milliarden von Mark. Prostaglandin etwa regt glatte Muskeln an und wird unter anderem in der Behandlung von Herz-Kreislauferkrankungen, Asthmaleiden, Magengeschwüren und zur Geburtserleichterung eingesetzt. Es fand sich früher nur in winzigsten Mengen in bestimmten Blättern und den Harnblasen von Schafen und war deshalb etwa hundertmal teurer als Gold. Inzwischen kann man es

aus Hornkorallen gleich grammweise extrahieren. Korallenskelette werden inzwischen auch als Knochenersatz verwendet, da der Körper dagegen weniger Abstoßreaktionen zeigt, als bei künstlichen Prothesen. Gegen viele üblicherweise verwendeten Antibiotika sind die Erreger bereits resistent geworden. Es gibt Hoffnung, daß die Rifforganismen neue Substanzen produzieren, die der Mensch entdeckt und nutzen kann. Wir haben bereits aus Rifforganismen gewonnene Stoffe, die den Verlauf von Krebs und Aids abmildern, vielleicht kann ja das Riff sogar einmal die Substanzen zur vollständigen Heilung liefern. Natürlich erfordert dies eine ökologisch vertretbare und nachhaltige Nutzung der Riffressourcen. Raubbau muß auch hier in jedem Fall vermieden werden.

Riffe als Frühwarn- und Aufzeichnungssystem von Umweltveränderungen

Riffe stellen wichtige Frühwarnsysteme für den Zustand bzw. die Änderung lokaler, regionaler und wohl auch globaler Umweltänderungen dar. Sterben Riffe in einem bestimmten Areal ab, bekommt man damit häufig einen wichtigen Hinweis auf einen neuen Umweltverschmutzer und kann gegebenenfalls noch rechtzeitig einschreiten. Anwendungen ergeben sich etwa bei übermäßiger Dünger- und Pestizideinleitung, aber auch zum Nachweis fehlender Filteranlagen etwa bei Schwermetallen. Dies erfordert natürlich die ständige Überwachung ausgewählter, nach einem bestimmten Plan verteilter Riffgebiete. Auch nachträglich kann man noch derartige Verschmutzungen rekonstruieren. Steinkorallen wachsen mehrere Millimeter bis Zentimeter pro Jahr und bilden in ihrem Skelett Jahreszuwachsstreifen ab, die man mit den Jahresringen von Bäumen vergleichen kann (Taf. 1/6). Bohrt man in eine lebende Koralle vorsichtig ein Loch und entnimmt einen Skelettkern, kann man die Jahre rückwärts abzählen und hat so in manchen Fällen eine Überlieferung bis zu 1000 Jahren. Einleitung von Schadstoffen, z.B. von Schwermetallen, hinterlassen Anreicherungen dieser Elemente im Kalkskelett, sofern die Koralle das Ereignis überlebt hat. Die Schadensquelle kann man so auch noch nach Jahrzehnten ausfindig machen. Schwermetalleinleitungen gehen häufig auf fehlende Filterung von Schadwässern bzw. Schadensfälle aus dem Erzbergbau zurück. Die beschriebene Methode kann auf eine verunreinigte Flußmündung hinweisen. Auch nach Jahren kann so die Häufigkeit von Schadensfällen in Erzminen nachgewiesen werden, selbst wenn diese am Oberlauf der Flüsse angesiedelt sind.

Während des Wachstums von Korallenriffen werden auch die Wassertemperaturen sehr detailliert aufgezeichnet. Das Verhältnis der natürlich vorkommenden Sauerstoffisotopen O^{16} und O^{18} ist temperaturabhängig und wird entsprechend im Korallenskelett überliefert. Wiederum kann man die Jahre zurückzählen oder mit der C^{14}-Methode das Alter der Korallen radiometrisch bestimmen. Man erhält so wertvolle Hinweise, wie sehr die Temperaturen über die Jahre geschwankt haben und ob sich seit Beginn der Industriellen Revolution vor etwa 100 Jahren Änderungen ergeben haben. Riffe können damit entsprechende Aufzeichnungen im polaren Gletschereis für den tropisch/ subtropischen Bereich ergänzen und stellen somit eine wertvolle Datenbasis dar, um unser zukünftiges Klima langfristig vorherzusagen. Während von manchen noch diskutiert wird, ob sich die Welt tatsächlich in den letzten Jahrzehnten erwärmt hat, sprechen die Riffe hier eine recht klare Sprache. Sie vermitteln dabei ein differenziertes Bild, in denen natürliche Klimaschwankungen, wie etwa die El Niño-Ereignisse und anthropogene Änderungen gleichermaßen aufgezeichnet werden.

Riffe und Klima

Riffe bilden immense Mengen von Kalk ($CaCO_3$) und sind damit eng in den Kohlenstoffkreislauf eingebunden.

Riffe als Säureregulator

Der Salzgehalt unserer Meere beruht auf der Konzentration von Kationen und Anionen im Meerwasser. Als Verwitterungsprodukte im Flußwasser gelöst (etwa Kalzium und Natrium als Kationen, Bikarbonat, Chlorid und Sulfat als Anionen) werden sie vom Festland ins Meer verfrachtet. Kohlendioxid löst sich darüberhinaus direkt von der Atmosphäre im Meerwasser und reagiert dort zum Teil mit Wasser unter Bildung von Bikarbonat- und Sauerstoffionen. Das Bikarbonat steht wiederum mit dem im Riff ausgeschiedenen festen Kalk (Kalziumkarbonat) im Gleichgewicht. Die Lösung der Ionen bewirkt Säure- und Laugenbildungen, wobei insbesondere dem Bikarbonation eine stark puffernde Wirkung zugute kommt, so daß Meerwasser einen leicht basischen Chemismus hat. Wäre Bicarbonat nicht oder aber übermäßig vorhanden, würde der Säuregehalt der Meere stark schwanken. Diese Änderungen könnten die Organismen schlecht oder überhaupt nicht vertragen. Zudem würde sich die Löslichkeit des atmosphärischen Kohlendioxids im Meerwasser ändern und das für unser Klima so wichtige Gleichgewicht durcheinander bringen. Da auch andererseits durch Verwitterung dauernd Bicarbonat-Ionen zugeführt werden, muß durch Kalkbildung Bikarbonat laufend entzogen werden, um das Kohlendioxid-Gleichgewicht und damit das Klimagleichgewicht zu erhalten. Riffe haben daran einen entscheidenden Anteil.

Tafel 1: Bedeutung von Riffen

Abb. 1: Riffe als Brandungsschutz. Das Barriereriff schützt die dahinterliegende Lagune und die kleine Insel vor den starken ozeanischen Wellen, dahinter liegende Festländer sind ebenfalls geschützt.

Abb. 2: Um Inseln können sich Saumriffe und kleine Barriereriffe (Vordergrund links) bilden, die die Insel vor Erosion schützen.

Abb. 3: Der Fischreichtum von Riffen ist sprichwörtlich und stellt für viele Menschen die Ernährungsgrundlage dar. Auch viele Hochseefische sind auf Riffe angewiesen, da sie dort ihre Kinderstuben haben oder zum Fressen ans Riff kommen.

Abb. 4: Rifforganismen wie Hornkorallen, Algen, Seegurken, Seescheiden oder die abgebildeten Schwämme stellen ein gewaltiges Reservoir medizinisch bedeutsamer Stoffe dar, deren Erforschung gerade erst begonnen hat.

Abb. 5: Von Küstentourismus leben viele Länder, und auch in Europa wird viel Geld damit verdient. Viele traumhafte Sandstrände würden sich ohne Riffe überhaupt nicht bilden bzw. wären schnell fortgespült, wären sie nicht wie in der Abbildung durch Riffe geschützt.

Abb. 6: Jahresringe eines angebrochenen Korallenskelettes in starker Vergrößerung. Die chemische Zusammensetzung der Jahresringe erlaubt Rückschlüsse auf frühere Wassertemperaturen und Wasserverunreinigungen. Korallen werden damit zu einem wichtigen Überwachungsinstrument für den Zustand der Meere sowie zu einer Datenbasis zur Vorhersage zukünftiger Klimaentwicklungen.

Abb. 7: Fossile Riffe formen oft spektakuläre Landschaften wie hier am Schlernmassiv in den Dolomiten. Die Abbruchskante zeichnet das ehemalige, ca. 230 Millionen Jahre alte Riff nach, die geneigten Schichten repräsentieren das ehemalige Vorriff. Rechts unten ist die Seiseralm zu sehen. Auch vor 230 Millionen Jahren war dieser Bereich tiefer als das Schlernriff. Das Bild spiegelt somit die topographischen Verhältnisse am Meeresboden vor 230 Millionen Jahren wieder. Die enorme Kohlenstoffbindung durch Riffe war während der ganzen Erdgeschichte ein wichtiger Faktor der Klimaentwicklung und ist es auch heute noch.

Abb. 8: Die größten Erdöllagerstätten der Welt liegen in mehrere 1000 Meter Tiefe abgesunkenen und von jüngeren Sedimenten überdeckten fossilen Riffen. Dies liegt an der schon primär hohen Porosität der Riffe. Die Abbildung zeigt ein aus der Devonzeit stammendes, ca. 380 Millionen Jahre altes Korallenatoll im Querschnitt, welches heute eine große Erdöllagerstätte darstellt. Die senkrechten Striche markieren Erdölbohrungen.

Die bei der Kalkbildung wichtigen Reaktionen sind:

$$2H_20 + 2CO_2 = 2HCO_3^- + 2H^+$$

(Wasser + Kohlendioxid im Gleichgewicht mit Bikarbonationen und Wasserstoffionen)

$$Ca^{++} + 2HCO_3^- = CaCO_3 + CO_2 + H_20$$

(Kalziumionen + Bikarbonationen im Gleichgewicht mit Kalziumkarbonat (Kalk) + Kohlendioxid + Wasser)

Riffe als Kohlendioxidpuffer

Komplizierter und in der Fachwelt noch umstritten diskutiert ist die Frage, ob Riffwachstum auch zur Abpufferung des menschengemachten Treibhauseffektes direkt beitragen könnte oder ihn gar verstärkt. Im Riffkalk steckt indirekt eine ungeheure Menge des Treibhausgases Kohlendioxid. Träufelt man verdünnte Salzsäure oder eine andere Säure auf ein Korallenskelett, so braust es auf. Die entstehenden Blasen stellen Kohlendioxid dar. Der Aufbau ganzer Kalkgebirge durch Riffkomplexe (zum Beispiel die Dolomiten oder weite Bereiche der Nördlichen Kalkalpen) macht klar, welche Unmengen von Karbonat durch Riffwachstum in die Atmosphäre im Laufe der Erdgeschichte verfrachtet wurde und auch heute noch verfrachtet werden. Würde man das Kohlendioxid z.B. nach obiger Methode aus dem Karbonat befreien, käme es wohl zu einer unglaublichen Klimakatastrophe. Tatsächlich kann dies jedoch nicht eintreten und die Prozesse sind komplizierter. Durch Riffkalkbildung wird nämlich nicht nur Kohlenstoff (in Form des dem Kohlendioxidmoleküls ähnlichen Karbonatmoleküls) in die Erdkruste verfrachtet, sondern auch gleichzeitig durch Änderung des Säure-/Basengleichgewichts einiges an Kohlendioxid an die Erdatmosphäre abgegeben. Einerseits verschwindet also Karbonat in der Erdkruste. Andererseits wird, anorganisch betrachtet, durch Kalkfällung Kohlendioxid an die Atmosphäre abgegeben. Manche Wissenschaftler meinen, daß sich Riffe dadurch gleichsam das von ihnen gewünschte warme Klima stabilisieren. Umstritten ist aber insbesondere, ob die Photosythese der Korallensymbionten nicht doch mehr Kohlendioxid bindet und somit Riffwachstum vielleicht doch atmosphärisches Kohlendioxid aus dem Verkehr zieht. Auch fossile Riffe, die heute auf dem Festland liegen (Taf. 1/7), sind in den Kohlendioxidkreislauf einbezogen.

Leduk-Atoll, Devon, Kanada

1

2

3

4

5

6

7

8

Tafel 2: Gefahren für Riffe

Abb. 1: Intensive Besiedlung, wie hier durch die Großstadt direkt in einem Riffgebiet, birgt große Gefahren für Riffe, wenn Schadstoffe ungefiltert in die Riffregionen abgelassen werden. Diese Stadt ist sich hoffentlich bewußt, daß sie ihren Schutz vor tropischen Sturmwellen nur den Riffen zu verdanken hat, die sich durch die Schaumkrone gebrochener Wellen im Hintergrund abzeichnen.

Abb. 2: Große Mengen schädlichen Schlicks werden durch Baumaßnahmen an Küsten in die Riffregionen verbracht. Dabei ist Schutz oft einfach und nicht teuer. Diese Schwimmkörperkette hält den aufgewühlten Schlick direkt an der Küstenbaustelle zurück und darf erst wieder abgenommen werden, wenn sich die feinen Schwebteile (oft erst nach Wochen und Monaten) wieder abgesetzt haben.

Abb. 3: Mangroven an tropischen Küsten fangen viel von Flüssen eingetragenen Schlick ab und verhindern zudem zu hohe Nährstoffgehalte im Riff. Die weitverbreitete Abholzung dieser einzigartigen Küstenwälder zu Siedlungszwecken, aber auch zur Anlage von Fisch- und Garnelenzuchtbecken schädigt damit auch die Riffe.

Abb. 4: Selbst die weit im Hinterland stattfindende Abholzung von Regenwäldern schädigt Riffe. Tropische Regenfälle waschen den Boden ab; dieses Material gelangt mit den Flüssen in die Küstenregionen, wo es Riffe zum Absterben bringt. Das Bild zeigt den Austritt schlammbeladenen Wassers in Riffgebiete an an einer Flußmündung.

Abb. 5: Von Weichalgen überwucherte Geweihkorallen. Ursache ist eine durch Abwassereintrag verursachte Überdüngung in Verbindung mit starker Überfischung herbivorer Fische.

Abb. 6: Absatz von Schlickmaterial auf einem Riff. Das Riff ist unrettbar verloren, Korallenlarven können sich auch nach eventueller Besserung der Verhältnisse auf dem weichen Material nicht wieder ansiedeln.

Abb. 7: Trügerische Idylle: Dieser Fischer trägt Zeichen der typischen Berufskrankheit von Dynamitfischern: Es fehlt ihm ein Teil seines rechten Armes. Dynamitfischerei ist ähnlich wie Zyankalifischerei nach wie vor sehr weit verbreitet. Beide können nur durch Einrichtung alternativer Einkommensmöglichkeiten abgeschafft werden.

Abb. 8: Schleppnetzfischerei in Riffnähe. Der überwiegende Anteil des gefischten Materials besteht hier aus Schwämmen und ist für die Ernährung unbrauchbar. Die Riffe werden dadurch jedoch nachhaltig geschädigt.

Durch Verkarstung werden gewaltige Mengen von atmosphärischem Kohlendioxid in wassergelöstes Bikarbonat übergeführt.

Man darf auf die weitere Diskussion der Wissenschaftler gespannt sein. Sicher ist jedoch, daß das Riffwachstum in die komplizierten Klimaprozesse einbezogen ist. Schon alleine deshalb hat man man allen Grund, nicht in dieses System einzugreifen und aktiv Riffschutz zu betreiben.

Erdöl und Erdgas

Riffe haben viele Höhlen, Spalten und Poren, in denen Rifftiere leben. Diese Kavernensysteme werden meist auch in fossilen Riffen erhalten. Weiterhin kann das Kalkskelett vieler Rifforganismen zusätzlich angelöst werden, so daß noch mehr Poren entstehen. All diese Kavernen stehen miteinander in Verbindung. Damit werden fossile Riffe zu hervorragenden Erdöl- und Erdgasspeichergesteinen (Taf. 1/8). Auch Erdölmuttergesteine sind häufig direkt mit den Riffsystemen verbunden. In tieferen Lagunenbereichen, aber auch im tieferen Vorriff kann es durch hohen Anfall organischen Materials zu Muttergesteinsbildung kommen. Werden diese Areale später von dicken Sedimentpaketen überlagert, kommt es unter dem entstehenden Druck und der entstehenden Wärme zur Bildung von Erdöl oder Erdgas, welches dann direkt in die porösen, fossilen Riffe einwandern kann.

Die größten Öllagerstätten überhaupt finden sich in fossilen Riffkomplexen. In Nordamerika sind Riffe des Erdaltertums von großer Wichtigkeit, auf der Arabischen Halbinsel steckt sehr viel Öl in riffreichen Plattformkarbonaten aus Jura und Kreide. In Texas wird derzeit intensiv und durchaus erfolgreich in jurassischen Riffen nach Öl und Gas gesucht.

Fossile Riffe: Aus der Vergangenheit für die Zukunft lernen

Auch fossile Riffe sind für die Rifforschung von wesentlichem Interesse. Neben dem Verständnis früherer Riffsysteme können fossile Riffe auch zum besseren Verständnis heutiger Riffe beitragen. Fossile Riffe sind im Aufschluß nicht nur trockenen Fußes untersuchbar, sie überliefern insbesondere die wichtige Dimension Zeit. Die initiale Riffbesiedlung, Unterschiede in der Riffzusammensetzung im Laufe der Zeit und insbesondere auch das Absterben von Riffen sind hier besonders gut untersuchbar. So zeigen viele fossile Beispiele den besonderen Einfluß von Sedimentation beim Absterben von Riffen an. Dies läßt die Beeinflussung heutiger Riffe durch anthropogenen Sedimenteintrag (siehe unten) in besonderem Licht erscheinen. Auch Beispiele für

Sauerstoffzehrung und regionales bis globales Absterben von Riffen sind in der Erdgeschichte vorhanden. Gerade die Erdgeschichte zeigt, daß Riffe stabile Systeme darstellen, sofern wichtige Rahmenbedingungen erfüllt sind. Wie anders hätten manche Riffe sonst über Millionen von Jahren wachsen können und dabei Kalkmächtigkeiten von mehreren Tausend Meter produzieren können. Andererseits zeigt es auch, daß manche Bedingungen (etwa der Sauerstoffgehalt oder das Fehlen von Sedimenteintrag) besonders kritisch sind und bei Änderung dieser Bedingungen das Riffsystem sehr schnell aus dem Gleichgewicht kippen kann. Riffe können sich auch an veränderte Umweltbedingungen anpassen. Da dies überwiegend über die Evolution und Selektion der Rifforganismen stattfindet, müssen die Änderungen der Umweltparameter allerdings sehr langsam vonstatten gehen. Jede zu schnelle Änderung, so wie wir das auch heute durch den menschlichen Einfluß erleben, barg auch in der Erdgeschichte immense Gefahren. Nach größeren Riffkrisen konnten Millionen von Jahre vergehen, bis sich wieder größere Riffsysteme etablieren konnten.

Da sich in fossilen Riffen auch die fossilen Umweltbedingungen und deren Änderungen widerspiegeln, erlauben solche Riffe die Rekonstruktion wichtiger regionaler und globaler Milieu- und Klimafaktoren früherer Zeiten. Eine besondere Anwendung, die zukünftig sicher eine noch größere Rolle spielen wird, ist folgende. Klimarekonstruktionen aus früheren Zeiten kann man aus fossilen Klimazeugen, wie z.B. fossilen Warmwasserriffen oder der Verteilung von Kohle- und Salzvorkommen ableiten. Da inzwischen jedoch nicht nur die früheren Kontinentkonstellationen, sondern auch die Höhe des Meeresspiegels und weitere das Klima bestimmende Faktoren bekannt sind, kann man auch mit umfassenden Computermodellierungen das Klima früherer Zeiten modellieren und diese Computerergebnisse mit den aus den fossilen Klimazeugen gewonnenen Vorstellungen vergleichen. Man erkennt so Fehler an den Computermodellen und kann die mathematischen Grundlagen dieser Modelle verbessern. Mit solchen Computermodellen wird auch zunehmend unsere eigene Zukunft vorhergesagt, und politische und wissenschaftliche Entscheidungen werden darauf basieren; umso wichtiger, daß diese Modelle auch optimiert werden. Die fossilen Riffe können uns dabei helfen.

ANGRIFF AUF DIE RIFFE: UNTER WASSER SIEHT'S JA KEINER!

Riffe sind im wesentlichen stabile Systeme, wir diskutierten dies gerade. Innerhalb von definierten Rahmenbedingungen lassen sie sich nicht so schnell aus dem Gleichgewicht bringen. Auch bedrohliche Ereignisse, wie Krankheitsepidemien oder Schäden durch tropische Wirbelstürme stecken sie schnell weg, sofern ansonsten die Bedingungen günstig sind bzw. bleiben. Dauerstreß durch den Menschen bedroht die Riffe aber zunehmend und manövriert sie an den Rand ihrer Überlebensmöglichkeiten. Oft genügt dann nur ein kleines Ereignis, um das System unwiderruflich aus dem Gleichgewicht zu bringen. Tote, kahle oder veralgte Riffe statt einem faszinierenden Farbenrausch unter Wasser und katastrophale Auswirkungen für die Menschheit (siehe vorhergehendes Kapitel) sind die Folge.

Nicht nur hinsichtlich ihrer Faszination, ihrer Artenvielfalt und ihrer ausgeklügelten ökologischen Beziehungen sind Regenwälder und Korallenriffe vergleichbar, sondern leider auch hinsichtlich des Ausmaßes ihrer Schädigungen. Riffe haben jedoch das zusätzliche Problem, daß ihr Gesundheitszustand nicht wie etwa bei Regenwäldern ohne weiteres vom All aus mit Satelliten zu erfassen ist; die Schädigungen liegen unter Wasser und sind nicht so leicht zugänglich, allseits publizierte Riffbilder stammen aus überwiegend gesunden Riffen und halten weiterhin ein Heilewelt-Bild aufrecht, und die Bedeutung von Riffen für den Menschen ist weit weniger bekannt als die Bedeutung des Regenwaldes.

Nach bisherigen ernstzunehmenden Schätzungen sind bereits 10% aller Riffe so beschädigt, daß sie sich wohl nicht wieder erholen können. Weitere 30% sind im kritischen Zustand und sterben voraussichtlich in den nächsten 10 bis 20 Jahren. Zusätzliche 30% halten es vielleicht noch bis ins Jahr 2050 aus.

Im Jahr 1997 wurde anläßlich des Internationalen Jahr des Riffes die weltweite „ReefCheck"-Aktion durchgeführt, bei der über Hundert Riffwissenschaftler in Zusammenarbeit mit 750 freiwilligen Sporttauchern in 30 Ländern über 300 Riffe auf ihren Zustand untersuchten. Deutsche und schweizerische Riffwissenschaftler und Sporttaucher waren im Rahmen von ReefCheck übrigens für das Rote Meer und die Malediven zuständig. Die Untersuchungen geschahen weltweit überwiegend gleichzeitig und mit der gleichen Methodik, so daß zum ersten Mal vergleichbare Zahlen vorliegen. Insbesondere sollte der mögliche Einfluß des Menschen auf die Riffe bewertet werden. Aus diesem Grund wurde das Vorhandensein von Indikatorarten besonders genau dokumentiert. Unter vielen anderen wurde z.B. auf folgende Gruppen besonders geachtet: Häufigkeit der majestätischen Napoleonsfische im indopazifischen Bereich als Maß für den Einfluß der Cyanidfischerei (s.u.); Häufigkeit von Langusten und Riesenmuscheln als Maß für übermäßige Nutzung der

Schalen- und Weichtiere, Dichte des Korallenbewuchses u.s.w. Die zum Zeitpunkt der Drucklegung vorliegenden (auf der Auswertung von 230 Riffen basierenden) Daten sind erschreckend. Insgesamt wurden nur 26 Napoleonsfische gesehen, in 85% aller indopazifischen Riffe (- nur dort können sie vorkommen -) wurde kein einziger gesehen. In 81% aller Riffe wurden auf der speziell ausgewählten Testfläche (- etwas größer als ein Fußballfeld) überhaupt keine Langusten beobachtet; Bestände von mehr als 10 wären für eine derartige Fläche normal. Auf der gleichen Testfläche lebten im Schnitt 17 Riesenmuscheln. Eine Idee, wie natürliche Populationen ausgesehen haben mögen, geben die Zahlen von 150-250 Riesenmuscheln pro Beobachtungsfläche an einigen geschützten Stellen in Australien und im Roten Meer. Und vielleicht das Erschreckendste: in 99% aller Riffe fanden sich negative Spuren menschlichen Handelns! (Quelle: Presseverlautbarung der Dachorganisation von ReefCheck-International, Hongkong 16.Okt.97).

Wie sagte der bekannte Riffbiologe Jeremy Jackson von der Smithsonian Tropical Research Institution in Panama in einem Interview mit der TIME (Oktober 96): 'Früher war ich keiner von denen, die vorhersagten, daß der Himmel auf uns herunterfällt. Heute denke ich anders. Wenn ich heute in einem Riff in Panama schwimme, weine ich!' Nicht nur, damit wir unseren Enkeln noch die faszinierende Welt der Riffe zeigen können, nicht nur, um dieses komplexe Ökosystem zu erhalten, sondern insbesondere auch, um uns zu schützen, müssen wir alle dazu beitragen, Riffe zu erhalten. Beleuchten wir die Gefährdung der Riffe dazu näher:

Gefahren durch zunehmende Besiedlung bzw. "Kultivierung" von Küsten mit vorgelagerten Riffen

Das Problem des Schwebstoffeintrags

Bautätigkeit im Küstenbereich kann zu starkem Schwebstoffeintrag ins küstennahe Wasser führen. Häufig werden direkt im flachen Küstenwasser Schiffsdurchlässe, Flughäfen oder ganze Siedlungen gebaut (Taf. 2/1, 2), was zu schädlichem Aufwirbeln von Sedimentpartikeln führt. Küstennahe Straßen, die oft nicht einmal mit Teer befestigt werden, fördern gerade im tropischen Bereich mit seinen vielen Regenfällen die Bodenabtragung und Abwaschung in Küstengewässer. In gewaltigem Umfang werden die Küstenmangroven zu Siedlungszwecken, aber auch zur Fischzucht (siehe unten) abgeholzt (Taf. 2/3). Die Küsten werden damit eines natürlichen Sedimentpartikelfilters beraubt und erhöhter Schwebstoffeintrag ist die Folge. Erhöhter Schwebstoffeintrag kann aber auch durch küstenferne Bau- und Kultivierungsmaßnahmen verursacht werden: Flußbegradigungen führen dazu, daß fruchtbarer Schlick nicht mehr in Überflutungsebenen abgesetzt wird, sondern in Küstengewässer gelangt. Regenwaldabholzung im Hinterland führt ebenfalls zu enorm starker Bodenabwaschung; auch dieses Material gelangt durch Flüsse wieder ins Meer und schädigt dort die küstennah wachsenden Riffe (Taf. 2/4, 6).

Nicht nur, wenn die Rifforganismen von absinkenden Schwebstoffen förmlich zugeschüttet werden, stirbt das Riff; die Probleme fangen bereits viel früher an. Tonpartikel schweben bis zu einem Jahr im Wasser und haben während dieser ganzen Zeit schädigenden Einfluß. Die Wassertrübung nimmt zu und die lichtabhängigen Riffkorallen und andere Rifforganismen bekommen zu wenig Licht. Der Nährstoffeintrag erhöht sich durch an den Partikeln hängendes organisches Material sowie durch Nährsalzeintrag ebenfalls, was die Weichalgen zu stark bevorzugt, die die Riffkorallen überwuchern können. Auch zu Sauerstoffproblemen kann es durch schlechtere Löslichkeit und den Algenwildwuchs kommen. Selbst wenn sich viele Korallen von abgesunkenen Partikeln reinigen können, erfordert dies einen enormen Energieaufwand, der für das notwendige rasche Wachstum dann nicht zur Verfügung steht.

Überdüngung, Bakterien- und Pestizideintrag

Auch wenn nicht alle in Riffareale geleiteten Wässer mit Schwebstoffpartikeln überfrachtet sind, sind gerade in urbanen und industriellen, aber auch in landwirtschaftlichen Gebieten die Einleitungen mit anderen Problemstoffen belastet. Überdüngung und Pestizide finden sich allenthalben. Zuckerrohrfabriken, die ihre nährstoffreichen Abwässer in die Meere leiten, überdüngte und mit Insektiziden belastete Felder und Weiden, die Flüsse und das ins Meer gelangende Grundwasser belasten; menschliche und tierische Fäkalien urbaner Kanalisationen, die ungeklärt ins Meer gelangen; bakterienüberlastete Abwässer aus Krankenhäusern in Entwicklungsländern; die Liste ließe sich beliebig verlängern. Korallenriffe haben ja gerade deshalb ihr komplexes, auf Einsatz von Sonnenergie und Nährstofffrückgewinnung ausgelegtes System entwickelt, da sie sich in extrem nährstoffarme Bereiche vorgewagt haben; diese Rückkehr ist durch die Evolution festgeschrieben und unumkehrbar; Riffe sind also von geringen Nährstoffkonzentrationen abhängig. Zu hohe Nährstoffe fördern den Wuchs von Weichalgen, die die Korallen überwuchern (Taf. 2/5), aber auch Planktonblüten. Das im Übermaß auftretende Plankton produziert häufig sogar hohe Dosen von Giftstoffen, die von Fischen aufgenommen werden und beim Menschen

Tafel 3: Gefährdete Riffe

Abb. 1: Korallen dürfen nicht berührt werden. Die Gefährdung kommt hier durch die Masse der Besucher zustande. An einer Geweihkoralle wie dieser posieren täglich viele Hunderte von Besuchern für ein Foto; die Koralle wird dies nicht lange überleben.

Abb. 2: Ankerschäden im Riff. Auch hier werden die Anker vielfach täglich geworfen und ein Riff ist schnell zerstört. Ankerbojen können Abhilfe schaffen.

Abb. 3: Riffe als mißbrauchte Erlebniswelt. Wanderungen, Fischfütterung und 'laissez faire' für Groß und Klein direkt auf dem Riffdach schädigen die Riffe enorm. Paradoxerweise ist im abgebildeten Fall der Tourismus das kleinere Übel, da ansonsten diese Riffe zur Zementherstellung mißbraucht würden. So werden wenigstens die umliegenden, nicht touristisch erschlossenen Riffe geschützt.

Abb. 4: Müll durch Rifftouristen.

Abb. 5 und 6: Korallen und andere Rifftiere werden in vielen Ländern im großen Maßstab zu „Souvenir"-Zwecken geplündert.

Abb. 7: Rifforganismen als „Souvenirs", hier angeboten in einem europäischen Land ohne eigene Riffe.

Abb. 8: Die Schwarzbandkrankheit ist eine natürliche, bakterielle Krankheit, die jedoch gehäuft in vorgeschädigten Riffen auftritt.

Abb. 9: Diese Elchgeweihkoralle lebt noch, zeigt jedoch schon helle Bleichungsflecken, während alle anderen umgebenden Korallen bereits dem berüchtigten Korallenbleichen zum Opfer gefallen sind. Das Korallenbleichen wird durch Temperaturspitzen sowie durch erhöhte ultraviolette Strahlung verursacht.

die berüchtigten Fischvergiftungen auslösen. Zugeführte Bakterien können manchen Rifforganismen wohl auch direkt schädlich werden, auch wenn dazu noch zu wenige Untersuchungen vorliegen.

Die bei massiven Korallen weitverbreitete Schwarzbandkrankheit (Taf. 3/8) ist eine bakterielle Infektion. Ob sie natürlich oder - worauf die vorhandenen Daten weisen - bevorzugt in bereits vorgeschädigten Riffen vorkommt, läßt sich noch nicht mit Sicherheit sagen. Pestizideintrag aus der Landwirtschaft (etwa aus Bananenplantagen) und von den Touristenressorts, aber auch durch Versprühen gegen Moskitos schädigt die Riffe ebenfalls.

Auch über die Ursachen der Dornenkronenepidemien ist noch nicht alles bekannt. Die Dornenkrone ist ein im Pazifik beheimateter Seestern, der massenhaft auftreten kann und dann ganze Riffareale abweidet. Es hat den Anschein, als ob derartige Epidemien auch natürlich vorkommen können. Da sich der Seestern dabei jedoch seiner eigenen Nahrung beraubt, verschwindet er nach Abweidung eines Riffareals, und die Riffe können beginnen, sich zu erholen. Die Seesternlarven sind jedoch resistenter gegenüber Überdüngung als die Korallenlarven, so daß es wahrscheinlich in den besonders verwüsteten Gebieten, wie in Teilen des Großen Barriereriffs doch zu menschengemachten Verschiebungen dieses Gleichgewichtes gekommen ist, zumal zusätzlich ein wichtiger Feind des Seesterns, die Tritonshornschnecke zu Souvenirzwecken fast vollständig abgesammelt wurde.

Heutige Riffe als Steinbrüche

Riffanrainerstaaten zeichnen sich oft durch einen Mangel an Kalksteinen aus. Dies hängt mit ihrer meist jungen geologischen Entwicklungsgeschichte zusammen. Die andernorts weit verbreiteten kalkigen Schelfgesteine des Erdaltertums und des Erdmittelalters sind auf den Südkontinenten sowie in Inselbereichen meist nicht vorhanden. Moderne Riffe werden deshalb oft zu industriellen Zwecken als Baumaterial und zur Zementherstellung abgebaut. Den Autoren sind aus eigener Untersuchung Riffe bekannt, die wegen Schädigung durch Abwässer, menschgemachtem Schwebstoffeintrag und 'wildem' Tourismus die Bezeichnung Korallenriff nicht mehr verdienen. Solange sie jedoch noch allgemein als Korallenriffe bekannt sind, dürfen sie nicht zu Zementzwecken abgebaut werden, anderenfalls wäre die ganze Region, also auch noch die etwas besser erhaltenen Riffe mit gewissen Chancen der Erholung dem Abbau preisgegeben (Taf. 3/3).

Probleme durch Fischfang und Fischzucht

In flachen Rifflagunen werden häufig in großem Maßstab Fische und Schalentiere gezüchtet. Dazu werden enorme Mengen von Futter und Dünger eingebracht. Auch hierdurch, sowie durch die Exkremente der Massenzucht werden die Lagunen überdüngt. Überdüngte Wässer, die von der Lagune über das Riff abfließen, bringen die Riffe wiederum in Gefahr. Zur Zucht von Langusten und Tiger-

1

2

3

4

5

6

7

8

9

garnelen werden vor allem Mangroven abgeholzt, obwohl die Zuchtbecken bereits nach einigen Jahren durch Fäkalien verseucht und unbrauchbar werden. Das Abholzen der Mangroven erhöht nicht nur den Sedimenteintrag, sondern läßt auch viele Nährstoffe ins Meer gelangen, zusätzlich erhöht sich der Nährstoffeintrag durch die Einbringung enormer Mengen von Fischmehl zu Futterzwecken in die Garnelenzuchtanlagen: Intakte Mangroven können auf natürliche Weise einen großen Teil der Nährstoffe, die ins Meer gelangen, nutzen und so das Meer und seine Riffe vor Überdüngung schützen (Taf. 2/3).

Nicht nur die Riffe selbst werden häufig systematisch überfischt, sondern gerade auch die Regionen um das Riff herum. Schleppnetzfischerei in Lagune und Vorriff wirbelt enorme Mengen an Sedimentmaterial auf, wiederum eine große Gefahr für die darauf empfindlich reagierenden Rifforganismen (Taf. 2/8). Dynamitfischerei (Taf. 2/7) ist enorm weit verbreitet und tötet nicht nur mehr Fische, als dann tatsächlich noch eßbar sind - die toten Fische werden einfach eingesammelt, viele sind aber vollständig zerfetzt -, sie tötet auch unverzehrbare Rifforganismen und beschädigt durch die Detonation sogar das Riff selbst. Um lebenden Frischfisch sowie Aquarienfische zu fangen, werden Fische mit Giften, wie Cyanid betäubt, viele sterben direkt oder später daran, und die Riffareale, die täglich ihre Dosis abbekommen, sterben vollständig ab. Derzeit werden allein in den Philippinen jährlich mindestens 150.000 Kilogramm Blausäure in die Riffe gekippt. Lebender Fisch wird von südostasiatischen Restaurants zu Preisen von bis zu 100 US$ pro Kilo abgenommen; ein großer lebender Riffisch brachte kürzlich beim Verkauf an ein Hongkonger Restaurant einen Preis von 10.000 US$.

Das Hauptproblem stellt die enorme Gesamtüberfischung dar. Viele Riffische sind ganz typische Schwarmfische oder versammeln sich an bestimmten Stellen, um abzulaichen. Die Fischschwärme werden mit Satelliten überwacht, um dann katastrophalen Raubbau zu betreiben. Viele Wissenschaftler meinen, daß die anderen Probleme, die Riffe haben, fast irrelevant sind angesichts einer derartigen Überfischung, die den Riffen als erstes den Todesstoß versetzen kann. In vielen Riffen fehlen bereits die wichtigen weichalgenabweidenden Riffische und die Weichalgen breiten sich auch ohne Überdüngung auf Kosten der Korallen aus und bringen diese zum Absterben.

Probleme durch Tourismus

Während im indonesisch/philippinischen Bereich Riffe insbesondere durch Raubbau und Umweltverschmutzung geschädigt werden, sind es auf den Malediven und im Roten Meer vor allem die Touristen, die den Riffen zu schaffen machen. In der Karibik sind die Riffe von beiden Problemen sowie von generellen Klimaauswirkungen betroffen.

Rifftouristen

Tourismus soll und darf hier nicht verteufelt werden. Er ist nicht nur de-facto Entwicklungshilfe für Entwicklungsländer, sondern er kann auch zum Riffschutz beitragen (siehe unten): Nach dem großen Verhaltensforscher Konrad Lorenz kann man nur schützen, was man kennen und lieben gelernt hat. Dies gilt auch für Riffe. Taucher und andere Rifftouristen können dazu beitragen, auf Gefährdungen aufmerksam zu machen und die nachhaltige Nutzung von Riffen zu verbessern. Tatsächlich waren es Sporttaucher, die die Wissenschaftler auf die in den letzten Jahren rapide Verschlechterung des Zustands der Riffe aufmerksam machten, was letztendlich zur oben erwähnten globalen ReefCheck-Aktion 1997 führte. Man muß jedoch die Gefahren kennen, die von umweltunverträglichem Tourismus ausgehenkönnen:

Riffe werden durch Ankerwerfen (Taf. 3/2) und unvorsichtige Taucher und Schnorchler direkt geschädigt. In vielen Riffgebieten werden in großem Maßstab Ausflüge zu Riffen organisiert. Aus eigener Anschauung kennen die Autoren Riffe vom Roten Meer, zu denen täglich mindestens 20 Boote, oftmals bedeutend mehr fahren, jedes vollgepackt mit Zehnerschaften von Schnorchlern oder Tauchern. Alle diese Boote ankern direkt in den Riffen, häufig erst nach mehreren ergebnislosen Versuchen. Jedesmal werden große Korallenstöcke dabei umgerissen und sterben ab. Ist das Riff touristisch nicht mehr interessant, fährt man eben zum nächsten.

Viele Taucher stützen sich oft direkt im Riff ab, etwa um ein ruhiges Foto zu schießen (Taf. 3/1), ja sie setzen sich regelrecht ins Riff und beschädigen mit ihrem Körper und ihrer Ausrüstung die Riffe. Schnorchler haben oftmals weit mehr Probleme, unter Wasser zu posieren und halten sich gerne an Geweihkorallen fest. Unter den Schnorcheltouristen gibt es viele, die nicht einmal richtig schwimmen können, das Salzwasser trägt ja und zur Not kann man sich auf die Riffe stellen, was leider häufig genug geschieht. Stellt man sich nicht auf eine Koralle, sondern auf ein Sandareal, wird durch die Flossen viel Sediment aufgewirbelt, wiederum schädlich für die Riffe, wenn es laufend passiert.

Um Riffische anzulocken, werden zum Teil große Mengen von Futter eingebracht. Algenabgrasende Fische können ihre Futtergewohnheiten umstellen und ihre wichtige Aufgabe, Algen im Riff abzuweiden, vernachlässigen. Außerdem ist das in der Regel aus altem Brot bestehende Fischfutter ungesund und macht die Fische anfälliger für Krankheiten. Scheue Fische werden sich nicht füttern lassen, aber die weniger scheuen werden bevor-

zugt, so daß sich ökologische Gleichgewichte verschieben können, Fische können aggressiv werden, wenn sie einem Taucher begegnen, der sie nicht füttert. Genug Gründe, Fischfütterungen zu unterlassen.

Auch das Abbrechen von Korallen als Souvenirs ist beliebt, oftmals mit der Begründung, daß ein Hurrikan ja weitaus größere Verwüstungen anrichtet. Tropische Wirbelstürme treten aber in manchen Riffgebieten, wie etwa dem Roten Meer gar nicht auf; dort wo sie auftreten, sind die Riffe daran angepaßt. Ein Wirbelsturm schädigt die Korallen im Flachwasser mehr oder weniger gleichmäßig, so daß alle wieder gleiche Ausgangschancen für den weiteren Fortbestand haben, also fast ein Jungbrunnen-Ereignis, sofern nicht gleich wieder der nächste Wirbelsturm auftritt. Durch Tauchtouristen werden aber besonders ansprechende Formen, wie die Pilzkorallen bevorzugt und dauernd aufgesammelt. Dadurch entsteht ein schädigender Dauerstreß sowie eine Gleichgewichtsverschiebung. Pilzkorallen etwa wagen sich als eine von wenigen Steinkorallen in Sandareale vor. Abgestorbene Skelette können von weiteren Korallen besiedelt werden, so daß sich das Riff zur Seite vergrößern kann und insgesamt stabiler wird.

Rifftouristen, die vorziehen, nicht ins Wasser zu gehen, nehmen lieber an Ebbwanderungen über das Riffdach teil (Taf. 3/3). Geschieht dies unkoordiniert und nicht auf einem vorgegebenen Pfad, entstehen dem Riff ebenfalls empfindliche Schäden.

Sonstiger Tourismus

Viele Menschen fahren zwar zum Urlaub in Riffgebiete, sie sind jedoch weniger an Riffen interessiert als vielmehr am warmen Klima und an den kristallklaren, ruhigen und schneeweißen Lagunenstränden, die ja ohne Riffwachstum oft nicht vorhanden wären. Touristenresorts liegen damit häufig unmittelbar in der Nähe von Riffen oder gar auf Riffinseln. Auch hier gelangen, bei übertriebener bzw. ungeregelter touristischer Erschließung Abwässer auf direktestem Weg zum Riff. Um Bootszufahrten zu schaffen, werden Durchlässe in das Riff gesprengt. Durch aufgewirbelten Schlamm werden auch die Nachbarriffe geschädigt, außerdem können die Durchlässe Erosion von der Riffrückseite bewirken. Motorisierter Wassersport kann durch lecke Motoren und Treibstofftanks sowie durch Ankern Riffe schädigen. Müll wird oft in direkter Nachbarschaft der Ressorts deponiert (Taf. 3/4). In ariden Riffgebieten, speziell im Roten Meer wird oft ein unsinniger Süßwasserverbrauch betrieben. In vielen Hotels werden zweimal täglich Handtücher, ja sogar die Bettwäsche gewechselt. Zu hoher punktueller Süßwassereintrag aus Brauchwasserabflüssen hat schädigende Folgen. Wo Meerwasserentsalzungsanlagen verwendet werden, schädigt die ausfließende konzentrierte Salzlauge die Rifforganismen.

Enorme Mengen von Muscheln, Schnecken und Riffkorallen, die allesamt wichtige Aufgaben bei der Erhaltung eines Riffes haben, werden aus den Riffen systematisch und großmaßstäblich geräubert (Taf. 3/4). Besonders verwerflich ist es, wenn, wie in etlichen Staaten üblich, zwar das direkte Aufsammeln unter empfindlichen Strafen steht, die „Souvenirs“ jedoch um die Straßenecke, meist importiert aus anderen Ländern zu einem Spottpreis gekauft werden können. Sie können derartige „Souvenirs" sogar am Mittelmeer oder in Mitteleuropa kaufen (Taf. 3/7), wo die Tiere nie gelebt haben und unterstützen damit unbewußt durch erhöhte Nachfrage die Zerstörung von Riffen.

Umweltkatastrophen

Tankerunglücke, leckende küstennahe Raffinerien, die nicht nur während des Golfkriegs vorhanden waren, leckende Ölplattformen oder Atombombenversuche in Riffatollen schädigen die Riffe ebenfalls ganz erheblich.

Der menschengemachte Anteil des Treibhauseffekts

Riffe sind an hohe Wassertemperaturen angepaßt, was das Tauchen und Schwimmen in Riffgebieten so angenehm macht. In manchen Jahren sind diese Temperaturen aber besonders erhöht und sogenanntes Korallenbleichen (Bleaching) setzt ein (da die farbegebenden, im Korallengewebe mit den Korallen in Symbiose lebenden und für die Korallen lebensnotwendigen Algen durch Temperaturerhöhung absterben bzw. ausgestoßen werden) (Taf. 3/9). Ursache dafür sind oft natürliche Klimaschwankungen, wie insbesondere die El Niño-Ereignisse. Davon erholen sich die Korallen aber in der Regel wieder, sofern sie nicht bereits vorgeschädigt sind und in den darauffolgenden Sommern nicht wieder ähnliche Temperaturspitzen auftreten. Es hat jedoch den Anschein, daß wegen der globalen Temperaturerhöhung diese Bleichungsereignisse zunehmend häufiger auftreten, so daß sich viele Korallen nicht mehr davon erholen können. In wenigen Jahren starben so in der Karibik die wichtigsten Riffkorallen ab und es ist äußerst zweifelhaft, ob sie sich wieder davon erholen können. Auch die dünner werdende Ozonschicht schädigt die Algensymbionten der Riffkorallen in zunehmendem Maße. Korallen des flachsten Wassers, die grundsätzlich an die erhöhte UV-Strahlungsintensität in diesem Bereich angepaßt sind, starben in vielen Gebieten in den letzten Jahren wegen der ansteigenden UV-Werte ebenfalls ab.

Durch den Treibhauseffekt steigt auch der Meeresspiegel langsam aber stetig an. Die Erdgeschichte zeigt, daß gesunde Riffe durchaus mit einem Meeresspiegelanstieg mitwachsen können und damit ihre Schutzfunktion für Küsten weiterhin aufrechterhalten könnten. Sind jedoch mit dem Meeresspiegelanstieg zusätzliche Probleme (wie z.B. Korallenbleichung wegen Temperaturerhöhung und zurückgehender UV-Filterung, Überdüngung durch Abwässer) verbunden, wird das Riffwachstum zurückgehen und tropische Wirbelstürme bei Wegfall des natürlichen Wellenbrechers Riffe verheerende Schäden anrichten. Dies wird wieder einmal vor allem die Entwicklungsländer betreffen....

AUSWEGE AUS DEM DILEMMA

Auch wenn der Zustand unserer Riffe Anlaß zu höchster Besorgnis gibt, ergibt sich aus der Tatsache, daß bereits kleine Schritte oft wesentliche Verbesserungen bringen, doch berechtigte Hoffnung. Einige Beispiele seien genannt:

- *Das Ausbringen von Ankerbojen und das Beenden von Dynamit- und Cyanidfischerei in ansonsten gesunden Riffmilieus führt zu einer sehr raschen Regeneration der Riffe.*
- *In manchen Riffparks ermöglichen geführte Schnorchelgänge auf fest ausgewiesenen Routen mit Info-Tafeln und Ruhebojen zum Festhalten umweltschonende Besichtigung von Riffen. In solchen Riffparks gibt es bereits Beispiele, bei denen durch die Wahl der richtigen Baustoffe und Architektur, sowie durch Einsatz von Solarenergie und Wasserrückgewinnung Touristenappartements äußerst umweltverträglich gestaltet wurden.*
- *Völlig überfischte und dadurch von Weichalgen überzogene Riffe erholen sich rasch, wenn Teile des Riffes unter Schutz gestellt werden und in den anderen Bereichen nur maßvoll weitergefischt wird. Die Schutzbereiche dienen als Kinderstuben für Riffische, die dann auch in den anderen Bereichen wieder auftreten. Viele der wegen der Überfischung vormals unter dem Existenzminimum lebenden Fischer fanden alternative Beschäftigungsmöglichkeiten als lokale Touristenführer, die anderen konnten nach Erholung des Riffes wieder vom maßvollen Fischfang leben.*
- *Ehemals vom Sammeln und Verkauf von Korallen, Schnecken und Muscheln lebende Familien konnten durch Umstellung auf selbst hergestellte Flechtwaren genauso hohe bzw. sogar höhere Einkommen erzielen.*

Riffe sind fest verflochten im globalen Ökosystem. Keiner kann sich deshalb damit herausreden, daß Riffe für ihn nicht relevant seien oder die von ihm angestellten Schädigungen klein im Vergleich zum Rest der Probleme seinen. Wenn jeder zum Riffschutz beiträgt, haben die Riffe und damit auch die Menschheit noch eine echte Chance. Die notwendigen Schutzmaßnahmen lassen sich in mehrere Kategorien einteilen:

Dies können Sie sofort und ohne Aufwand bewirken:

Jeder von uns kann viele Fehler, die er bislang aus Unwissenheit gemacht macht, sofort abstellen. Nötig dazu ist eine bessere Aufklärung, zu der dieses Materialienheft beitragen will. Fehler beim Tauchen und Schnorcheln sind sofort abstellbar; auf Kauf von Riffsouvenirs kann man ebenfalls sofort verzichten. Sehen Sie dazu bitte auch unsere Verhaltensempfehlungen in Teil III dieses Heftes. Wenn Sie Lehraufgaben wahrnehmen, bauen Sie bitte die Riffproblematik in Ihren Unterricht ein.

Dies mag anfänglich etwas wehtun:

Liebgewonnene Gewohnheiten kann man umstellen, auch wenn es anfänglich vielleicht weh tut oder manchmal etwas mehr kosten mag. Dazu gehören: Verzicht auf Tigergarnelen; Einschränkung von Fast-Food-Ernährung (für deren Produktion oft Regenwälder abgeholzt werden, was zusätzlich die Riffe schädigt; kein Verzehr von Riffischen als „Statussymbol"; Verzicht auf jährliche oder noch häufigere Fernreisen (wegen der CO_2-Belastung); Verzicht auf Billigstangebote, statt dessen umweltverträglicher Urlaub mit weniger Komfort; generell Reduktion des Energieverbrauchs und des Müllanfalls auch zu Hause (vieles unseres Hausmülls landet trotz grünem Punkt immer wieder in Entwicklungsländern, z.T. auch direkt in Riffen); finanzielle Unterstützung von Umweltprojekten.

Üben Sie sanften Druck aus!

Diskutieren Sie die Problematik mit Freunden und versuchen Sie, sie mit Argumenten zu Verbündeten im Riffschutz zu machen. Üben Sie sachlichen Druck auf Hotelmanager, Reiseveranstalter und Ausflugsveranstalter aus. Fragen Sie nach, wie Abfall und Abwasser entsorgt wird, machen Sie klar, daß für Sie und Ihre Freunde die Region ohne intakte Riffe nicht mehr attraktiv wäre. Wenn Sie Kontakte zu Politikern haben, nützen Sie auch diese.

Dies müssen Regionen und Regierungen veranlassen:

Aufklärung der Bevölkerung in den Riffländern selbst tut not. Diese muß aber mit dem Aufzeigen alternativer Einkommensmöglichkeiten einhergehen. Wer kann es einem philippinischen Arbeiter

verdenken, Riffschnecken zu sammeln, um diese zu verkaufen, wenn er keine anderen Möglichkeiten hat, sich und seine Familie zu ernähren? Das Argument, daß er dadurch sein eigenes Einkommen gefährdet, wird nicht zählen, wenn nicht direkt Alternativen angeboten werden. Wichtig sind Programme, bei denen der Mensch als Teil des Ökosystems gesehen wird, in dem er auch seine Einkommensgrundlage hat. Programme für integriertes Küstenmanagement, bei denen Fischer, Städteplaner und Kommunalpolitiker, Bauern und weitere Gruppen gemeinsame Konzepte entwickeln, sind besonders erfolgversprechend. Fangmethoden von Fischen müssen besser kontrolliert und auf Einhaltung von Fangquoten geachtet werden. Die Einrichtung von gut gemanagten Riffparks unter der dominierenden Beteiligung der lokalen Bevölkerung ist eines der wesentlichsten Mittel zum Riffschutz. Riffparks können Touristenströme umlenken, bieten eine Vielzahl von Beschäftigungsmöglichkeiten für die lokale Bevölkerung beim Parkmanagement und als ausgebildete Rifführer und erlauben die Erholung von Fischbeständen auch in den angrenzenden Gebieten. Regionale Programme zur Kontrolle des Bevölkerungswachstums gehören ebenfalls in diesen Maßnahmenkatalog.

Globale Maßnahmen:

Eine weitere globale Überfischung muß durch internationale Abkommen sowie internationale Satellitenüberwachung vermieden werden und insgesamt reduziert werden. Wußten Sie, daß global gesehen bislang die Hauptmasse der gefangenen Fische zu Tiermehl verarbeitet und für die Mästung in Massenhaltung gezüchter Tiere (Tigergarnelen, Geflügel, Schweine und Rinder - und dies trotz BSE-Skandals) sowie für pharmazeutische Zwecke verwendet wird, also gar nicht direkt für die menschliche Ernährung zur Verfügung steht. Die menschliche Produktion von Kohlendioxid und Methan muß global gesenkt werden, um die Klimaprozesse nicht aus dem Gleichgewicht zu bringen; leider geben die Ergebnisse der bei Drucklegung gerade stattfindenden Klimakonferenz von Kyoto wenig Anlaß zur Ermutigung. Um notwendige globale Umweltschutzmaßnahmen nicht durch Verteilungskämpfe obsolet zu machen, müssen jedoch auch die Kontrolle des Bevölkerungswachstums und verbesserte ökonomische Gerechtigkeit auf globaler Ebene erreicht werden.

Fazit

Eine wesentliche Ursache für die Bedrohung der Riffe stellt die fehlende Bildung und Chancenungleichheit, insbesondere aber die generelle Überbevölkerung und die dadurch verursachte Umweltverschmutzung und räuberische Ressourcennutzung dar. Allerdings werden Aufklärung und Verbote allein nicht weiterhelfen, notwendig sind der Aufbau alternativer Einkommensmöglichkeiten. Hier sind sicherlich Politiker, Wirtschafts-, Naturwissenschaftler, Lehrer, Umweltschutzverbände, Industrie und Gewerkschaften, aber auch die Kirche aufgefordert, gemeinsam Auswege aus dem Dilemma zu erabeiten.

Es wäre aber falsch, sich abzuwenden und zu behaupten, man könne als Einzelner nichts tun. Die Änderung eigener Verhaltensweisen ist bereits wesentlich. Nur durch Druck der Kunden auf Tourismusunternehmen sowie durch Verzicht auf Billigstangebote kann die Tourismusindustrie zur Einsicht 'bekehrt' werden. Die Errichtung von Riffparks kann finanziell unterstützt werden. Nur durch verbesserte Aufklärung auch über individuell machbaren Riffschutz in den Schulen und bei Taucherverbänden und Tauchsportunternehmen kann man viele Gefährdungen von Riffen fast 'über Nacht' abstellen. Nur durch das Wissen über die Schädlichkeit von Garnelenzucht kann man versuchen, Essensgewohnheiten umzustellen. Nur durch das Wissen, daß unser Kohlendioxidausstoß nicht nur unsere Industriewelt zum Kochen bringt, sondern auch unsere Ferienfluchtpunkte zerstört, mag man ein generelles Umdenken erzeugen. Wie erläutert, stellt die Einrichtung von Riffparks ein besonders wirksames Instrumentarium zum umweltgerechten Umgang mit Riffen dar. Derartige Bemühungen können aber nur von Erfolg gekrönt sein, wenn sich die generelle Umweltsituation verbessert. Auch im Meer gibt es keine Inseln der Seeligkeit, wir leben in einer globalen Zeit mit globalen Problemen, die auch das entfernteste Riff betreffen.

Dank: *Wir danken Stephan Kempe, Darmstadt, Florian Böhm, Kiel und Paul Copper, Sudbury für stimulierende Diskussionen und vielfältige Informationen zum Thema Kohlendioxid.*

Dieser Artikel stellt eine veränderte und ergänzte Fassung des Beitrags „ Die Riffe und der Mensch: ein Dilemma? von R. LEINFELDER UND F. BRÜMMER (publiziert in STEININGER, F.F. & MARONDE, D. (Hrsg.), Städte unter Wasser: 2 Milliarden Jahre.- Kleine Senckenberg-Reihe, **24**, *171-186, Frankfurt a.M., 1997) dar. Wir danken dem Senckenberg-Institut für die Verwendungsgenehmigung.*

Bildquellen:

F. Brümmer: Taf. 3/4,7

R. Leinfelder: Taf. 1/7; Taf. 2/1, 3, 5; Taf. 3/3, 8,9

G. Heiss: Taf 1/1

B. Saric: Taf. 1/3

R. Ginsburg: Taf. 1/3, 6.

Abb. 8 vonTafel 1 basiert auf Vorlage aus SCHOLLE, P.A. (ed), 1993.- Carbonate Platforms, AAPG Sp. Publ. 33, verändert.

Alle anderen Abbildungen aus WELLS & HANNA (siehe Literatur).

Wir danken Sue Wells und Nick Hanna, Robert Ginsburg Georg Heiss, Boris Saric für die Erlaubnis, ihre Fotos verwenden zu dürfen.

Weiterführende Literatur

KÜHLMANN, D.: Das lebende Riff. Landbuch, Hannover, 1984

SEYFRIED, H. & LEINFELDER, R.: Meeresspiegelschwankungen - Ursachen, Folgen, Wechselwirkungen.- Wechselwirkungen, Jahrbuch 1992 der Universität Stuttgart, S.112-127, 1993.

SCHUHMACHER, H.: Starthilfe für künstliche Riffe. Spektrum der Wissenschaft 3, 66-74, 1996

WELLS, S. & HANNA, N.: Das Greenpeace-Buch der Korallenriffe. C.H. Beck München, 1992.

(weitere Literatur siehe Teil 3 dieses Bandes)

Profil ***13****: 37-48, 16 Abb.; Stuttgart 1998*

Riffe aus alten Zeiten: das Beispiel der Jurariffe

REINHOLD ***LEINFELDER****, STUTTGART**

DIE RIFFE DER ERDGESCHICHTE - EIN ÜBERBLICK:

Was ist ein Riff?

Ganz unterschiedliche Bildungen werden als Riffe bezeichnet. Die Seeleute verstehen darunter schlichtweg eine gefährliche Untiefe, auf die ein Schiff auflaufen kann. In den Naturwissenschaften, speziell in der Geologie und Paläontologie, kann man ein Riff folgendermaßen definieren:

- *Ein Riff besteht aus Kalkstein und wird durch riffbildende Organismen im Laufe vieler Jahrhunderte, Jahrtausende oder auch Jahrmillionen aufgebaut. Die Organismen sind bei lebenden Riffen klar erkennbar. Im fossilen Beispiel sind sie ebenfalls häufig noch vorhanden (z.B. Korallen, Kieselschwämme, Kalkalgen) oder zumindest indirekt nachweisbar sind (etwa, weil sie viel Sediment gefangen und stabilisiert haben, wie das z.B. viele Algenmatten tun. Diese Algen- bzw. Bakterienmatten werden nicht oder nur in Relikten überliefert, die Anhäufungen und Stabilisation von Kalksediment zu einem Riff sind jedoch ohne sie nicht erklärbar).*
- *Ein Riff erhebt sich häufig über den umgebenden Meeresboden und beeinflußt die Ökologie und Sedimentverteilung um sich herum (z.B. durch die Bildung einer Lagune).*

Fossile Riffe

Im Unterschied zu heutigen Riffen, die überwiegend von Riffkorallen und korallinen Rotalgen (siehe Artikel BRÜMMER & LEINFELDER und Artikel LEINFELDER & GINSBURG) aufgebaut werden, gab es in der Erdgeschichte eine Vielzahl unterschiedlicher, sich immer wieder abwechselnder Rifftypen.

Erste Riffe, gebildet von verkalkenden Bakterien- und Cyanobakterienmatten gibt es seit archaischen Zeiten. Die ältesten Bildungen stammen etwa aus 3.6 Milliarden Jahre alten Gesteinen. Diese sogenannten Stromatolithen waren vor allem im jüngeren Präkambrium (2.5 Mrd bis ca. 600 Mio Jahre) weitverbreitet und stellten die einzigen Riffbildungen dar. Richtig häufig wurden sie ab etwa 2 Milliarden Jahren. Sie sind nach dem Präkambrium nicht ausgestorben, sondern existieren sogar heute noch (so z.B. in übersalzenen Tümpeln in der Walfischbucht von Australien). Allerdings wurden sie durch modernere Rifftypen aus den normalen Schelfmeeren überwiegend verdrängt.

Nach einigen besonderen Schwamm-Riffbildungen im frühen Paläozoikum (sogenannte Archaeocyathiden-Riffe des Unterkambriums, vor ca. 570 Millionen Jahren) tauchten etwa vor 480 Millionen Jahren (Ordovizium-Zeit) die ersten Korallenriffe auf. Diese waren wie die heutigen Korallenriffe auf das flache Wasser beschränkt, die Korallen gehörten jedoch zu einer inzwischen wieder ausgestorbenen Tiergruppe. Sie wurden von speziellen Kalkschwämmen (Stromatoporen) im Riffaufbau unterstützt. Gleichzeitig bildeten sich im tieferen Wasser viele Riffhügel, die durch die Anhäufung von Kalkschlamm zwischen Kieselschwämmen, Seelilien und Moostierchen aufgebaut wurden. Mikrobenmatten übernahmen dabei die Stabilisierung und Verhärtung der Schlammhügel. Die paläozoischen Korallenriffe erlebten eine Blütezeit im Silur (Riffe z.B. auf Gotland, Schweden) und Devon (Riffe z.B. in der Eifel, im Lahn-Dill-Gebiet und im Harz), bevor sie im späten Devon durch eine globale Ökokrise schlagartig stark dezimiert wurden. Die Schlammhügelriffe bildeten sich jedoch weiterhin und eroberten im späten Paläozoikum auch das etwas flachere Wasser.

Viele der noch vorhandenen Rifforganismen starben an der Perm/Trias-Grenze, einer der größten Aussterbeepisoden, aus. Wahrscheinlich wurde dies durch starke Klimaabkühlung verursacht, der die überwiegend tropischen Rifforganismen nicht standhalten konnten. Tatsächlich kennt man, wohl wegen dieser ungünstigen klimatischen Verhältnisse aus der unteren Triaszeit kaum Riffe.

* Prof. Dr. Reinhold Leinfelder, Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Stuttgart, Herdweg 51, 70174 Stuttgart, Fax: 0711-1211341, Email: reinhold.leinfelder@geologie.uni-stuttgart.de

neue Adresse von R. Leinfelder siehe Vorwort zur online-Auflage, Umschlaginnenseite

Einen speziellen Typ von Schlammhügelriffen mit Kalkschwämmen gab es nochmals in der mittleren Trias (z.B. Riffe des Wettersteinkalkes, der auch die Zugspitze zu einem großen Teil aufbaut, oder den Schlerndolomit, der u.a. das Schlernmassiv in Südtirol bildet), bevor die neu entstandenen modernen Korallen in der späten Trias (also etwa vor 230 Millionen Jahren) nach einer Lücke von 140 Millionen Jahren zum ersten Mal wieder größere Korallenriffe aufbauten (Thecosmilien-Riffe z.B. im Oberrhät-Riffkalk am Roß- und Buchstein der Bayerischen Kalkalpen, an der Steinplatte in Tirol oder im Dachsteinkalk der Berchtesgadener und Salzburger Alpen (siehe Artikel Nose et al.). Mit Placunopsis-Riffen, das sind spezielle Muschelriffe im Muschelkalk-Meer (mittlere Trias) gab es noch eine weitere Besonderheit (siehe Artikel Hagdorn).

Im Laufe des Juras breiteten sich die Korallenriffe weit aus. Im tieferen Schelfbereich wurden sie, ähnlich wie der Zeit vom Ordoviz bis ins Devon, von Kieselschwamm-Algenkrusten-Schlammhügelriffen begleitet. Auf die Jurariffe, die gerade auch auf der Schwäbischen Alb weit verbreitet sind, wird unten sowie im Artikel Schweigert näher eingegangen.

Abb.1: Entwicklung und Häufigkeit der wichtigsten Rifforganismen der Erdgeschichte. Zahlen bedeuten Millionen von Jahren (nach JAMES 1983, stark verändert).

In der Kreidezeit kam noch ein besonderer Rifftyp dazu: die Rudistenriffe (z.B. in der Gosau der Nördlichen Kalkalpen). Rudisten sind ausgestorbene Muscheln, die wie die Korallen ein ausgeprägtes Höhenwachstum besaßen. Sie waren an die besonderen Verhältnisse der mittleren und höheren Kreidezeit (- der Meeresspiegel war 270 Meter höher als heute, das Klima war generell wärmer und ausgeglichener als heute -) besonders gut angepaßt und verdrängten die Korallenriffe vorübergehend. Rudisten konnten schneller als die Korallen wachsen. Schlammhügelriffe verschwanden zunehmend.

Wären die Rudisten nicht, wie so viele andere Organismen auch (z.B. die Dinosaurier) an der Kreide/ Tertiär-Grenze (- möglicherweise durch einen Meteoriteneinschlag -) ausgestorben, gäbe es heute vielleicht statt Korallenriffen vor allem Rudistenriffe. So aber konnten sich Korallen weiter entwickeln. Die Verbesserung der Symbiose mit den Algen (siehe Artikel Görtz), leichtere Bauweise der kalkigen Korallenskelette sowie die zunehmende Bedeutung der Kalkrotalgen als Riffzementierer waren der rasanten Weiterentwicklung der Korallenriffe förderlich. Sie konnten nun Bereiche besiedeln, in denen zuvor kaum marines Leben möglich war. Dazu gehörten die höchstenergetischen Bereiche sowie die extrem nährstoffarmen Regionen der Hochsee. Den Höhepunkt der Korallenriffentwicklung kann man vor die quartären Eiszeiten legen; in den Vereisungsepisoden sind vor allem im Atlantik viele Korallen ausgestorben. Die heutigen Korallenriffe sind insbesondere auch Gefahren durch den Menschen ausgesetzt (siehe Artikel Leinfelder & Brümmer).

Die Jurariffe: Was gehen mich solch alte Riffe an?

Am Beispiel der Jurariffe wollen wir Vergleichbarkeiten und Unterschiede zu heutigen Riffen herausarbeiten und darstellen, welche Bedeutung fossile Riffe nicht nur für das bessere Verständnis vergangener Zeiten, sondern auch für unsere heutige Gegenwart und Zukunft haben können.

Sicherlich verbinden Sie mit einem Riff automatisch die Vorstellung von warmem Klima, warmem Wasser, Schnorcheln im flachen Wasser, bunten Fischschwärmen, tiefblauem offenen Meer, grünblauen Lagunen und weißen Palmensträndern auf einsamen Inseln. Dies zeigt bereits, wie genau Riffe bestimmte ökologische Bedürfnisse widerspiegeln. Die meisten unserer heutigen Riffe bilden sich zwischen etwa 30 Grad nördlicher und südlicher Breite in Meeren, welche bis zu 30 Grad C (und kaum unter 20 Grad C) warm sind. Die riffbauenden Korallen wachsen im flachen, klaren, oft stark wellenbewegten Wasser. Fast immer sind nur sehr wenig Nahrungspartikel und andere Schwebstoffe im Wasser, weshalb dessen Farbe je nach Tiefe blau bis blaugrün ist.

Viele Rifforganismen, insbesondere die Steinkorallen, besitzen Kalkskelette und bauen sich im Laufe der Jahrtausende bis zum Wasserspiegel hoch oder können mit einer Meeresbodenabsenkung bzw. einem Meeresspiegelanstieg schritthalten. Durch Wellen und viele bohrende Organismen werden viele Skelette zu Sandkorngröße zerkleinert. Stürme können diesen Sand zu romantischen Korallensand-Inseln aufwerfen, unter denen sich eine Süßwasserlinse bilden kann. Palmen, die hier sehr gut wachsen, können zusammen mit dem Fischfang die Lebensgrundlage für eine Besiedlung durch den Menschen sein. Die vorgelagerten Riffe schützen die Insel vor hohem Seegang. Wer denkt gleich daran, daß wir diese paradiesischen Eilande indirekt Millionen von kleinen Korallenpolypen zu verdanken haben.

Der Erfolg der Rifforganismen in einem grundsätzlich eher lebensfeindlich erscheinenden Milieu (kaum Nährstoffe, hohe Wellenenergie, oft tropische Stürme) kommt nur durch viele Anpassungen und Abhängigkeiten der Organismen untereinander zustande, wodurch Riffe zu den komplexesten Ökosystemen der Erde zählen, die nur durch das intensive Zusammenspiel ihrer einzelnen Teile funktionieren (siehe Artikel Brümmer & Leinfelder). Das Riff ist hervorragend an seine Umwelt angepaßt, zeigt jedoch gerade dadurch auch krankhafte Änderungen bis hin zum Tod, sofern sich die Umwelt ändert. Damit werden moderne Riffe zu einem Monitor für den Gesundheitszustand unserer Meere und unseres ganzen Globus (siehe Artikel Leinfelder & Brümmer).

Abb. 2: Für Riffwachstum müssen die Umweltfaktoren sehr genau ausbalanziert sein. Ändert sich ein Faktor (z.B. etwas größere Wassertiefe), kann durch Änderung eines zweiten Faktors (z.B. noch klareres Wasser) das Gleichgewicht erhalten bleiben, wobei sich allerdings die Zusammensetzung der Organismen ändert. Umgekehrt kann man aus der Riffzusammensetzung auf die Umweltbedingungen schließen. Größere Milieuänderungen verursachen ein Ungleichgewicht und bringen das Riffwachstum zum Erliegen.

Fossile Rifforganismen und damit fossile Riffe hatten teilweise andere Ansprüche an ihre Umwelt. Viele dieser Ansprüche sind uns inzwischen bekannt, so daß fossile Riffe, so auch die der Jurazeit, als Paläomonitor für die ökologischen Zustände und deren Änderungen in früherer Zeiten verwendet werden können.

Wie wir bereits gesehen haben wuchsen zu früheren Zeiten der Erdgeschichte zum Teil völlig andere Riffe. Ursache waren die teilweise sehr andersartigen regionalen und globalen Umweltbedingungen, aber auch das evolutive Fehlen vieler heutiger Rifforganismen bzw. das Auftreten anderer, später ausgestorbener Rifforganismen. Diese andersartigen Riffe waren aber ebenfalls sehr gut an ihre Umwelt angepaßt waren und sind damit als Umweltanzeiger für diese teils andersartige Paläo-Umwelt verwendbar.

Die Jurazeit, speziell die Zeit des höheren Juras (also vor etwa 160-135 Millionen Jahren) war eine derartige Periode, in der solch verschiedene Rifftypen wuchsen. Manche zeigen Ähnlichkeiten, andere große Unterschiede zu heutigen Riffen. Tatsächlich waren, wie wir sehen werden, damals Klima und Umwelt im Vergleich zu heute sehr verschieden.

DIE BAUMEISTER DER JURARIFFE

Im einleitenden Artikel dieses Bandes (BRÜMMER & LEINFELDER) wurden die Organismen heutiger Korallenriffe vorgestellt. Auch im Jura lebte eine enorme Fülle von Organismen in den Riffen. Diese Rifforganismen kann man wie bei heutigen Riffen in Riffbildner, Riffabbauer und Riffbewohner einteilen. Die wichtigsten Unterschiede zu heutigen Riffen seien kurz genannt.

Abb. 3: Thecosmilia, eine typische ästige Koralle oberjurassischer Korallenriffe.

Steinkorallen: Jurassische Korallen gehören bereits zu den modernen Korallen und schienen bereits die wichtigen Algensymbionten (siehe Artikel Görtz) zu besitzen. Dies kann man aus der Chemie des Skelettes, einer klaren Tiefenzonierung der Arten sowie aus Wuchsformänderungen mancher Arten zum tieferen Wasser ableiten (-tel–lerförmiges Wachstum verursacht eine Oberflächenvergrößerung und damit bessere Ausnützung des geringer werdenden Lichtes durch Algensymbionten). Allerdings war die Symbiose noch nicht so perfekt wie heute. Jurassische Korallen benötigten damit mehr Planktonnahrung als heutige Korallen. Dies kann man aus Besonderheiten im Skelett sowie am Vorkommen in tonigen, nährstoffreicheren Sedimenten schließen.

Abb. 4: Oberjurassischer Kieselschwamm (Stauroderma) in Tellerform.

Schwämme: In modernen tropischen Riffen sind insbesondere Hornschwämme weit verbreitet. Diese können zum Teil auch Lockermaterial im Riff überkrusten und somit befestigen und "unschädlich" machen (s.u.). In früheren Zeiten der Erdgeschichte, so auch in der Jura-Zeit, waren verschiedene Gruppen von Kieselschwämmen (d.h. Schwämme mit einem Skelett aus verbundenen Nadeln aus Kieselsäure, sog. Glasschwämme und "gemeine Steinschwämme") sowie Kalkschwämme wichtige Riffbauer bzw. Riffbewohner. In fossilen und heutigen Riffen sind daneben Bohrschwämme wichtig, welche Korallenskelette, Muschelschalen und Schneckengehäuse zerbohren, um in den Bohrgängen vor Feinden geschützt zu sein. Auch weitere bohrende Organismen (Bohrmuscheln, Bohrwürmer, Bohrschwämme) sind aus Jurariffen bekannt.

Besonders wichtig auch in Jurariffen sind die sedimentbindenen Organismen. Konstanter Wellenschlag, Stürme und bohrende Organismen produzieren laufend Lockermaterial, welches für die eine feste Unterlage benötigenden Rifforganismen kaum besiedelbar ist. Außerdem würde feines Schlammaterial die Tentakeln der Korallen verkleben, gröberes Sandmaterial würde wegen des Wellenschlags die Organismen wie Schleifpapier abschmirgeln. Organismen wie z.B. inkrustierende Schwämme, Weichkorallen, einzellige inkrustierende Kammerlinge (Foraminiferen), insbesondere aber inkrustierende Algen und verkalkende Mikrobenmatten halten das Lockermaterial zusammen und festigen so den Riffkörper, so daß er sich im Laufe der Jahrhunderte und Jahrtausende über den Meeresboden erheben kann. Besonders wichtige Inkrustierer der heutigen Riffe sind die lichtabhängigen korallinen Kalkrotalgen, die auch im höchstenergetischen Wasser Lockermaterial fixieren können. In schattigen und dunklen Bereichen, also insbesondere in Riffhöhlen und -kavernen verhärten Mikrobenmatten das Riff von innen heraus, da sie im tropischen kalkübersättigten Wasser besonders leicht verkalken, weil die mikrobenproduzierten organischen Schleime die Verkalkung wie ein Katalysator initieren.

Die korallinen Algen sind erst seit etwa 100 Millionen Jahren (also seit der jüngeren Kreidezeit) von Bedeutung. Zuvor mußten vor allem die verkalkenden Mikrobenmatten die Riffstabilisierung gewährleisten. Ältere Riffe, also z.B. die aus der Jurazeit, sind deshalb häufig durch einen hohen Anteil verkalkter Mikrobenmatten (sog. Mikrobenkrusten) gekennzeichnet, die sogar ganze Riffe alleine aufbauen können, wie wir weiter unten noch sehen werden.

DIE RIFFBAUWERKE: WELCHES BAUWERK PASST ZU WELCHER LAGE?

Riffe haben viele Ähnlichkeiten mit Immobilien. Mit einem „schwäbischen Häuslebauer-Ansatz“ kann man vielleicht besonders gut veranschaulichen, warum während des Jura nur an bestimmten Stellen Riffe entstanden und warum viele Riffe so unterschiedlich aussahen. Nicht jedes Grundstück ist geeignet, um ein Riffbauwerk zu erstellen. Die Grundstückseigenschaften erfordern die Einhaltung von Bauvorschriften und damit die Errichtung ganz bestimmter, an die Gegebenheiten des jeweiligen Grundstücks angepaßte Riffbauwerke. Besonders imposante und aufwendige Riffgebäude können nur in ganz speziellen Lagen erstellt werden, was jedoch besonders viel Aufwand und die Mithilfe vieler Spezialisten erfordert. Jeder Häuslebauer weiß, daß das Häuslebauen mit der Verfügbarkeit von geeigneten Grundstücken steht und fällt. Wir stellen hier einige typische Lagen und ihre Riffbauwerke vor. Sie werden sehen, daß im Vergleich mit heutigen Riffen die Jura-Riffe weiter verbreitet, aber auch verschiedenartiger waren. Im Jura waren also mehr Riff-Baugrundstücke als heute verfügbar. Sie wiesen jedoch alle recht unterschiedliche Qualitäten auf.

Eine Rarität: Wir fanden Ausschnitte aus dem 150 Millionen Jahre alten Nordtethys-Immobilienanzeiger. Einige Angebote seien hier vorgestellt. Die zugehörigen Originalexposés waren jedoch nicht mehr erhalten. Deshalb vergleichen wir mit mit heutigen Immobilien und zeigen dann, was von den jurassischen Riffbauwerken heute noch übrig ist.

Angebot 1: Die Superlage:

Qualität hat ihren Preis! Aber wir haben für Sie dafür ein

Topangebot in Traumlage

Mehrstöckige Hotelanlage mit riesigem Biotop (sauberes, flaches Meerwasserbecken mit Zugang zum offenen Meer)
Zahlreiche Service-Angestellte, hoher Freizeitwert (Kinderschwimmbecken, Spielplätze, erlebnisreiches Nachtleben, Einkaufszentrum, Kino, Reparaturwerkstatt etc.).

Stabiler Baugrund, besonders stabile, biologisch-dynamische Bauweise, erstellt durch erprobtes Spezialistenteam. Wasseraufbereitung, Solarenergie und optimale Energierückgewinnung.

Achtung, wegen der optimalen Lage erwarten wir eine enorme Nachfrage.

Im Späten Jura verkauft an das internationale Konsortium:
The Coral Leasure Company

Abb. 5a,b: Erläuterung siehe Text.

Damit könnte man es vergleichen (Abb. 5a, b): Eine phantastische Traumlage direkt am Strand. Riesiger Hotelkomplex mit allem Komfort. Direkter Zugang zum offenen Meer. Kinderschwimmbecken, Freizeitanlage, Biotop, vielfältiges Nachtleben, Reparaturwerkstatt, natürlich biologisch-dynamische Bauweise mit Solarenergie und Energierückgewinnungsanlage. Klar, daß nur ein internationales Konsortium unter der Beteiligung vieler Spezialisten eine derartige Anlage errichten konnte. Das braucht Zeit. Wenn Sie aber das richtige Grundstück gewählt haben, läuft die Sache nach einiger Zeit wie von selbst. In solch bevorzugten Lagen wuchsen im Jura hochdiverse, d.h. aus zahlreichen unterschiedlichen Korallenarten zusammengesetzte Riffe.

Was von derartigen Riffanlagen heute noch übrig ist, sieht so aus:

Abb. 6 zeigt ein Jura-Riff, welches aus sehr vielen unterschiedlichen Korallenarten aufgebaut ist (und damit eine hohe Artenvielfalt oder Diversität hat). Die Korallenkolonien überwachsen sich gegenseitig. Sie sind mit Stift nachgezeichnet. Jede Nummer steht für eine andere Art.

Angebot 2: Das Einsteiger-Angebot:

Sehr günstige Gelegenheit für Immobilieneinsteiger

Sehr strandnahes, sandig-toniges Areal für Bauvorhaben in einstöckiger Niederbauweise (Hochbaubeschränkung wegen gewisser Baugrundinstabilität, dafür lateral unbeschränkte Erwweiterung möglich. Süßwasserquellen vorhanden.

Geeignet für mäßige Ansprüche bzw. für Tüftler mit unkonventionellen Ideen. Späterer mehrstöckiger Ausbau u.U. möglich.

Im Späten Jura verkauft an ***Senhor Calamo Filia und Familie****, Portugal. bereits weiterverkauft an den mittelständischen Betrieb* ***Theo Kosmil, Thamna Stera und Partner***

Abb. 7a, b: Erläuterung siehe Text.

Wenn einem die Mittel für ein solch gigantisches Bauobjekt fehlen und man lieber alleine einsteigt, aber dennoch nicht auf eine schöne Lage in direkter Strandnähe verzichten will, wäre dieses Angebot geeignet (Abb. 7). Wegen der anfälligen, von Grundinstabilitäten, Sandverlagerungen und Stürmen gefährdeten Lage und den fehlenden finanziellen Möglichkeiten, solche Nachteile durch tiefe Fundamentierung und hochwertige Baustoffe zu kompensieren, muß auf einfache, schnell reparable Niederbauweise mit Billigbaustoffen ausgewichen werden (Abb. 7b). Vielleicht ist mit etwas Glück und bastlerischem Geschick ja auch ein späterer Ausbau dieser Fritten-Buden zu einer Hotelanlage möglich. Unter derartigen Bedingungen wuchsen im Jura Korallenrasen, die nur aus einem oder wenigen Arten bestanden. Diese Korallen waren an die instabilen Bedingungen einigermaßen angepaßt. Dennoch war das Wachstum meist nur kurzfristig, und Stürme oder plötzlicher Absatz von Ton und Sand brachte diese Korallenrasen zum Absterben. Was von derartigen Riffrasen heute noch übrig ist, sieht so aus:

Abb. 8 zeigt einen jurassischen Korallenrasen, der mehrfach von Sturmereignissen betroffen war. Aus diesem Grund sind die meisten Korallen zerbrochen. Nur ein Korallenstock befindet sich noch in Lebendstellung

Angebot 3: Unser Idyll in ruhiger Lage:

Unser Idyll in ruhiger ländlicher Lage

Abseits vom Trubel der Strandnähe, zusammen mit gleichgesinnten, ruhebedürftigen Nachbarn in lockerer Bebauung. Günstiger und weiträumiger Bauplatz. Optimale UV-Filterung wegen gesunder Tiefenlage. Besonders geschützt vor Naturkatastrophen wie Stürmen, Süßwassereinbrücken sowie sozialen Unruhen.

Erste Bauphase als einstöckiger Flachbau, spätere Geschoßaufstockung ohne weiteres möglich.

Im Späten Jura verkauft an die schwäbische Großfamilie ***Kisel Schwämmle****, Beuron*

Abb. 9a,b: Erläuterung siehe Text.

Warum sollte man sich aber immer um die strandnahen Lagen streiten, die entweder schrecklich teuer oder mit problematischen Eigenschaften behaftet sind? Wie wäre es mit einer ruhigen, geschützten, strandfernen Lage (Abb. 9)? Natürlich hat man es hier schwerer, sein Auskommen zu finden. Wenn man nicht zu anspruchsvoll ist, kann man es ja vielleicht mit einem kleinen Restaurant versuchen, in der Hoffnung, daß doch so manche Besucher kommen mögen (Abb. 9b). Der liebliche Nordteil des jurassischen Tethysmeeres (siehe Kap. IV) war hier besonders erfolgversprechend. Im Jura siedelten Kieselschwämme in diesen strandferneren Lagen in etwas größerer Wassertiefe als die Korallenriffe. Sie bildeten dort häufig Schwamrasen, in denen wegen der nicht gerade üppigen, oft mit Nahrungsmangel einhergehenden Lebensbedingungen relativ wenig andere Organismen lebten. Was von derartigen Tieferwasser-Riffrasen heute noch übrig ist, sieht so aus wie in Abb. 10 gezeigt.

Vielleicht wird ja das kleine Restaurant auch bekannter. Wenn das Geschäft dann gut läuft, bekommt man mehr Gäste und kann vielleicht sogar aufstocken. Dann kommt es zu größeren Kieselschwammriffen, wie sie etwa in der Schwäbischen Alb weit verbreitet sind (*siehe Artikel Schweigert*). Im Unterschied zu den Schwammrasen ist nun ein Relief entwickelt, wodurch sich unter anderem auch die Nährstoffsituation verbessert, da wegen des Reliefs nun höhere Strömungsgeschwindigkeiten auftreten und damit mehr Nahrung in der Wassersäule vorbeikommt.

Abb. 10 zeigt einen entsprechenden Schwammrasen, bei denen große Tellerschwämme dicht an dicht siedeln (die steile Position ist durch spätere Schichtverstellung bedingt).

Angebot 4: Special Occasion:

Vielleicht sind Sie ja ein Individualist, wollen möglichst wenig Kompromisse machen und sich selbst frei entfalten (Abb. 11)? Hier ein Türmchen, dort ein Balkönchen, da ein Erkerchen (Abb. 11b)? Um niemanden auf die Füße zu treten und von Bauauflagen möglichst uneingeschränkt zu sein, müssen Sie natürlich einige Nachteile in Kauf nehmen. Machen was Sie wollen können Sie bestimmt in der Nähe von stinkenden Müllplätzen oder in Smoggebieten mit wenig Sauerstoff.

Nicht für jeden, aber vielleicht für Sie!

Keine Lust zum täglichen Nachbarschaftsstreit? Lieber weitab von neugierigen und aufdringlichen Zeitgenossen? Dann haben wir die richtige Alternative für Sie:

Keine besonderen Bauvorschriften, frei wählbare Bauwerksgröße und -ausführung. Gelegentliche Smoglagen (insb. Schwankungen im Sauerstoffgehalt) stören Sie nicht, denn dies hält Ihnen unerwünschte Zeitgenossen fern.
Achtung: nur kurzfristige Gelegenheit, schnell zugreifen!

Im Späten Jura verkauft an einen verarmten Adligen: ***Don Microbo*** *- bekannt als* ***'Graf von Monte Krusto'****)*

Abb. 11a, b: Erläuterung s. Text.

Ähnlich machten es im Jura Mikrobenkrusten, wenn sie alleine ganze Riffe aufbauen wollten. Diese Riffe wuchsen in Lagen, in denen entweder für andere Organismen wegen Überdüngung zu viele, vermodernde Nährstoffe oder zu wenig Sauerstoff vorhanden war. Diese Mikrobenkrustenriffe zeigen die unterschiedlichsten Formen und Dimensionen. Was von derartigen Riffen heute noch übrig ist, sieht so aus:

Abb. 12 zeigt ein kleines, konisches Krustenriff, welches vollständig aus verkalkten Mikrobenfilmen aufgebaut ist. Die Größten dieser Krustenriffe wurden 30 Meter hoch.

DIE JURAZEIT: WARUM WAREN DIE RIFFE SO UNTERSCHIEDLICH? WAS KÖNNEN WIR DARAUS LERNEN?

Wie wir gesehen haben, wuchsen im Jura eine Fülle von Rifftypen, die mit heutigen Riffen keine Ähnlichkeiten haben. Nur Korallenriffe gab es im Jura genauso wie heute, aber auch bei diesen zeigen sich gewisse Unterschiede. Von Kieselschwammriffen und Mikrobenkrustenriffen kennen wir heute nur kümmerliche Vertreter, die überhaupt nicht mit den jurassischen vergleichbar sind. Warum ist das so? Dazu sollten wir noch einmal kurz zusammenfassen, welche Faktoren das Auftreten und die Unterschiede innerhalb der jurassischen Riffen bedingten. Dies waren:

1. ***Die Wassertiefe:*** *Korallenriffe wuchsen (wie heute) im flachen Wasser, gemischte Korallen-Kieselschwamm-Riffe und reine Kieselschwammriffe im tieferen Wasser (letztere in Wassertiefen von vielleicht 50 bis 150 Metern).*
2. ***Die Höhe des Schlamm- und Sandeintrags*** *(d.h. die Sedimentationsrate). Immer wenn die Sedimentationsrate zu hoch war, konnten überhaupt keine Riffe wachsen; war sie tolerierbar, bildeten sich Riffe, die aus nur wenigen, an die immer noch relativ schlechten Lebensbedingungen angepaßten Organismen zusammengesetzt waren. War kein Sedimenteintrag vorhanden, konnten viel mehr verschiedene Organismen im Riff wachsen. Außerdem bildeten sich dann Mikrobenkrusten, welche wesentlich zur Festigkeit und zum Hochwachsen der Riffe beitrugen.*
3. ***Die Höhe des Sauerstoffgehalts bzw. die Häufigkeit von Sauerstoffschwankungen.*** *(Wahrscheinlich waren derartige Sauerstoffschwankungen mit Schwankungen im Nährstoffgehalt gekoppelt). Wenn zu häufig Sauerstoffmangel auftrat, konnten keine Korallen oder Schwämme mehr wachsen und es blieben nur die toleranten Mikrobenkrusten übrig, welche dann ganze Riffe alleine aufbauen konnten.*

Das Zusammenspiel dieser drei Grundparameter bedingte die jeweilige Ausbildung der Jurariffe (Abb. 13).

Warum aber sind heute diese Rifftypen nicht mehr alle vorhanden? Die Sedimentationsrate ist auch für unsere heutigen Riffe ein wichtiger Faktor, der das Auftreten der Riffe und die Zusammensetzung der Rifforganismen wesentlich steuert. ***Die Bedeutung der Sedimentationsrate ist insbesondere aus fossilen Riffen ableitbar, da hier Anfang und Ende der Riffentwicklung überliefert sind. Regenwald-***

abholzung, Mangrovenrodung, Baumaßnahmen, und Aufwirbeln von Sediment durch Wassersport, alle zur Erhöhung des Sedimentanfalls in heutigen Riffen führend, erscheinen auch nach dem fossilen Beispiel als besonders gefährlich *(s. Artikel* LEINFELDER & BRÜMMER*) .*

Warum gibt es heute, im Unterschied zum Jura, keine tropischen Tieferwasserriffe mehr? Warum sind die Mikrobenkrustenriffe aus den heutigen Meeren ganz überwiegend verschwunden? Und warum können im Unterschied zum Jura heutige Korallenriffe bis ins allerflachste, stark wellenbewegte Wasser wachsen, auch wenn dort die Auswirkungen von Stürmen besonders kraß sind?

Abb. 13: Die wichtigen Faktoren Wassertiefe, Sedimenteintrag und Sauerstoff-/ Nährstoffsituation bedingen in ihrem Zusammenspiel die Ausbildung der verschiedenen Jurariffytypen.

Abb. 14: Erläuterung siehe Text.

Zur Beantwortung dieser Fragen müssen wir uns genauer mit den ökologischen Bedingungen der Jurazeit vertraut machen. Abb. 14 zeigt eine Weltkarte für die Zeit des höheren Jura. Die Kontinente waren noch zum Superkontinent Pangaea zusammengefügt, auch wenn der Nordteil bereits im Zerfall begriffen war, wie die Meeresarme des jungen Atlantik und des weit nach Westen greifenden erdmittelalterlichen Mittelmeers - der Tethys - zeigen. Da polare Eiskappen fehlten und auch die Meeresbecken ein geringeres Volumen als heute hatten, war der Meerespiegel um mindestens 100 bis 150 Meter höher als heute. Deshalb waren viele Kontinentflächen von Flachmeeren bedeckt,

und die Schelfe der Ozeane waren weit geflutet. Der heute oft in 60 bis 150 Meter Wassertiefe liegende Schelfknick (an den sich der steile Kontinentalhang anschließt) lag damals um mindestens 100 Meter tiefer. Damit waren auch im tieferen Wasser noch flache Gefälle gegeben, auf denen sich Riffe (Kieselschwammriffe) ausbreiten konnten. Außerdem bedingte der hohe (und generell steigende) Meeresspiegel, daß viel von den Festländern geliefertes Sedimentmaterial in Ästuaren und Küstensümpfen abgefangen wurde und nicht wie heute in die tieferen Bereiche der Schelfmeere weiterverfrachtet wurde, wo es heute das Riffwachstum unterdrückt (siehe unten).

Abb. 15: Erläuterung siehe Text.

Die globale Verbreitung der wärmeliebenden Korallenriffe im höheren Jura (Abb. 15) zeigt, daß warmes Oberflächenwasser bis in hohe Breiten (z.B. dem heutigen Südchile und Südargentinien) vorhanden war. Dies war ein Effekt der klimaausgleichenden Wirkung von Meeren. Der hohe Meeresspiegel verursachte ein fast überall verbreitetes maritimes Klima, bei denen Temperaturunterschiede sehr viel moderater ausfielen als heute.

Für die Vorhersage der zukünftigen Klimaentwicklung werden zunehmend Computermodellberechnungen verwendet, die auf bestimmten Grundannahmen basieren. Auch für den Oberjura gibt es derartige Klimamodelle. Diese stimmen jedoch mit der Verteilung der tatsächlichen Klimazeugen nicht immer überein. Nach errechneten Klimamodellen sollen etwa im Oberjura in Südchile (bei Paläobreiten von ca. 55° Süd) Wassertemperaturen von 0-10°C aufgetreten sein. Gleichzeitig sind von dort aber jurassische Korallenriffe bekannt, die die typischen Anzeiger für warme Wässer aufweisen (bestimmte Kalkalgengruppen, bestimmte Sedimentpartikel). Dies deutet darauf hin, daß die Computermodellierungen für unsere Zukunft möglicherweise noch ebenso starke

Fehlern aufweisen. Die fossilen Beispiele - darunter die Jurariffe - zeigen, daß insbesondere der Einfluß des Meeresspiegels auf das Klima mit seinen verstärkenden Rückkopplungen bislang nur unzureichend bekannt sind.

Die wegen der klimapuffendernden Wirkung der oberjurassischen Meere geringen Temperaturkontraste bedingten auch weniger konstante und intensive Windsysteme und damit eine geringere Umwälzung der Wassermassen der Meere. Sauerstoffmangel konnte deshalb sehr viel leichter auftreten. Algenblüten, wie wir sie heute von der Nordsee oder der Adria kennen, waren damals ein nicht nur lokal, sondern regional auftretendes Problem. Dieses Problem war im Jura besonders dann akut, wenn ein zusätzlicher Meeresspiegelanstieg das durch den generell schon sehr hohen Meereesspiegel bereits ausgeglichene Klima noch zusätzlich nivellierte, so daß es dann zum regionalen Umkippen von Schelfmeeren kommen konnte. Dies führte unter anderem zum Absterben der sauerstoffliebenden Riffe bzw. zur Umwandlung dieser Riffe in sauerstofftolerante reine Mikrobenkrustenriffe (Abb. 15).

Sich verändernde Riffzusammensetzung im Jura war immer ein Ausdruck von sich regional oder global ändernden Umweltbedingungen. Riffe reagierten darauf bereits sehr früh. Auch heute ändert sich die Zusammensetzung unserer Riffe. So sind in der Karibik etwa die Geweihkorallen in weiten Bereichen bereits abgestorben. Das Jurabeispiel lehrt, daß dies die Vorboten weit größerer Umweltänderungen sein können.

In den Jurabeispielen bildeten sich die Sauerstoffmangelriffe immer zu Zeiten, in denen nicht nur der Meeresspiegel stieg, sondern die Kalksedimentation auch aus weiteren Gründen (v.a. Krustenunruhe) behindert war. Daß gerade in diesen Zeiten das Klima- und Zirkulationssystem besonders leicht umkippen konnte, mag am Fehlen ausgebreiteter Kalksedimentation liegen. Auch wenn die Prozesse im einzelnen kompliziert sind, wird durch Riffwachstum und dazugehörender Kalkplattformbildung dem gekoppelten Atmosphären-Hydrosphärensystem laufend das Treibhausgas Kohlendioxid entzogen.

Ist die Riffbildung gestört, kann es über geologische Zeiträume möglicherweise zu einer Anreicherung von Kohlendioxid in der Atmosphäre kommen, die das Umkippen des Klimas bis hin zur regionalen Sauerstoffzehrung im flachen Wasser begünstigen kann. Auch hier sollte uns das Jura-Beispiel Warnung dafür sein, unsere noch vorhandenen Riffe nicht weiter zu schädigen.

Abb. 16: Erläuterung siehe Text.

Abb. 16 stellt die Lebensräume heutiger tropischer Riffe und jurassischer Riffe nochmals gegenüber. Die wichtigsten Unterschiede sind hier zusammengefaßt:

1. *In unserer heutigen Zeit verursacht der tiefe Meeresspiegel einen erhöhten Sedimenteintrag aus dem Hinterland in die tieferen Bereiche der Schelfmeere sowie teilweise steile Meereshänge. Dies verhindert heute das Wachstum von Riffen im Wasser, welches tiefer als ca. 50 Meter ist. Im Jura waren diese Wassertiefen wegen des geringeren Sedimenteintrags und der flacheren Hangneigungen gut von Kiesel-*

schwammriffen besiedelbar. Grund dafür war der höhere Meeresspiegel.

2. *Wegen des hohen Sedimenteintrags wachsen heutige Riffe sehr gerne im extrem flachen, hochenergetischen Wasser, da dort durch den konstanten Wellenschlag kein Material zum Absatz kommt. Außerdem sind auch die Lichtverhältnisse für die lichtabhängigen Riff-korallen dort am besten. Die Besiedlung dieser höchstenergetischen Lebensräume war aber erst möglich durch die Entwicklung von (a) Korallen mit hohem Regenerationsvermögen (wie den heutigen Geweihkorallen) sowie (b) Organismen, die auch in diesem Milieu zerbrochenen Riffschutt binden können. Dies wird in heutigen Riffen von zementierenden Kalkrotalgen bewerkstelligt. Im Jura fehlten diese Orga-nismen noch. Die in Jurariffen vorhandenen Mikrobenkrusten waren in dieser Hinsicht in der Regel nicht effektiv genug.*
3. *Der hohe jurassische Meeresspiegel und die damit einhergehende Klimanivellierung bewirkte eingeschränkte Wasserumwälzung und damit häufig Sauerstoffmangel im tieferen Wasser. Hieran waren die Mikrobenkrustenriffe ange-paßt. Wegen der labilen Situation konnte Sauerstoffmangel teilweise auch im flacheren Wasser auftreten. Dies passierte insbesondere dann, wenn ein kurzfristiger Meeresspiegel-anstieg das Klima noch zusätzlich nivellierte und die Wasserumwälzung reduzierte. Die an solche Verhältnisse angepaßten Mikrobenkrustenriffe konnten dann auch im flacheren Wasser wachsen.*

LITERATUR

*LEINFELDER, R.R. (1994): Distribution of Jurassic reef types: A mirror of structural and environmental changes during breakup of Pangea.- Can. Soc. Petrol. Geol., Mem., **17**, 677-700, Calgary.*

*LEINFELDER, R.R., WERNER, W., NOSE, M., SCHMID, D.U., KRAUTTER, M., LATERNSER, R., TAKACS, M. & HARTMANN, D. (1966): Paleoecology, growth parameters and dynamics of coral, sponge and microbolite reefs from theate Jurassic.- Göttinger Arbeiten zur Geologie und Paläontologie, **Sb2**, 227-248, Göttingen.*

*JAMES, N.P: (1983): Reef Environment.- In: Scholle, P.A., Bebout, D.G. & Moore, C.H. (eds.): Carbonate depositional environments.- AAPG Mem., **33**, 346-440, Tulsa..*

Dieser Artikel basiert auf dem Internet-Online-Artikel "Jurassic Reef Park" (deutsch und englisch) des Autors (1995/1996), abgeändert. Den "Jurassic Reef Park" erreichen Sie online unter ***http://www.uni-stuttgart.de/geologie/Jurassic_Reef_Park***

Hier finden Sie auch (mit Ausnahme von Abb. 1) alle Abbildungen dieses Artikels in farbigem Großformat. Zur Zeit der Drucklegung dieses Artikels ist auch eine CD-Rom mit Fotos fossiler Riffe und Rifforganismen, darunter viele Beispiele von Jurariffen bei der Society of Sedimentary Petrology, Tulsa in Vorbereitung (siehe Teil 3 dieses Bandes).

HINWEIS: Der Artikel von Günter Schweigert zu Jurariffen der Schwäbischen Alb ergänzt diesen Beitrag und macht konkrete Vorschläge zum Besuch jurassischer Riffe. Weitere Exkursionsziele zu jurassischen und anderen fossilen Riffen finden Sie darüberhinaus im Artikel von Nose et al.

Der Jurassic Reef Park ist nun unter http://www.palaeo.de/edu/JRP verfügbar.

Die oben erwähnte Foto-CD ist ebenfalls publiziert und unter http://www.sepm.org bestellbar

*Profil **13**: 49-56, 1 Taf.; Stuttgart 1998*

Riffe im Weißen Jura der Schwäbischen Alb

GÜNTER **SCHWEIGERT**, STUTTGART*

DIE FELSEN DES ALBTRAUFS

In den meisten Gebieten der Schwäbischen Alb wird die Steilstufe des nördlichen Stufenrands ("Albtrauf") von massigen Kalkfelsen ohne deutliche Schichtung gebildet. Diese Kalke wurden vor etwa 150 Mio. Jahren zur Zeit des Oberen Jura in einem warmen, tropischen Meer gebildet. Wegen der hellen Farbe der Kalke wird die Gesteinsabfolge des Oberen Jura der Schwäbisch-Fränkischen Alb auch "Weißer Jura" genannt. Durch genauere Untersuchungen fand man heraus, daß es sich bei den massigen Felsen um Riffgesteine handelt, die aus den Resten von Kieselschwämmen und von eigenartigen "Algen"-Krusten aufgebaut werden.

Ähnliche Schwammkalke sind aus der Zeit des Oberjuras nicht nur aus Süddeutschland bekannt. Man findet sie auch in der Schweiz, in Frankreich, Spanien, Polen und Rumänien. Die jurassischen Schwammriffe erscheinen uns trotz deren weiter Verbreitung noch immer rätselhaft, denn es ist bis heute nicht gelungen, irgendwo auf der Erde moderne Schwammriffe zu finden, die mit den fossilen aus der Jurazeit vergleichbar wären. Aus diesem Grund können wir nur aus Indizien, die uns das Gestein und dessen Fossilinhalt liefern, indirekt über die Ablagerungsbedingungen Schlüsse ziehen.

WIE ENTSTEHT EIN SCHWAMMRIFF?

Meist handelt es sich bei den Schwammriffen um einzelne metergroße Riff-"Stotzen" inmitten einer normal gebankten Kalk/Mergel-Wechselfolge, die allmählich zu einem einheitlichen massigen Riffgestein zusammenwachsen können. Manchmal blieb das Riffwachstum auch in einem frühen Stadium stecken, und wir können dann das Anschwellen der Kalkbänke im Bereich des Schwammwachstums beobachten (Taf. 1/2). Das Anschwellen der Kalkbänke kommt durch eine erhöhte Produktion von feinstem Kalkschlamm durch verschiedene Organismen (Bakterien, Algen, Muschelschalen) an Ort und Stelle sowie durch eine stärkere frühzeitige Verfestigung des Riffgesteins zustande. An vielen Stellen blieb die Grenze zwischen einem verschwammten Bereich und der benachbarten gebankten Ausbildung im Laufe längerer Zeiten ortsfest. In diesen Fällen beobachtet man die allmähliche Herausbildung eines immer ausgeprägteren Reliefs am zuvor noch weitgehend ebenen Meeresboden. Im Laufe der Oberjurazeit wurden die Schwammriffe immer mächtiger. Das Relief wurde durch die geringere Verdichtung (Kompaktion) bei der Verfestigung der Riffe in Bezug auf die dazwischenlagernden Bankkalke und Mergel verstärkt. Die Riffabhänge erscheinen uns deswegen heute steiler, als es zur Jurazeit der Fall war. Vielerorts kann man beobachten, daß es an den steilen Riff-Flanken bereits zur Ablagerungszeit zu untermeerischen Rutschungen oder sogar zu Abbrüchen von bereits verfestigtem Riffgestein gekommen ist. Das einstige Relief des Meeresbodens mit Höhenunterschieden von teilweise mehr als 50 Metern kommt heute, 150 Millionen Jahre nach seiner Entstehung, durch die Abtragung wieder zum Vorschein (Taf. 1/1). Es gibt sich am Auf und Ab der die Täler begleitenden Felskränze zu erkennen. In den Balinger Bergen ist dies zwischen dem Lochenstein und dem Hörnle gut zu erkennen. Man spricht dort bildhaft von einer "Girlandenschichtung".

Das Gebiet zwischen dem Hörnle und dem Plettenberg (Balinger Alb) steht unter Naturschutz. Die Hinweise auf den Informationstafeln sind unbedingt zu befolgen. Am besten erkennt man die Schwammriffe und ihre Lagerungsbeziehungen mit der Girlandenschichtung bei einer Wanderung auf den Plettenberg bei Balingen. Ein Betreten des dortigen Steinbruchs ist aus Sicherheitsgründen nicht gestattet. Fossilien aus dem Steinbruch sind im "Werkforum", dem Museum des Zementwerks Rohrbach in Dotternhausen ausgestellt.

* Dr. Günter Schweigert, Staatliches Museum für Naturkunde, Rosenstein 1, 70191 Stuttgart

DIE RIFFBILDNER DER SCHWAMMRIFFE

Neben den ab und zu herauswitternden Kieselschwämmen waren, wie man heute weiß, auch Bakterien und andere Mikroorganismen beteiligt, die abgestorbene Schwämme am Meeresboden mit dicken Kalkkrusten überzogen. Die oberjurassischen Kieselschwämme traten mit becher- und tellerartigen Formen auf (Taf. 1/3). Manchmal erreichten sie Durchmesser von fast 1 Meter! Sie besaßen ein Skelett aus Kieselnadeln (Taf. 1/4), das bei der Gesteinsbildung in der Regel aufgelöst und durch Kalzit ersetzt wurde. Durch die Überkrustung ist es mitunter nicht einfach, die Schwämme als solche zu erkennen. Die mikroskopischen Erzeuger der Krusten (Bakterien, Blaualgen) kann man meistens nicht mehr sicher unterscheiden. Man spricht deswegen von "Mikrobolithen", das bedeutet "Mikrobengesteine". In den mikrobiellen Kalkkrusten lebten verschiedene kalkschalige Einzeller (Foraminiferen) und Röhrenwürmer mit kalkigem oder aus kleinen Partikeln zusammengeklebtem Gehäuse. Merkwürdigerweise findet man die Krusten immer nur auf den Oberseiten der Fossilien. Auf den Unterseiten der Kieselschwämme treten ganz andere Fossilgemeinschaften auf, wie zum Beispiel kleine Kalkschwämme, festgewachsene Armfüßer (Brachiopoden), kleine Muscheln und Moostierchen-Kolonien (Bryozoen). Man schließt aus der unterschiedlichen Besiedlung der Schwämme, daß zumindest einige der Mikroben, die für die Krustenbildung verantwortlich gemacht werden, vermutlich Licht zur Photosynthese benötigt haben. Kieselschwamm-Bildungen ohne Kalkkrusten sind im Weißjura der Schwäbischen Alb seltener oder treten kaum in Verbindung mit Riffstrukturen in Erscheinung.

Im Verzahnungsbereich von kleinen Schwammriffstotzen mit der gebankten Fazies kann man in den etwas mergeligeren Partien eine außerordentlich reichhaltige Fauna finden, die aus meist kleinwüchsigen Arten besteht. Nach der berühmten Fundstelle am "Lochengründle", der Paßhöhe der Straße von Balingen zum "Lochen", bezeichnet man die fossilreichen Schichten als "Lochenschichten". Häufig sind darin verschiedene kleinwüchsige Armfüßer (Brachiopoden), Seeigelstacheln, die zierlichen Kelche einer kleinen Seelilie, die an Gewürznelken erinnern, kleine Kiesel- und Kalkschwämmchen und auch zahlreiche Ammoniten. Dieser Fossilreichtum beweist, daß das Nahrungsangebot im Bereich der Schwammriffe größer gewesen sein mußte als in den von Schwämmen unbesiedelten Bereichen. Auch am Lochengründle sind die Kieselschwämme häufig von mikrobiellen Kalkkrusten bedeckt ("mumifiziert").

Bis heute wissen wir nicht genau, in welcher Tiefe sich die Schwammriffe gebildet haben. Man nimmt aber aus einer Vielzahl von Gründen an, daß die meisten Schwammriffe der Schwäbischen Alb in einer Tiefe unterhalb dem Einflußbereich von Sturmwellen entstanden sein müssen, in die nur noch wenig Licht vordringt (ca. 60-80 m). Typische Bewohner des Flachwassers, wie koloniebildende Korallen, dickschalige Muscheln, große Gehäuseschnecken oder Wirtelalgen fehlen deswegen in den Schwammriffen.

DIE SCHWAMMRIFFE GEWINNEN DIE OBERHAND

Während in älteren Weißjura-Schichten nur in bestimmten Regionen der Schwäbischen Alb Schwammriffe vorkommen (Balinger Alb, Obere Donau), dehnen sich diese Bildungen in jüngeren Schichten immer weiter aus. Die in älteren Schichten noch deutlich sichtbare Architektur der einzelnen Stotzen geht immer stärker verloren. Es kommt zur Bildung des sogenannten "Massenkalk", der in zahlreichen großen Steinbrüchen (zum Beispiel im Gebiet der Oberen Donau, im Blautal oder auf der Heidenheimer Alb) zur Gewinnung von Straßenschotter, für die Zementherstellung oder für die chemische Industrie abgebaut wird. Neben Bereichen mit intensivem Schwammwachstum gibt es innerhalb der Massenkalke auch solche, in denen überhaupt keine oder nur ganz untergeordnet Schwämme nachgewiesen werden können. Dort besteht das Gestein vorwiegend aus nur mikroskopisch erkennbaren, rundlichen Partikeln. Teilweise scheint es sich bei diesen Partikeln um Bildungen von Bakterien oder um Kotpillen zu handeln. Gelegentlich findet man auch konzentrisch-schalig aufgebaute Kalkpartikel, sogenannte "Ooide". Daraus wird von manchen Forschern auf das Vorhandensein von ausgedehnten lagunenartigen Flachwasserbereichen geschlossen. Die Massenkalk-Felsformationen des Oberen Donautals, die neben Schwammriffen aus solchen Partikelkalken bestehen, können bis zu 150 Meter mächtig werden.

Bei einer Wanderung durch das Tal der Oberen Donau ist der Abschnitt zwischen Mühlheim und Dietfurt besonders zu empfehlen. An einigen Schichtfugen innerhalb der Felsen ist wiederum das Relief des jurazeitlichen Meeresbodens nachgezeichnet (Taf. 1/1).

DOLOMITISIERUNG VON SCHWAMMRIFFEN

Vielerorts kann man im Massenkalk selbst mit der Lupe keine Reste von Fossilien oder anderen Partikeln mehr erkennen. Das Kalkgestein unterlag nämlich häufig einer Dolomitisierung. Dabei wird durch magnesiumreiche Porenwasserlösungen das Kalzium im Kalkstein teilweise durch Magnesium ausgetauscht und somit der Kalzit in Dolomit umgewandelt. Bei diesem Vorgang werden Feinstrukturen und Fossilien unkenntlich oder ganz ausgelöscht. Eine eindrucksvolle Karstlandschaft, die aus solchen fossilleeren Dolomitfelsen besteht, ist das bekannte "Wental" auf der Ostalb zwischen Bartholomä und Steinheim am Albuch. Manche Dolomitgesteine wurden später erneut umgewandelt. Dann liegt der "Zuckerkörnige Lochfels" vor, ein grobkörniges, wie Kristallzucker glitzerndes Gestein, das nun völlig fossilleer ist. Im "Zuckerkörnigen Lochfels" kommt es zu einer besonders intensiven Kalklösung mit Bildung von Höhlen, Erdfällen und anderen Karsterscheinungen.

KORALLENKALKE AUF DER OSTALB

Im Verlauf einer Meeresverflachung im höheren Weißjura stellten sich da und dort, vor allem im Gebiet um Bad Urach und auf der Ostalb, Meeresbewohner des Flachwassers ein. Namentlich die Umgebung von Nattheim ist seit langer Zeit durch das Vorkommen von ausgezeichnet erhaltenen Riffkorallen und anderen Fossilien bekannt. Da die Schalen und Skelette dieser Fossilien häufig in Kieselsäure umgewandelt sind, findet man sie gelegentlich durch natürliche Verwitterungsprozesse freigelegt. Günstige Fundmöglichkeiten bestehen auf abgeernteten Äckern oder in Wäldern in den Wurzeltellern umgestürzter Bäume. Man kann den natürlichen Prozessen der Kalklösung aber auch auf künstliche Weise nachhelfen. Hierzu ätzt man den als fossilführend erkannten Kalk mit verdünnter technischer Salzsäure oder anderen schwachen Säuren weg, und die verkieselten Fossilien bleiben als unlöslicher Rückstand zurück. Das zur Jurazeit im Kalk gebundene Kohlendioxid wird so wieder in den atmosphärischen Kreislauf zurückgeführt. Die Bedeutung der heutigen tropischen Korallenriffe wird gerade bei dieser Präparationsmethode (siehe unten) klar, wenn man sich vergegenwärtigt, wieviel Kohlendioxid, das für den Treibhauseffekt in besonderem Maße verantwortlich ist, im Kalkstein fossiler Riffe gebunden ist! Die aktuelle direkte oder indirekte Zerstörung vieler Korallenriffe durch Umweltverschmutzung und ausufernden Unterwasser-Tourismus könnte so weitreichende Folgen für unser Weltklima besitzen und betrifft uns deswegen alle.

DAS RÄTSEL DER VERKIESELUNG

Trotz der relativ einfachen Methode, sich die Verkieselung der Fossilien für die Präparation zu Nutze zu machen, ist der Vorgang der Verkieselung an sich ein im Grunde noch immer nicht vollständig geklärtes Phänomen. In der Regel sind nur die Oberflächen der Fossilien und eine dünne Schicht darunter verkieselt. Untersuchungen ergaben, daß bei der Gesteinsdiagenese zunächst die kalkigen Skelette der meisten Fossilien vollständig weggelöst wurden, während die feinerkörnige Matrix erhalten blieb. Man kann sich dieses Gestein wie einen Schwamm vorstellen. Gesteine in einem solchen Zustand können unter Umständen zu einem Speichergestein für Erdöl oder Erdgas werden. Dies ist auf der Schwäbischen Alb aber nicht der Fall, weil die entstandenen Poren rasch wieder verfüllt, d. h. zementiert wurden und die Schichten außerdem seit der Jurazeit sehr oberflächennah liegen. In vielen Fällen besteht die Ausfüllung der Porenräume aus Kalzit, an manchen Stellen aber eben auch aus Kieselsäure. Als Quelle der Kieselsäure betrachtet man vor allem die im Meerwasser aufgelösten Skelettnadeln von Kieselschwämmen. Die gelöste Kieselsäure flockte offenbar bei einem geeigneten chemischen Milieu im Porenwasser wieder aus. In manchen Fällen ist die Verkieselung derartig perfekt, daß selbst feinste Einzelheiten, wie etwa Körnelungen auf den Oberflächen der Korallenskelette wiedergegeben werden. Solche herausgeätzten Korallenstöcke sind dann auf den ersten Blick kaum von modernen Korallen zu unterscheiden.

Abgesehen von den berühmten Vorkommen bei Nattheim und zahlreichen weiteren Fundpunkten im Gebiet der Heidenheimer und Ulmer Alb kennt man Korallenkalke aus dem Oberjura der Schwäbischen Alb auch von einigen Gebieten der Mittleren Alb, darunter sind besonders die bekannteren Vorkommen von Wittlingen bei Bad Urach zu nennen. Mit etwas Glück kann man auf den abgeernteten Feldern im Herbst herausgewitterte verkieselte Korallen finden. Für die Suche empfiehlt es sich, eine geologische Karte oder Fachliteratur heranzuziehen.

KORALLENRIFFE AUS RIFFSCHUTT

Bei den Korallenvorkommen der Schwäbischen Alb handelt es sich nicht um Teile eines langgestreckten Riffgürtels, wie es das heutige Great

Barrier Reef vor der Küste Australiens darstellt, sondern um kleine, isolierte Fleckenriffe, deren Durchmesser in den meisten Fällen 10 Meter kaum überschreitet. Der nahezu einzige Fall, in dem ein solches Riff sichtbar ist, kennt man aus einem alten Steinbruch bei Arnegg im Blautal. Dort sind die Korallen und ihre Begleitfauna sowohl im eigentlichen Riff wie auch in den Riffschuttbänken allerdings nur kalkig erhalten. In Arnegg bietet sich die Möglichkeit, den Übergang von einem Schwammriff in ein Korallenriff zu untersuchen. Der Wechsel ist sicherlich mit einer Verflachung des Meeres in Verbindung bringen. Dabei stellten sich allmählich günstigere Wachstumsbedingungen für Riffkorallen ein. In den ältesten korallenführenden Schichten im Steinbruch Arnegg findet man zusammen mit Kieselschwämmen eine fächerförmige Pionierart unter den Korallen, die an verhältnismäßig tiefes Wasser mit wenig Licht angepaßt war. In den höheren Schichten nimmt die Artenvielfalt dann rasch zu.

Die meisten fossilen Korallenriffe im Oberjura und auch die der Schwäbischen Alb bestehen nur aus einer Ansammlung von Riffschuttmaterial. Dies rührt daher, daß in den Riffgemeinschaften der Jurazeit die kalkabscheidenden Rotalgen noch weitgehend fehlten, die am Aufbau der modernen Korallenriffe in reicher Zahl mitbeteiligt und wesentlich für deren Stabilität gegenüber Brandung verantwortlich sind. Jurassische Korallenriffe waren deswegen sehr zerstörungsanfällig. In vielen Fällen ist von den Riffen nicht viel mehr übriggeblieben sein, als der in einzelnen Gesteinsbänken angereicherte Korallenschutt. Trotzdem konnte ein jurassisches Korallenriff bei steigendem Meeresspiegel oder einer Absenkung des Meeresbodens in die Höhe wachsen, denn der Schutt bot riffbewohnenden Organismen immer wieder einen geeigneten Hartgrund für eine erneute Ansiedlung. Oft wurde das Riffwachstum der Korallenbänke aber rasch durch eine Zuschüttung mit Kalkschlamm erstickt. Die Riffkorallen der Schwäbischen Alb hatten außer mit der mechanischen Belastung durch Sturmereignisse immer wieder mit feiner toniger Wassertrübe zu kämpfen. Darauf reagieren die meisten Korallenarten außerordentlich empfindlich. Zu derselben Zeit, als die Korallen wuchsen, wurden nämlich auch die mächtige Kalk-Mergel-Wechselfolge der "Zementmergel" abgelagert, die heute noch bei Heidenheim-Mergelstetten oder bei Schelklingen in großen Steinbrüchen für die Zementherstellung abgebaut werden.

Die großen Steinbrüche von Heidenheim-Mergelstetten können nur mit Genehmigung der Firma Schwenk-Zement, Heidenheim-Mergelstetten besichtigt werden. Aufgeschlossen sind gebankte Kalke und Mergel, die sich mit umkristallisierten Schwammriffen und Mikroben-Gesteinen verzahnen. Fossilien sind sehr selten.

ANPASSUNGEN AN VERSCHIEDENE BIOTOPE

Zur Bildung von Korallenriffen kam es immer nur dann, wenn die freischwimmenden Korallenlarven auf dem vorgegebenen stark gegliederten Meeresboden gegen Sedimentation geschütztere und flachere Bereiche vorfanden. Die Riffkorallen (Taf. 1/6) waren gezwungen, sich an sehr spezielle und kleinräumige Bedingungen anzupassen. So ist zu erklären, daß nahezu jede neu gefundene Korallenfundstelle ihre ganz eigene Faunenzusammensetzung besitzt. Auch besondere ökologische Anpassungen bestimmter Arten an unterschiedliche Riffbiotope können beobachtet werden. So konnten grazile Fächer einer ästigen Korallenart sicher nur in geschützten Stillwasserbereichen wachsen, während dieselbe Art bei stärkerer Wasserbewegung eine kompaktere Wuchsform entwickelte. In Vorkommen, die tieferen Riffbereichen mit geringerer Wasserbewegung entsprachen, treten häufig Korallen auf, die ausgesprochen dünne, flache Fächer ausbildeten (Taf. 1/7). Solche Korallen waren an die optimale Nutzung der zur Verfügung stehenden geringeren Lichtmenge angepaßt. Das Licht ist für das Funktionieren der Photosynthese bei den mit den Korallen in Symbiose lebenden einzelligen Grünalgen (Zooxanthellen) notwendig. Bei manchen Arten, die im tieferen Wasser eine fächerartige Wuchsform besitzen, entwickelten sich im flacheren Wasser stabilere, massive Wuchsformen. Häufig sind früher solche unterschiedlichen, ökologisch bedingten Wuchsformen als verschiedene Arten aufgefaßt worden.

WER LEBTE IN EINEM JURASSISCHEN KORALLENRIFF?

Die jurassischen Korallenriffe zeichnen sich durch eine gegenüber normalen Schichten immens gesteigerte Artenvielfalt aus. Die Korallenfauna aus den Riffen und Schuttbänken der Schwäbischen Alb gehört in ihrer Gesamtheit weltweit zu den vielfältigsten und besterhaltenen aus dieser Zeit. Gegenwärtig kennt man bereits über 55 Gattungen mit mehr als 150 Arten. Neben Einzelkorallen sind verschiedenste Arten von Stockkorallen belegt. Kieselschwämme treten bisweilen auch in den Korallenriffen in Erscheinung, besitzen aber nicht dieselbe Bedeutung wie in den Schwammriffen. Die Kalkschwämme in den Korallenkalken sind dagegen wesentlich häufiger, artenreicher und großwüchsiger als in den Schwammriffen. Unter den Muscheln sind festgewachsene oder ursprünglich mit Byssusfäden

festgeheftete Arten vorherrschend, während im Sediment grabende Muscheln nur untergeordnet auftreten. Auffälligerweise gehören großwüchsige Muscheln zu den größten Seltenheiten schwäbischer Korallenriffe, während sie in Korallenriffen des Fränkischen Juras (Kelheim bei Regensbug) häufig auftreten. Bohrmuschellöcher und andere Hinweise auf riffzerstörende Organismen findet man in der Regel nur in großen alten Korallenstöcken. Die Anbohrungen verminderten die Stabilität der Riffe. Bei den Schnecken dominieren in den schwäbischen Korallenriffen kleine, aber hübsch skulpturierte Arten. Von einigen wenigen Fundstellen kennt man auch große, dickschalige Turmschnecken aus der Gruppe der Nerineen mit einer faltigen Spindel. Besonders vielgestaltig ist der Aufwuchs auf Korallenstöcken und anderen Hartsubstraten. Man kennt verschiedene Armfüßer (Brachiopoden), kleine, festgeheftete Muscheln, Moostierchen-Kolonien, hirschgeweihartig verzweigte Kalkschwämme, und natürlich die kalkigen Bauten von Röhrenwürmern. Manche Röhrenwürmer sind von den Korallen umwachsen, woraus man auf eine Besiedelung zu Lebzeiten des Korallenstocks und vielleicht sogar auf eine gegenseitige symbiontische Beziehung schließen kann. Die Armfüßer treten mit speziell angepaßten Formen auf, die in Schwammriffen seltener sind oder fehlen. Besonders eine Art mit einer entenfußartigen Schalenskulptur kommt häufig in den Korallenkalken vor. Weitere typische Riffbegleiter sind verschiedene Stachelhäuter wie Seelilien, Seesterne und Seeigel (Taf. 1/5). Ihre kalkigen Skelette sind jedoch in der Regel in die einzelnen Elemente zerfallen, die dann in gesteinsbildender Menge auftreten können. Seeigelgehäuse und die robusten Kelche von Seelilien findet man gelegentlich auch in vollständigeren Exemplaren. Die versteinerten Schalen von aktiv schwimmenden Molluskengruppen wie Nautiliden und Ammoniten kommen im Korallenriffgestein nur als große Seltenheiten vor. Die Ammoniten spielen aber wegen ihrer Bedeutung als Leitfossilien für die genaue Altersdatierung der Korallenriffe dennoch eine wichtige Rolle. Reste von Wirbeltieren (Fische, Reptilien) oder von Krebsen sind merkwürdigerweise in den Korallenkalken des Schwäbischen Juras kaum vorhanden. Sie sind aufgrund ihrer phosphatischen oder chitinigen Skelette gegenüber den kalkigen Resten von Korallen und Mollusken weniger gut überlieferungsfähig. Daß sie aber in den jurassischen Korallenriffen mit Sicherheit ebenfalls vorhanden waren, läßt sich anhand der Funde in anderen Fossillagerstätten aus derselben Zeit belegen. So kennt man aus dem Nusplinger Plattenkalk der westlichen Schwäbischen Alb eine artenreiche Fisch- und Krebsfauna.

Das Stuttgarter Naturkundemuseum betreibt seit 1993 eine wissenschaftliche Grabung in den oberjurassischen Plattenkalken von Nusplingen (Zollernalbkreis). Die Wanderwege zu der Grabungsstelle sind ausgeschildert ("Geologischer Steinbruch"). Bei Interesse an Führungen an der Grabungsstelle wende man sich an die zuständigen Museumsmitarbeiter (Dr. Dietl, Dr. Schweigert).

Zähne und Flossenstacheln von Haien oder Reste von Krokodilen und Meeresschildkröten fand man gelegentlich auch im sogenannten "Brenztal-Trümmeroolith", einem früher in Schnaitheim bei Heidenheim abgebauten Riffschuttgestein, das in flachem Wasser abgelagert wurde. Dies läßt sich an Sedimentstrukturen wie Schrägschichtung, Flachwasser anzeigenden Fossilien wie den Wirtelalgen (Gruppe kalkabscheidender Grünalgen) und den Kalkooiden, das sind millimetergroße, konzentrisch-schalig aufgebaute Kalkpartikel, erkennen. Kalkooide bilden sich heute beispielsweise im flachen Wasser bei den Bahamas.

Der aufgelassene Steinbruch am "Moldenberg" bei Schnaitheim zeigt eindrucksvoll den Gesteinsaufbau des Brenztal-Trümmerooliths. In herumliegenden Blöcken kann man entsprechende Fossilien finden. Zur Vermeidung von Unfällen halte man sich unbedingt von den Bruchwänden fern!

Das Gesamtbild der Fauna und Flora jurassischer Korallenriffe muß also trotz der quantitativ erfaßbaren Fossilien bei der Ätzpräparationsmethode unvollständig bleiben und aus anderen Gesteinen ergänzt werden.

VOM KALKSTEIN ZUM KORALLENSTOCK

Die Ätzpräparation wurde im Laufe der letzten 20 Jahre am Staatlichen Museum für Naturkunde in Stuttgart zunehmend perfektioniert. Heute stammt das allermeiste neu aufgesammelte Material aus großen Riffschuttblöcken, die bei Haus- und Straßenbauten auf der Heidenheimer Alb zum Vorschein kamen. Die fossilführenden Korallenkalkblöcke werden mittels einer Aufhängevorrichtung in einen großen Kunststoffbehälter mit verdünnter Salzsäure eingetaucht. Die Salzsäure löst den zwischen den verkieselten Fossilien vorhandenen Kalk weg, so daß der Block nach und nach seinen Inhalt preisgibt. Natürlich muß der Ätzvorgang ständig überwacht werden, damit eine zu heftige Kohlensäure-Entgasung nicht zur Zerstörung der Objekte führt. Die Verkieselung beschränkt sich außerdem oft nur auf die äußerste Schicht der Fossilien, während deren Inneres kalkig erhalten ist. Um ein Eindringen der Salzsäure über kleine Risse und Spalten in das

Innere der Fossilien zu verhindern, werden gefährdete Partien mit einem Gemisch aus flüssigem Bienenwachs und Paraffin bestrichen. Durch die abdichtende Wirkung des Wachses wird der Ätzvorgang in diesen Bereichen unterbunden. Die herausgeätzten Fossilien können dann von dem Block nach und nach abgepflückt werden. Kleinere Stücke fallen einfach ab und sammeln sich ebenso wie mikroskopisch kleine verkieselten Fossilien (z. B. Schwammnadeln) am Grund des Salzsäurebehälters an. Die Fossilien werden anschließend zur Neutralisierung einige Zeit in klares Wasser gelegt. Danach werden sie getrocknet und später noch in eine Lösung aus Wasser und Holzkaltleim getaucht, wodurch bruchempfindliche Objekte stabilisiert werden. Durch geschickte Vorgehensweise beim Ätzen ist es sogar möglich, eine ganze Riffgemeinschaft im Verband freizulegen. Mit Hilfe dieser Korallenkalk-Ätzmethode wurden prachtvolle Fossilien freigelegt, wie sie in dieser Vollständigkeit und Schönheit von der natürlichen Verwitterung nie erreicht worden ist.

Die Ätzpräparation wird zu bestimmten Terminen am Stuttgarter Naturkundemuseum demonstriert (Info Museumspädagogik oder Monatsprogramm). Ein kleiner Teil der herausgeätzten verkieselten Fossilien aus den Korallenkalken von Nattheim und Gerstetten sind in der Schausammlung ausgestellt. Daneben befinden sich in der Magazinsammlung mehr als 30.000 Fossilien aus den Korallenkalken der Schwäbischen Alb.

Tafel 1: Riffe und Riffossilien aus dem Oberen Jura (Weißjura) der Schwäbischen Alb

Abb. 1: Blick vom Knopfmacherfelsen auf das Obere Donautal und die Schwammriffe vor der Zementmergelschüssel von Schloß Bronnen. Die Schwammriffe zeichnen das Relief des Meeresbodens nach.

Abb. 2: Schwammriff im Unteren Weißjura. Übergang in geschichtete Fazies. Stbr. auf dem Plettenberg.

Abb. 3: Kieselschwamm aus dem Mittleren Weißjura der Schwäbischen Alb. Höhe ca. 6 cm.

Abb. 4: Vergrößerter Ausschnitt mit Skelettnadeln eines Kieselschwamms aus dem Oberen Weißjura der Schwäbischen Alb. Bildausschnitt: Höhe ca. 0,7 cm.

Abb. 5: Seeigel Plegiocidaris aus dem Korallenkalk von Nattheim. Durchmesser ca. 5 cm.

Abb. 6: Korallenstock der Gattung Ovalastrea aus dem Korallenkalk von Gerstetten bei Heidenheim. Größe ca. 10 cm.

Abb. 7: Fossile Fächerkoralle Enalhelia aus dem Korallenkalk von Gerstetten. Höhe ca. 15 cm.

1

2

3

4

5

6

7

Profil ***13****: 57-68, 10 Abb.; Stuttgart 1998*

Riffe aus dem Muschelkalk

HANS ***HAGDORN****, INGELFINGEN**

NEUANFANG NACH DER KATASTROPHE

Am Ende des Perms war es zur schlimmsten Ökokatastrophe der Erdgeschichte gekommen. Ihr fielen an die 90 % aller Meerestiere zum Opfer. Was war passiert? Innerhalb von ca. einer Million Jahre sank der Meeresspiegel, und Flachmeerbiotope mit artenreichen Lebensgemeinschaften entlang dem Superkontinent Pangäa fielen trocken. Extreme Klimaschwankungen, verursacht durch Vulkanausbrüche in Sibirien, CO2-Anstieg und Treibhauseffekt trieben den ökologischen Kollaps voran. Als der Meeresspiegel ganz am Ende des Perms wieder stieg, wurden die Küstenebenen von sauerstoffarmem Wasser überflutet und die neu entstandenen Biotope ertränkt. Besonders stark betroffen von dieser weltweiten Katastrophe waren die Riffbiotope mit ihren hochspezialisierten Bewohnern, die sich in dem vorausgegangenen Goldenen Zeitalter des Perm diversifiziert hatten.

Marine Sedimente der frühen Untertrias enthalten weltweit artenarme Faunen von Muscheln und schloßlosen Brachiopoden, die geringe Ansprüche an den Sauerstoffgehalt des Meerwassers stellten. Bis zur Mitteltrias etablierten sich wieder artenreiche Ökosysteme. Darin herrschten aber nicht mehr wie im Erdaltertum die festsitzenden Brachiopoden, Bryozoen und Seelilien, sondern bewegliche Muscheln, Schnecken, Ammoniten, Fische, Seeigel und Seesterne, die in einem evolutionären Wettrüsten von Räubern und Beutetieren am erfolgreichsten abschnitten.

Das geographisch isolierte Muschelkalkmeer, das sich über weite Teile Mitteleuropas als Randmeer des triaszeitlichen Tethysozeans erstreckte (Abb. 5), dokumentiert für die Mitteltrias (Anis und Ladin) aufgrund günstiger sedimentologischer Bedingungen vielfältige Lebensgemeinschaften, die teils noch altertümlich-paläozoischen Charakter hatten, teils schon modern-mesozoischen. Aus der Mitteltrias kennt man die frühesten mesozoischen Riffe, von denen im Muschelkalk gleich mehrere Typen dokumentiert sind.

DER MUSCHELKALK

Während der Mitteltrias lag Süddeutschland bei ca. 30° N unter subtropischem Trockenk!ima. Das Muschelkalkmeer war nur wenige Meter bis Zehnermeter tief. Aus dem karbcnatgesättigten Wasser schieden zahlreiche Organismen Kalk aus, der zusammen mit ihren Skeletten am Meeresboden abgelagert wurde. Zeitweilig schütteten Flüsse von den umliegenden Festländern ihre Fracht von Ton und Sand in das Becken, das sich langsam absenkte und dabei mit zyklisch wechselnden Sedimenten aufgefüllt wurde. Im Unteren und Oberen Muschelkalk verlief der Wasseraustausch mit der Tethys durch wechselnde Meerespforten ungehindert, im Mittleren konnte bei allgemeinem Meeresspiegeltiefstand übersalzenes Wasser nicht mehr in die Tethys abfließen, und es wurden in Salinarzyklen Evaporite (Gips/Anhydrit, dann Steinsalz) ausgeschieden. In dieser Phase lebten nur an den weniger lebensfeindlichen Rändern des Meeres einige Spezialisten, welche die hohen Salzgehalte tolerierten. Dazu gehören die Blaugrünalgen, die in manchen Dolomithorizonten an der Basis und in den höchsten Abschnitten des Mittleren Muschelkalks horizontbeständig Stromatolithriffe aufbauten. Der Untere Muschelkalk hat besonders im Südosten, wo sich das Muschelkalkmeer durch die Schlesisch-Mährische Pforte zur Tethys öffnete, seine reiche Lebewelt fossil überliefert. Im Oberen Muschelkalk ist die Diversität am höchsten in Südwestdeutschland und Ostfrankreich, denn diese Gebiete lagen nahe zur Burgundischen Pforte, über die das Meer des Oberen Muschelkalks mit der Tethys verbunden war. Im weiteren Einflußbereich dieser Meeresstraßen waren zeitweilig die Voraussetzungen für die Entstehung von Riffen günstig.

* OStR. Dr. h.c. Hans Hagdorn, Kaufmännische Schulen Künzelsau, Jahnstraße, 74653 Künzelsau

Abb. 1. Paläogeographische Karte der Muschelkalkzeit und Vorkommen von Riffen. Kartengrundlage nach ZIEGLER (1982) aus HAGDORN et al. (1981).

Placunopsis- Riffe

Die austernartige Muschel Placunopsis ostracina wurde kaum größer als ein Markstück. Ihre Larven verankerten sich, meist in größeren Schwärmen, wo fester Untergrund verfügbar war. Die Muschel verwuchs dann mit der rechten Klappe auf ihrer Unterlage. Beim Heranwachsen behinderten sich die dicht nebeneinander siedelnden Tiere gegenseitig und konnten deshalb selten ihre Maximalgröße erreichen. Anders als unbehindert wachsende Individuen, die z.B. als Aufsiedler von Ceratiten über 30 mm groß wurden, blieben die meisten Tiere in dichten Kolonien unter 10 mm und bildeten durch die nachbarschaftliche Behinderung bedingte polygonale Muster. Nach dem Tod der Muschel und Verwesung ihrer Weichteile fiel die freie linke Klappe ab, während die festzementierte rechte als Kruste auf dem Untergrund verblieb. Solange bei geringen Sedimentationsraten nur wenig Schlamm abgelagert wurde, siedelten die Muscheln nun Generation um Generation jahrtausendelang übereinander, bis schließlich meterhohe Riffstotzen entstanden.

Die Placunopsis-Schale bestand aus einer äußeren Lage aus lamellärem Kalzit (Ostracum) und einer inneren (Hypostracum) aus Aragonit, einem Kalziumkarbonat, das sich im Meerwasser und im Sediment in geologisch kurzer Zeit auflöst. Kalzit ist dagegen stabiler und im Muschelkalk erhalten geblieben. Weil das kalzitische Ostracum am Rand der Placunopsis-Klappe verdickt ist, gleichen fest-

Abb. 2 Schnitt durch ein Placunopsis - Riff aus Epinal (Frankreich), das die Interngliederung in Pfeiler und Knollen zeigt. Aus HÖLDER, 1961.

Abb. 3 Lebensgemeinschaft der Placunopsis -Riffe. Auf einem Hartgrund ragen kompakte Pfeiler aus Placunopsis -Klappen auf (1). Lagenweise sind sie angebohrt. An einzelnen Stellen siedeln noch lebende Placunopsis (2), die Muschelkalk-"Auster" Enantiostreon spcndyloides (3) und der Röhrenwurm "Spirorbis" valvata (4). Sekundärsiedler waren die Terebrateln Coenothyris vulgaris (6), Miesmuscheln "Mytilus" eduliformis (5) und Pleuronectites laevigatus (7). Flach eingegraben im Schlamm lebten Bakevellia substriata (8) und Nuculana excavata (9). Aus: HAGDORN & SIMON, 1985.

gewachsene Schalen an der Riffoberfläche, deren Hypostracum weggelöst ist, flachen Schüsselchen mit einem unregelmäßigen Wulstrand. Gelegentlich sind darauf sogar noch radiale rötliche Farbstreifen erhalten geblieben. Wo die weggelöste Aragonitschicht im Inneren eines Placunopsis-Riffs stabile Hohlräume hinterließ, wurden diese später mit grobkristallinem Kalzit auszementiert. Im Ostracum kam es zu Verkieselung.

Placunopsis-Riffe gibt es in unterschiedlichen Wuchsformen. Die typischen Placunopsis-Riffe bilden dick-linsenförmige Körper mit einer hirn- oder blumenkohlähnlichen Oberflächenstruktur und gegen das umgebende Sediment scharf begrenzten, steilen Rändern. Bei großen Riffen kann der oberste eine helmartige Kuppel bilden. Das größte bekannte Placunopsis-Riff erreicht 10 m im Durchmesser und 4.5 m Höhe; die meisten Riffe bleiben aber mit 1.5 bis 2.5 m Durchmesser und 1.5 m Höhe deutlich darunter. Vertikalschnitte zeigen den pfeiler- oder wulstähnlichen Innenbau der Riffe (Abb. 2), der Stromatolithen vom Typ LLH SH (seitlich verbundene, dann pfeilerförmig gestapelte Halbkugeln) entspricht. In den engen Zwickeln zwischen den Pfeilern lagert Feinsediment mit Schalenresten, das ihr Zusammenwachsen verhindert. Als Sekundärsiedler lebten auf der festen Riffkruste festzementierte Röhrenwürmer, Foraminiferen, Muschelkalk-"Austern", mit Byssus flexibel angeheftete Pectiniden, Bakevellien und insbesondere die Terebratel Coenothyris, die sich mit ihrem Stiel an der Kalkoberfläche des Riffs festätzte und auch in den Riffflanken dichte Kolonien bildete (Abb. 3). Diese Strukturen hatten ein stabiles Gerüst, das dem Wellenschlag standhielt, und eine Böschung, waren also echte Riffe. In der Literatur werden sie auch als Bioherme oder Stillwasserbioherme bezeichnet, ein Begriff, der für kleinere Riffe verwendet wird.

Aus dem Trochitenkalk von Crailsheim kennt man zum Hartgrund verfestigte Meeresböden an der Oberfläche von Trochitenbank 6, die sich über viele qkm ausdehnten. Dezimeterdicke Placunopsis -Polster und -matten bedecken hier insbesondere die etwas erhabenen Rippelkämme. Diese Placunopsis -Siedlung bildet keine aufragenden Einzelriffe oder Bioherme, sondern ausgedehnte, flache Biostrome, die natürlich nur florierten, solange die Sedimentation ausblieb. Überhaupt findet man auf vielen der im Muschelkalk häufigen Hartgründe einzelne Placunopsis oder dünne Placunopsis -Krusten, die aber mit Schlamm zugedeckt wurden, bevor sie höher aufwachsen konnten.

Über längere Zeiträume lebten Placunopsis -Kolonien in der Bank der Kleinen Terebrateln der Umgebung von Schwäbisch Hall. Ein zum Hartgrund verfestigter, oolithischer Kornstein, der von gelben Dolomitmergeln bedeckt war, wurde stellenweise wieder freigelegt. Auf diesen Erosionsflächen setzten sich die Placunopsis fest und bauten schlanke Pfeiler auf. Weil sich zwischen den Pfeilern Schlamm ablagerte, den die Tiere nicht inkrustieren konnten, bauten sie Lage um Lage die Pfeiler nach oben weiter. Bei Stürmen wurden manche Pfeiler umgerissen und wuchsen dann in veränderter Richtung weiter. Dabei wurde auch der Schlamm zwischen den Pfeilern weggefegt, so daß deren Schäfte eine Zeitlang freilagen und von anderen Placunopsis -Individuen "diskordant" besiedelt werden konnten. Bevorzugte Wachstumsspitze war jedoch die Pfeileroberfläche; dort wurde aber auch besonders stark erodiert (Abb. 4).

Abb. 4: Durch Hufeisenwürmer erodierter Pfeiler aus einem Placunopsis-Riff (Bank der Kleinen Terebrateln, Schwäbisch Hall). Auf der über dem Sedimentspiegel exponierten Pfeileroberfläche intensive Anbohrung (Bohrspur Calciroda kraichgoviae, dicke Tunnel). Als nach einem Erosionsereignis der Pfeilerschaft freilag, setzten sich dort einzelne Placunopsis diskordant zur horizontalen Siedlungsebene fest. Weil zwischen den Pfeilern bald wieder aufsedimentiert war, sind diese Schalen kaum angebohrt worden und deshalb erhalten geblieben. Aus HAGDORN, 1982

Die typischen, großen Placunopsis-Riffe gründen in der Regel im Dolomitischen Mergel gamma, wo aber Hartgründe fehlten. Vielleicht bieten die sogenannten Rollriffe den Schlüssel zum Verständnis, wie ein solches Riff in seiner Initialphase über den Schlammboden aufwuchs. Rollriffe sind die außen und innen von dicken Placunopsis-Krusten überzogenen Gehäuse großer Discoceratiten oder Nautiliden. Ein definitiver Nachweis daß ein großes Riff seinen Ausgang in einem oder mehreren zusammengeschwemmten Rollriffen hatte, fehlt allerdings noch.

Ein Placunopsis-Riff ist sicherlich nicht kontinuierlich gewachsen, sondern wurde, wie man von heutigen Serpel-Riffen weiß, von Zeit zu Zeit von Schlamm bedeckt und dabei abgetötet. Wurde das Riff infolge von Sedimentverlagerungen später wieder exhumiert, diente es neuen Muschelgenerationen als Ankerplatz und war innerhalb kurzer Zeit wieder aktiviert. Gleichzeitig legten auch kalkdestruierende, in Muschelschalen minierende Organismen wie z. B. Hufeisenwürmer ihre Baue in unbelebten Teilen der Riffkruste an und bauten es

oberflächlich durch Bioerosion wieder ab. Der tonnenschwere Kalkklotz, als der ein Placunopsis-Riff im schlammigen Meeresboden lag, war demnach durch und durch porös, wenn auch die leeren Bohrgänge sich bald mit Kalkschlamm füllten. Lebendig war nur die wenige Dezimeter über dem Sedimentspiegel liegende Oberfläche, wo sich sessile epibenthische Filtrierer bevorzugt festsetzten und damit ihre Chancen, der Sedimentation zu entgehen, verbesserten. Wegen der geringen Dicke der Placunopsis-Schale und weil keine anderen, größeren Organismen sich an der Karbonatproduktion und Gerüststabilisierung beteiligten, waren die Wachstumsraten der Placunopsis-Riffe sehr gering. So wurden die Riffe in der Hauptterebratelbank mit dem Sedimentationsschub der Kiesbank alle mehr oder weniger gleichzeitig verschüttet.
Mit steigendem Gewicht drückte ein Placunopsis - Riff auch verstärkt in den noch nicht verfestigten Untergrund. Dies sieht man schön an dem großen Riff von Künzelsau-Garnberg, unter dem die liegende Kalksteinbank stark deformiert ist (Abb. 1).

Ganz abgesehen von den biologischen Erkenntnissen, haben Placunopsis-Riffe auch Licht auf elementare Fragen wie die Zeitmessung in der Geologie geworfen. Die Placunopsis-Schale erreichte max. 0.4 bis 0.5 mm Dicke. Auf 10 mm Placunopsis-Stotzen kommen demnach ca. 20 dicht gepackte Schalen. Folgt man der Rechnung des Künzelsauer Geologen Georg Wagner, der sich als erster mit Placunopsis-Riffen befaßte, und setzt 4 bis 5 Jahre für die Lebenszeit eines Placunopsis-Tieres an, so errechnet sich für einen Meter Riff ein Zeitraum von ca. 10.000 Jahren. Wagner berechnete weiter für einen Meter Sediment, der sich nur halb so schnell ablagert, wie ein Placunopsis-Riff wächst, 20.000 und für den gesamten Muschelkalk etwa 6 Mio Jahre, einen Betrag, der zwar etwas zu knapp bemessen ist, aber doch in die richtige Dimension führt. Nach radiometrischen Berechnungen dauerte die Muschelkalksedimentation ca. 8 Mio Jahre.

Es sei hier nur kurz angemerkt, daß fundamentalistische Bibelwissenschaftler, die dem Kreationismus anhängen, die Wagner'sche Argumentation umdeuteten, die großen Riffe als "Schwebriffe" von wenigen Jahren Entstehungszeit interpretierten und schließlich zum Ergebnis kamen, daß das Muschelkalkmeer als ein nachsintflutliches Flachmeer höchstens 2 oder 3 Jahrzehnte bestanden haben kann. Für das ganze Mesozoikum nimmt ein entsprechender Autor genau 101 Jahre an.

Am häufigsten treten Placunopsis-Riffe in der Hauptterebratelbank des Oberen Muschelkalks auf, und zwar dort, wo zwischen lagunären Dolomitgesteinen und Oolithbarren des extremen Flachwassers in etwas tieferem Wasser die dickgebankten Kalke der Hohenlohe-Formation abgelagert wurden (s. Abb. 9). Diese Gesteinsausbildung erstreckt sich von Mainfranken über Hohenlohe und das Unterland bis ins Elsaß, nach Lothringen und an die Saar. In Großsteinbrüchen, wo ausgedehnte Schichtflächen freiliegen, ließen sich recht konstante Abstände von ca. 10-15 m zwischen den Riffen messen. Sehr große Riffe, die in ihrem älteren Teil dem Typus der Muschel/Crinoiden-Bioherme angehören und nach oben fast ausschließlich von Placunopsis aufgebaut sind, wurden erst jüngst in den Hassmersheimer Schichten des Trochitenkalks gefunden und sind noch nicht genau untersucht. Die Placunopsis-Riffe aus der Bank der Kleinen Terebrateln von Schwäbisch Hall wuchsen auf der flachen seeseitigen Böschung einer mächtigen Oolithbarre, wo das Wasser schon etwas tiefer war. Die jüngsten Placunopsis-Bioherme finden sich in der Anthrakonitbank des Oberen Lettenkeupers am oberen Neckar. Sie sind altersgleich mit Placunopsis-Biohermen aus dem Muschelkalk von Südfrankreich und Spanien. Dort hielt die Muschelkalksedimentation noch an, als in Süddeutschland schon der terrestrisch beeinflußte Keuper abgelagert wurde. Nur während zyklischen Meeresspiegelhochständen konnten die Placunopsiden sich bis zu uns ausbreiten und hier siedeln, bis sie bei sinkendem Meeresspiegel wieder verschwanden .

Muschel/Crinoiden-Riffe

Anders als bei den Placunopsis-Riffen sind am Aufbau der Muschel/Crinoiden-Riffe mehr und auch sehr verschiedenartige Organismen als Gerüstbildner beteiligt. Pioniere sind kleine Gruppen der Terquemien (Muschelkalk-"Austern") Enantiostreon und Newaagia, die während Sedimentationspausen auf Grobschillbänken heranwuchsen (Abb. 6). Auch hier wuchsen die Tiere Generation um Generation übereinander, bis Riffe ähnlicher Dimension wie die Placunopsis-Riffe entstanden waren. Auch sie überragten den Meeresboden sicher nur um wenige Dezimeter, erreichten jedoch nicht den kompakten Bau der Placunopsis-Riffe, denn die Zwickel zwischen den über 10 cm großen Individuen bildeten grobe Taschen, in denen sich Sediment sammelte und möglicherweise durch Gerüstbinder ohne mineralisierte Skelette stabilisiert wurde. Wo das Bioherm den Meeresboden etwas überragte, setzten sich bald Larven der Seelilie Encrinus liliiformis fest, die sich mit einer Haftscheibe dauerhaft auf den Muscheln verankerten. An Stellen wo die Seelilien dicht genug siedelten, bildeten ihre kallösen Haftscheiben selbst feste Krusten, auf denen sich weitere Encrinen festsetzten. Das Gerüst dieser Riffe wird also i. w. von Seelilien und großen Terquemien aufgebaut (Abb. 8), untergeordnet von Placunopsis, Röhrenwürmern und Foraminiferen. Schwammnadeln belegen, daß auch Kiesel-

Abb. 5 Placunopsis - Riff (gerastert) in der Steinbruchwand (Künzelsau-Garnberg). Vom Riffkern dehnte sich das Riff nach einem Ereignis, bei dem es bis auf seinen höchsten Teil von der Hauptterebratelbank verschüttet wurde, mit einer flachen Kuppel über diese aus (links). Der eigentliche Riffkern liegt tiefer in der Steinbruchwand. Die Schichten im Liegenden sind unter der Auflast des Riffes eingedrückt. Das Riff wurde von rasch sedimentierten Mergeln der Kiesbank verschüttet. Es wurde weniger stark kompaktiert als das umgebende Sediment.

Abb. 6 Muschel/Crinoiden-Riffe im Trochitenkalk. (a) Das linsenförmige Bioherm geht seitlich in plattig gebankte Kalk/Mergel-Gesteine über. Crailsheim-Formationsglied, Satteldorf- Neidenfe!s. (b) Ein kleines Bioherm auf einer Schillbank mit Seegangsrippeln. Hassmersheim-Formationsglied, Schwarze Pfütze bei Rottershausen/Unterfranken.

schwämme im Riff siedelten und es weiter stabilisierten; hinzu kommen einige noch nicht sicher gedeutete Mikroorganismen und in manchen Biohermen Kalkalgen (Dasycladaceen). Auch die Diversität der Sekundärsiedler ist reicher als die der Placunopsis-Riffe, denn weil die Seelilien keine Abweichungen vom normalen Salzgehalt tolerierten, gediehen diese Riffe nur während der vollmarinen Transgressionsphase des Oberen Muschelkalks, nämlich im Trochitenkalkmeer, und zeitweilig auch im Unteren Muschelkalk, wo sie aber nicht die Dimensionen wie im Oberen Muschelkalk erreichten. Wie die Placunopsis-Riffe wurden abgestorbene Teile des Kalkgerüsts von verschiedenen Organismen zerbohrt. Mikrobohrspuren von Algen zeigen an, daß die Bioherme in der photischen Zone, also in durchlichtetem Wasser geringer Tiefe entstanden sind.

Im Muschel/Crinoiden-Riff gab es einen Stockwerksbau (Abb. 7). Dicht über der Oberfläche filterten Muscheln und Brachiopoden sowie jugendliche Seelilien. Mit ihrem bis 150 cm langen, starren Stiel reichten ältere Seelilien in höhere Schichten über dem Meeresboden, wo sie ihre planktonische Nahrung passiv aus der dort stärkeren Strömung siebten. Crinoiden waren typische Bewohner der artenreichen Riffe in paläozoischen Meeren, wo gleichzeitig viele verschiedene Arten spezielle Nischen besetzten. In den Trochitenkalkriffen Süddeutschlands lebte Encrinus liliiformis dagegen als einzige Seelilienart, die jedoch sehr groß wurde. Man kann wohl annehmen, daß sie recht langsam heranwuchs und daß damit eine innerartliche Stockwerksdifferenzierung entstand.

Muschel/Crinoiden-Riffe gab es wohl überall, wo Encrinus liliiformis lebte (Abb. 5). Wegen der günstigen Aufschlußverhältnisse in zahlreichen Steinbrüchen wurde die Ökologie der Muschelkalkseelilie am genauesten in Nord-Württemberg erforscht. Am häufigsten waren die Bioherme auf der seeseitigen Böschung einer Karbonatrampe, zwischen dem extremen Flachwasser von Oo!ithdünen und den tiefsten Meeresbereichen, wo höhere Schlamm-Sedimentationsraten das Wachstum der Riffe einschränkten (Abb. 9). Hier ist auch die Fauna der Riffe am besten erhalten geblieben, denn Sedimentumlagerungen haben die Riffe plötzlich verschüttet und ihre Lebewelt in situ konserviert. Ein solches Pompeji im Trochitenkalk hat nicht nur Seelilien und Seeigel in den Flanken der Riffe unzerfallen überliefert, sondern auch ganze Terebratelkolonien, es erlaubt also gleichzeitig Einsichten in Populationsdichte und Zusammensetzung dieser Lebensgemeinschaft.

Muschel/Crinoiden-Bioherme mit Encriniden als Gerüstbildnern gibt es auch in der alpinen Mitteltrias (Anis) der Dolomiten und der Vicentinischen Alpen, sie sind von dort aber noch nicht genau beschrieben. In Riffen aus den etwa gleichalterigen Karchowitzer Schichten des Unteren Muschelkalks in Oberschlesien lebten auch hermatype Korallen und mehrere Gattungen von Kieselschwämmen, auf deren Skeletten wiederum Encrinen aufsiedelten. Dort ist aufgrund der Nähe zur Tethys (Abb. 5) die Diversität wesentlich größer als im Trochitenkalk. So beteiligen sich mindestens 4 Crinoidenarten mit ihren Wurzelkalli am Biohermgerüst.

Korallenriffe

In den Karchowitzer Schichten Oberschlesiens kommen auch die ältesten bekannten Schwamm/Korallen/Crinoiden-Riffe des Mesozoikums vor (Abb. 10). Pioniere in den Riffen, die auf Kämmen von Oolith- und Biodetritus-Barren liegen, sind die hexactinelliden Kieselschwämme Hexactinoderma und Silesiaspongia, die Schalen von Muscheln und Brachiopoden sowie Crinoidenreste stabilisierten. Darüber erscheinen kleine solitäre Korallen ("Montlivaltia") und Wurzelkalli von Crinoiden und in den obersten Riffteilen kleine Polster der Koralle Pamiroseris. Ein anderes Riff besteht aus sich ästig verzweigenden Stöcken von Voltzeia szulci, die bis 40 cm hohe Rasen von mehreren qm Ausdehnung erreichen. Wieso die Dimensionen der Riffe relativ bescheiden geblieben sind, mag durch fehlende oder zu geringe Absenkungsraten des Meeresbodens erklärt werden, wie sie für rasch wachsende Riffe erforderlich sind, damit die Korallen stets in optimale Wassertiefe zu leben kommen.

AUSBLICK

Voraussetzung für Riffwachstum sind Produktion von Karbonatskeletten und deren Stabilisierung in einem sich rückkoppelnden und selbstverstärkenden Prozess. Bei den Muschelkalkriffen, besonders deutlich bei den Placunopsis -Riffen, werden beide Aufgaben von denselben Organismen erfüllt. Wo sich erst einmal Muscheln angesiedelt haben, bilden sie eine stabile Erhöhung, die für künftige Siedler von Vorteil ist. Seelilien wachsen mit ihrem starren Stiel zwar hoch über den Sedimentspiegel hinaus, zerfallen aber nach ihrem Tod. Mit ihren zementierten Wurzelkalli geben sie aber doch einen gewissen Vorteil an die Folgegeneration weiter. Das Riffwachstum war sicher gering, besonders in den Placunopsis -Riffen, wo die dünnschalige Muschel praktisch der einzige Gerüstbildner ist.

In den Muschelkalkriffen spielen erstmals in der Erdgeschichte Muscheln als Gerüstbildner von Riffen eine Rolle. Wurzelkalli von Crinoiden bauten bereits in silurischen und karbonischen Riffen Krusten, allerdings meist zusammen mit Bryozoen als Stabilisatoren. Dennoch haftet den Muschel/-Crinoiden-Riffen genauso wie dem Sedimenttyp

Abb. 7 Rekonstruktion eines Muschel/Crinoiden-Bioherms aus dem Trochitenkalk von Crailsheim. Primäre Gerüstbildner sind die Muschelkalkaustern Newaagia noetlingi (1) und Enantiostreon difforme (2), darauf Haftscheiben von Encrinus liliiformis (3). Sekundärsiedler sind der Brachiopode Coenothyris vulgaris (4), die Miesmuscheln Mytilus eduliformis (5) und Myalina blezingeri (6), Pleuronectites laevigatus (7), Placunopsis ostracina (8), der Röhrenwurm "Spirorbis" valvata (9) und Encrinus liliiformis (10). Frei am Meeresboden liegend die Feilenmuschel Plagiostoma striatum (11), und als Weidegänger die Schnecke Naticella triadica (12) und der Seeigel Serpianotiaris coaeva (13). Im Schlamm eingegraben lebten Palaeoneilo elliptica (14) und Palaeonucula goldfussi (15). Muschelschalen und Wurzeln abgestorbener Seelilien sind von Bohrorganismen zerstört. Aus: HAGDORN & SIMON,1985.

Abb.8 Anschnitt eines Muschel/Crinoiden-Bioherms mit mehreren Generationen von Encrinus-Wurzeln, die z.T. angebohrt sind. Crailsheim-Wollmershausen.Aus: HAGDORN,1978.

Abb. 9 Die "Karbonatrampe" im Trochitenkalkmeer Süddeutschlands zur Zeit der atavus - Zone zeigt den Übergang vom tonigen Hassmersheim-Formationsglied im Beckeninneren zum Crailsheim-Formationsglied mit massigen Crinoidenkalken. Während in den Schlammgründen des Beckentiefs grabende Muscheln lebten, hatten die Seelilien ihren Hauptlebensort in den Biohermen im Flachwasser und auf der seeseitigen Böschung der Rampe. Auflandiger Wind und Strömungen versorgten die Tiere dauernd mit Plankton. Aus: HAGDORN et al., 1991.

Abb. 10 Internstruktur eines Korallen/Schwamm/Crinoiden-Bioherms in den Karchowitzer Schichten von Tarnow Opolski (Tarnau), Oberschlesien. Aus: BODZIOCH, 1991.

Crinoidenkalk - noch ein altertümlich-paläozoischer Charakter an. Daß die Muschelkalkriffe mitsamt ihren flexibel angehefteten Sekundärsiedlern und den vollständig erhaltenen Seelilien in den Riffflanken in situ erhalten geblieben sind, ist der sedimentologischen Sondersituation des Muschelkalkmeeres zu verdanken: rasche Konservierung durch ereignisbedingte Sedimentumlagerung im Flachmeer. So ist der Muschelkalk nicht nur eine geöffnete Schatzkiste für die Stammesgeschichte vieler mariner Tiergruppen, sondern auch für die frühe Geschichte moderner Biotope nach der endpermischen Katastrophe.

Die modernsten Muschelkalkriffe sind die von sehr unterschiedlichen Gerüstbildnern und -bindern komponierten Schwamm/Korallen/Crinoiden-Riffe Oberschlesiens. Ihr paläogeographisches Vorkommen zeigt jedoch den deutlichen Einfluß der offen marinen Tethys. Dort geht die marine Entwicklung in der Obertrias weiter. Durch rasche Absenkung von Krustenstreifen und starke fazielle Differenzierung entstanden im heutigen Alpenraum ideale Voraussetzungen für Korallenriffe modernen Typs. Bis heute prägen die mächtigen Riffe als Bergstöcke das Landschaftsbild der Dolomiten und der Nördlichen Kalkalpen.

WO KANN MAN MUSCHELKALKRIFFE KENNENLERNEN?

Viele Museen zeigen Fossilien aus dem Muschelkalk, z. B. die Staatlichen Museen für Naturkunde in Stuttgart und Karlsruhe, das Museum für Geologie und Paläontologie der Universität Tübingen und das neueröffnete Muschelkalkmuseum Hagdorn in Ingelfingen (Hohenlohekreis). Dort stehen vor dem Eingang tonnenschwere Placunopsis-Riffe aus dem Oberen Muschelkalk von Berlichingen, die Pfeilerstruktur und Verzahnung mit der geschichteten Hauptterebratelbank sowie Terebratelkolonien in der Riffflanke zeigen. Im Museum ist der Biologie von Placunopsis ostracina als Aufsiedler von Ceratiten und als Riffbildner ein ganzer Ausstellungsteil gewidmet. Auch die Muschel/Crinoiden-Riffe sind im Anschliff, mit ihrer Fauna und in einer Rekonstruktion gezeigt, außerdem Korallenriffe aus Oberschlesien und ihre Bewohner. Eine Ton/Bild-Schau führt in den Muschelkalk ein.

LITERATUR

BACHMANN, G.H. (1979): Bioherme der Muschel Placunopsis ostracina v. SCHLOTHEIM und ihre Diagenese. - N. Jb. Geol. Paläont. Abh. 168, 381-407, 17 Abb.; Stuttgart.

BODZIOCH, A. (1991): Stop B 14 Tarnow Opolski (Poland, Upper Silesia). - In: HAGDORN, H. in coop. with T. SIMON & J.SZULC, Muschelkalk. A Field Guide, 69-71, 6 Abb.; Korb (Goldschneck).

Duringer, P. (1985): Strategie adaptive de la croissance de Placunopsis ostracina SCHLOTHEIM, epizoaire du Muschelkalk superieur (Trias germanique, Est de la France) - N. Jb. Geol. Paläont. Mh. 1985/1, 1-22, 16 Abb.; Stuttgart.

GWINNER, M. P. (1968): Über Muschel/Terebratel-Riffe im Trochitenkalk (Oberer Muschelkalk, mo1) nahe Schwäbisch Hall und Besigheim (Württemberg). - N. Jb. Geol. Paläont. Mh. 1968, 338-344, 4 Abb.; Stuttgart.

HAGDORN,H. (1978): Muschel/Krinoiden-Bioherme im Oberen Muschelkalk (mo1, Anis) von Crailsheim und Schwäbisch Hall (Südwestdeutschland). - N. Jb. Geol. Paläont. Abh. 156, 31-86, 25 Abb.; 2 Tab.; Stuttgart.

HAGDORN, H. (1982): The "Bank der kleinen Terebrateln" (Upper Muschelkalk, Triassic) near Schwäbisch Hall (SW-Germany) - a tempestite condensation horizon. - In: EINSELE, G. & SEILACHER, A. (Eds.): Cyclic and Event Stratification, 263-285, 13 Abb.; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).

HAGDORN, H. & MUNDLOS, R. (1982): Autochthonschille im Oberen Muschelkalk (Mitteltrias) Südwestdeutschlands. - N. Jb. Geol. Paläont. Abh.162 , 332-351, 6 Abb., Stuttgart.

HAGDORN, H. & OCKERT, W.: (1993): Encrinus liliiformis im Trochitenkalk Süddeutschlands. - In: HAGDORN, H. & SEILACHER, A. (Hrsg.), Muschelkalk. Schöntaler Tagung 1991 (=Sonderbde. Ges. Naturk. Württ. 2), 245-260, 10 Abb.; Stuttgart, Korb (Goldschneck).

HAGDORN, H. & SIMON, T. (1985): Geologie und Landschaft des Hohenloher Landes. - 186 S., 125 Abb., 1 Tab., 3 Beil.; Sigmaringen (Thorbecke) [2. verb. u. verm. Aufl. 1988l.

HAGDORN, H. in coop. with T. SIMON & J. SZULC (eds.) (1991): Muschelkalk. A Field Guide, 80 pp., 78 Abb., 1 Tab.; Korb (Goldschneck).

HÖLDER, H. (1961): Das Gefüge eines Placunopsis-Riffs aus dem Hauptmuschelkalk. - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver. N. F. 43, 41-48, 2 Abb., Taf. 2; Stuttgart.

HÜSSNER, H. (1993): Rifftypen im Muschelkalk Süddeutschlands. - In: HAGDORN, H. & SEILACHER, A. (Hrsg.) Muschelkalk. Schöntaler Symposium 1991 (=Sonderbde. Ges. f. Naturk. Württ. 2), 261 -269, 4 Abb.; Stuttgart, Korb (Goldschneck).

KRUMBEIN, W. (1963): Über Riffbildung von Placunopsis ostracina im Muschelkalk von Tiefenstockheim bei Marktbreit in Unterfranken. - Abh. Naturwiss. Ver. Würzburg 4/1, 1-15, 4 Abb.; Würzburg.

SCHEVEN, J. (1992): Das mit den Riffen wirklich begriffen? - Leben. Deutsches Schöpfungsmagazin 1992, 3-12, zahlr. Abb.; Hohenlimburg.

SCHMIDT, H. (1993): Mikrobohrspuren in Makrobenthonten des Oberen Muschelkalks von SW - Deutschland. - In: Hagdorn, H. & SEILACHER, A. (Hrsg.), Muschelkalk. Schöntaler Symposium 1991 (=Sonderbde. Ges.Naturk. Württ. 2), 271-278, 4 Abb., 2 Tab.; Stuttgart, Korb (Goldschneck). SEUFERT, G. (1983): Riff-Fazies im Trochitenkalk des Kraichgaus und Mittleren Neckars. - Aufschluss 34, 417-422; Heidelberg.

WAGNER, G. (1913): Beiträge zur Stratigraphie und Bildungsgeschichte des oberen Hauptmuschelkalks und der unteren Lettenkohle in Franken. - Geol. paläont. Abh. N. F. 12/3, 1-180, 31 Abb., 9 Taf.; Jena.

WAGNER, G. (1936): Riffbildung als Maßstab geologischer Zeiträume. - Aus der Heimat 49, 157-160, 5 Abb.; Öhringen.

ZIEGLER, P. A. (1982): Geological Atlas of Western and Central Europe. - 130 S., 40 Beil., 29 Abb.; Amsterdam, New York.

NEUERÖFFNUNG MUSCHELKALKMUSEUM HAGDORN INGELFINGEN

Nach über einem Jahr der Schließung wurde das Muschelkalkmuseum Hagdorn Ingelfingen am 14. Dezember 1996 in neuen Räumen und völliger Neugestaltung wiedereröffnet.

Die Stadt Ingelfingen (Hohenlohekreis, Baden-Württemberg) stellte für die Präsentation der paläontologischen Sammlung von Dr. Hans Hagdorn Räume und Einrichtung in der von Grund auf sanierten Inneren Ke!ter im Stadzentrum (Schloßstr. 3) bereit. Auf einer Etage im Dachstuhl des markanten historischen Gebäudes stehen jetzt über 300 m^2 gegenüber 20 m^2 im früheren Muschelkalkmuseum im Haus Hagdorn - für die Ausstellung zur Verfügung. Das Erdgeschoß des Gebäudes wurde zum Parkhaus mit zwei Parkdecks umgebaut.

Thematisiert sind alle Aspekte der Geologie, Stratigraphie, Sedimentologie und Paläontologie (mit palökologischem Schwerpunkt) von Muschelkalk und Lettenkeuper im Rahmen der europäischen und außereuropäischen Trias, außerdem die Rohstoffe des Muschelkalks, die Geologie des Kochertals, historische Salinen des Hauses Hohenlohe-Ingelfingen und die Tiefbohrung Ingelfingen von 1865. Die ausgestellten Objekte aus Sammlung Hagdorn wurden ergänzt durch einige Leihgaben, insbesondere von Mastodonsauriern aus Sammlung Werner Kugler (Crailsheim) und durch großformatige Abgüsse, Modelle und Rekonstruktionen. Texte, Graphik und Fotographik informieren über den aktuellen Wissensstand und sind in Abstimmung und Anspruch geeignet, dem Besucher ein geschlossenes Bild von der Mitteltrias in Europa zu geben. Der Laie erhält erste Eindrücke von der Lebewelt und den Lebensbedingungen aus der Zeit vor 240 Millionen Jahren, der Spezialist findet bekannte und weniger bekannte Fossilien und ihre wissenschaftlich exakte Deutung. Zur Museumsdidaktik gehören eine Diaschau und Videofilme (letztere geplant).

Konzeption, Texte, Graphik, Fotographik und Gestaltung durch H. Hagdorn geben dem neuen Museum eine einheitliche Linie. Das Museum versteht sich weiterhin als Forschungs- und Bildungsstätte. So wurden auch Möglichkeiten geschaffen, auswärtige Gastforscher während ihres Arbeitsaufenthalts unterzubringen. Ein Rahmenprogramm zur Gestaltung des Museumslebens (Vorträge, Museumsdidaktik, Veranstaltungen) wird noch erarbeitet. Ein gedruckter Museumsführer soll in den nächsten Monaten vorgelegt werden. Sammlungsmagazin, Bibliothek, Präparation und Verwaltung bleiben im Haus Hagdorn. Organisation und Betrieb der Ausstellung liegen bei der Stadt Ingelfingen.

Öffnungszeiten:
Sonntag 10.30 bis 16.00 Uhr
Mittwoch 15.00 bis 17.00 Uhr (nur von 1.Mai bis 31.Oktober)
Für Gruppen nach Vereinbarung

Eintritt:

Erwachsene	DM 3.00
Nichterwerbstätige	DM 1.50
Familien	DM 5.00

Führungen (ca. 45min.):

allgemein	DM 50.00
speziell (vom Museumsleiter)	DM 80.00

Anschriften:
Stadtverwaltung Ingelfingen
Rathaus - Neues Schloß
74653 Ingelfingen
Tel.: 07940/1309-22
Fax.: 07940/6716

Muschelkalkmuseum Hagdorn Ingelfingen
Dr. Hans Hagdorn
Schloßstraße 11
74653 Ingelfingen
Tel.: 07940/59500
Fax.: 07940/59501
e-mail: Encrinus@t-online.de

TEIL 2: ARBEITSMATERIALIEN

*Profil **13**: 71-76, 3 Abb.; Stuttgart 1998*

ARBEITSMATERIALIEN SEKUNDARSTUFE I

Thema der Stunde: Das Korallenriff

DOROTHEA **HAND-WIEDMANN**, *HÜTTLINGEN*[*]

1. Unterrichtsstoff

Bau, Lebensweise und Leistung der Steinkoralle, eines einfachen Vielzellers. Das Interesse an diesem Lebewesen wird verstärkt über das Miterleben eines Tauchgangs im Korallenriff (Film).

2. Ziele der Stunde

Aus den möglichen Zielsetzungen zu diesem Thema wird sinnvollerweise der ökologische Schwerpunkt ausgewählt - zumal der Lehrplan zur Behandlung eines Gewässers verpflichtet. Mit der Steinkoralle wird den Schülern ein Vertreter der Blumentiere bzw. Korallentiere vorgestellt. Die Schüler sollen die Besonderheit der Kalkskelettbildung und damit letztlich die Entstehung eines Lebensraumes kennenlernen. An der Auswahl charakteristischer Lebewesen des Korallenriffes soll den Schülern deutlich werden, daß alle diese Lebewesen direkt oder indirekt von den riffbildenden Steinkorallen abhängig sind. Die Schüler sollen auch erkennen, daß die Steinkorallen durch ihre Besonderheit, die Symbiose mit einzelligen Algen, an bestimmte äußere Bedingungen gebunden sind (Licht, Temperatur).

3. Arbeitsmaterialien

- *Filmausschnitt: Tauchgang vor den Malediven, Video*
- *Kalkskelette verschiedener Steinkorallen*
- *Folie zum Aufbau der Steinkorallen*
- *Abbildungen von Pinzettfisch, Dornenkronenseestern, Tritonshorn, Muräne*
- *Filmausschnitte zu Papageifisch, Seeigel, Drückerfisch,*
- *Seeanemone, Anemonenfisch, Schmetterlingsfisch, Barrakuda*
- *Tierbeschreibungen*
- *Wandkarte, Ausschnitt aus dem Korallenriff*
- *farbige Schemazeichnungen der oben aufgeführten Tiere des Riffs*

[*] Stud.-Ref.' Dorothea Hand-Wiedmann, Buchwaldstr. 9, 73460 Hüttlingen

4. Möglicher Verlauf einer Stunde zum Thema Korallenriff

Einstieg

Um einen persönlichen Bezug zum Thema herzustellen, werden die Schüler zu einer "Entdeckungsreise" eingeladen. Der Filmausschnitt "Tauchgang im Korallenriff" zeigt anschaulich die beeindruckende Vielfalt im Korallenriff.

Problemstellung

Beim Beobachten der Korallenrifflandschaft sehen die Schüler, daß es sich bei diesem Riff nicht um totes Gestein handelt (Inkongruenz). Sie erkennen, daß das Korallenriff ein sehr komplizierter Lebensraum ist, der zudem noch von lebenden Organismen aufgebaut wird.

Problemlösung

Der Polypenaufbau sollte bereits bekannt sein. Die Besonderheit der Steinpolypen, ihre Fähigkeit zur Skelettbildung, wird mit Hilfe eines Lehrervortrages erläutert. Zur Veranschaulichung des Aufbaus wird vorgeschlagen, einen Foliensatz und zur Darstellung der "Poren" von Steinpolypen das Fernsehmikroskop einzusetzen. Eine Symbiose mit einzelligen Algen ist von Hydra her bekannt. Nun wird die Symbiose im Hinblick auf den Standort problematisiert. Standortbedingungen für die symbiontische Lebensgemeinschaft -Koralle/Alge können von den Schülern selbst erarbeitet werden.

Erweiterung

Aus der Vielzahl der Lebewesen im Korallenriff werden einige charakteristische Vertreter herausgegriffen. Die Tiere werden teilweise durch Fotografien, teilweise durch kurze Filmausschnitte vorgestellt. Jeder Schüler erhält eine Karte mit der Beschreibung eines Tieres (7 Tiere sind dreimal vertreten, 3 Tiere zweimal) und dessen Lebensweise. Die Schüler benennen und ordnen die Tiere ihrem Platz im Riff zu. Die Wandtafel "Korallenriff' und die Bilder charakteristischer Tiere des Riffs dienen der Kontrolle und Ergebnisfindung.

Integration

Die Schüler bekommen das Arbeitsblatt 1 und erfüllen Aufgabe A.

Abrundung / Hausaufgabe

Zeitungsmeldung: Ein Öltanker auf Riff aufgelaufen. Welche Auswirkungen hat dies auf den Lebensraum Korallenriff ?

Charakteristische Tiere aus dem Korallenriff

A: *Benenne und numeriere die abgebildeten Tiere*

B: *Schneide die Tiere aus.*

C: *Klebe die Tiere auf ihren jeweiligen Platz im Korallenriff*

Bunt sieht das Bild noch schöner aus.

Beschreibungen charakteristischer Tiere aus dem Korallenriff

1. *Der Pinzettfisch hat ein pinzettenartig geformtes Maul. Damit ist er spezialisiert auf Nahrung in Korallenspalten. Dort kann er sich auch gut vor Freßfeinden verstecken.*

2. *Schmetterlingsfische sind sehr bunt. Wie alle Tiere, die gewandt zwischen den Korallen manövrieren müssen, sind sie hochrückig und sehr schmal gebaut. Mit ihren Pinzettenmäulern zupfen sie Korallenpolypen ab. Der gebänderte Falterfisch zeigt am ganzen Körper kräftige, schwarze Bänderung.*

3. *Der Papageifisch hat ein kräftiges, schnabelartiges Gebiß. Er beißt Korallen ab und verzehrt sie mit Haut und Kalk.*

4. *Der Dornenkronenseestern wurde benannt nach den giftigen Stacheln auf der Körperoberseite. Dieser Seestern hat 11-17 Arme. Er kriecht über Korallen-kolonien und schlürft das Polypengewebe ein.*

5. *Das Tritonshorn ist eine Schnecke mit spitz zulaufendem Gehäuse. Sie ist bei Sammlern sehr begehrt.Das Tritonshorn ernährt sich vom Dornenkronenseestern.*

6. *Die Stacheln des Diademseeigels sind 2-3mal so lang wie der Durchmesser seiner Körperkugel. Er schabt beim Algenweiden den Korallenkalk aus. Tagsüber versteckt er sich in Höhlungen des Riffs. Denn trotz seiner wehrhaften Stacheln hat er viele Freßfeinde.*

7. *Der Drückerfisch lebt dicht vor dem Riff. Er ernährt sich von Tieren am unteren Riff und in Riffnähe. Seine Besonderheit ist das Fressen von Seeigeln. Mit einem kräftigen Wasserstrahl pustet er den Seeigel um, so daß die, nur mit kurzen Stacheln bewehrte Mundseite des Seeigels frei liegt. Nun kann der Drückerfisch ihn ausfressen.*

8. *Die Seeanemone bekam ihren Namen durch dle Ähnlichkeit mit Pflanzenblüten. Sie sitzt auf dem festen Untergrund der toten Korallenstöcke. Im Schutze ihrer Tentakel lebt der Anemonenfisch. Die beiden Tiere leben in einer Symbiose, wobei sie sich gegenseitig vor Freßfeinden schützen.*

9. *Die Muräne ist ein langer, schlangenartiger Fisch. Sie hält sich tagsüber unter dem Riff versteckt. Nachts kommt sie aus ihrem Versteck heraus und beschleicht schlafende Fische, die sie mit ihren spitzen Zähnen ergreift.*

10. *Barakudas ernähren sich von anderen Fischen. Barakudas zeigen wie alle schnellschwimmenden Fische die langgestreckte Spindelform. Sie lauern einige Meter vor dem Riff auf Beute. Entfernt sich ein Korallenfisch zu weit von seinem schützenden Riff, schießt der Barrakuda sofort auf ihn zu und frißt ihn.*

3.
4.
2.
1.
8.
6.
7.
5.
9.

*Profil **13**: 77-84, 3 Abb.; Stuttgart 1998*

Das Korallenriff im Unterricht der Klassenstufen 11 und 13

JÜRGEN **SCHWEIZER**, *STUTTGART**

1. Bezug zum Bildungsplan:

Der Bildungsplan für das Gymnasium bietet für die Klassenstufe 11 in der LPE 1 "Wirkung von abiotischen und biotischen Umweltfaktoren auf Lebewesen" mehrere Ansatzpunkte für die Behandlung des Themas "Korallenriff":

- *Feinde, Konkurrenten*
- *Parasiten, Symbiose*
- *Räuber-Beute-Beziehung*
- *Entstehung von Anpassung durch Selektion*
- *Ökologische Nische*

Auch im Grund- und Leistungskurs der Klassenstufe 13 können in der LPE "Evolution" Beispiele aus dem Korallenriff bei verschiedenen Themen einbezogen werden. Dazu gehören die Themen Konvergenz, Selektion und Einnischung.

2. Verwendung der Materialien im Unterricht:

2.1. Das folgende Material ist so aufbereitet, daß die Schüler möglichst selbständig damit arbeiten können. Dies ermöglicht es der Lehrerin/ dem Lehrer, das Material vielseitig einzusetzen,
- *als Hausaufgabe*
- *als Klassenarbeits- bzw. Klausuraufgabe*
- *als Material für die Arbeit im Unterricht*

2.2. Die Formulierung der Aufgaben ist so offen gehalten, daß die Lehrerin/der Lehrer den eigenen Erwartungshorizont relativ frei gestalten kann. Das Material umfaßt in sich abgeschlossene Themen, so daß auch nur einzelne Aspekte des Themas Korallenriff behandelt werden können. Materialien und Aufgaben sind getrennt, um die Möglichkeit, eigene Aufgaben zu formulieren, offen zu halten.

2.3. Das Material 1 bietet die Möglichkeit, fächerverbindend zu arbeiten. Siehe dazu den Bildungsplan für Chemie Klasse 11 LPE 2 "Anorganische Kohlenstoffverbindungen und Kohlenstoffkreislauf".

2.4. Sollte das Material für eine möglichst selbständige Arbeit der Schüler im Unterricht eingesetzt werden, muß den Schülern geeignete Literatur zur Verfügung stehen, da nicht alle Aufgaben mit den folgenden Materialien gelöst werden können. Diese Unterrichtsform sollte m.E. möglichst oft gewählt werden, um Schüler zu selbständigem Arbeiten und zum problemorientierten Auswerten fachspezifischer Literatur zu erziehen.

---

* Dr. Jürgen Schweizer, Hegel-Gymnasium, Krehlstraße 65, 70563 Stuttgart

2.5. Die Aufgabenstellung kann für die Schüler noch anspruchsvoller gestaltet werden, wenn die in Material 2 und 3 definierten Begriffe nicht vorgegeben werden, sondern von den Schülern anhand geeigneter Literatur selbst erarbeitet werden müssen.

3. Verzeichnis der Medien zum Thema Korallenriff:

Die folgende Übersicht enthält die Medien der Bildstellen zum Thema Korallenriff:

32 00891 Am Korallenriff

10 52918 Korallenriffe als Lebensraum

10 55513 Korallenriff Teil 2

30 00655 Tierleben im Korallenriff

Ergänzende Medien:

10 54449 Symbiose

10 02267 Tarnen und Warnen im Tierreich

32 03511 Tarnung, um zu überleben

10 50930 Tarnung, Warnung, Mimikry

10 51249 Wie sich Tiere schützen

4. Empfehlenswerte Literatur:

Grzimeks Tierleben, München 1980

Neue große Tier-Enzyklopädie, Leipzig 1971

Wurmbach, H: Lehrbuch der Zoologie, Stuttgart 1968

Holleman-Wiberg: Lehrbuch der Anorganischen Chemie, Berlin 1995

Herder-Lexikon der Biologie, Heidelberg 1994

5. Abbildungsnachweis:

Abb.1: Wurmbach, Lehrbuch der Zoologie

Abb. 2 und 3: Grzimeks Tierleben Band 5

Material 1: Die Entstehung von Korallenriffen:

Die tropischen Korallenriffe benötigen für ihre Entstehung bzw. für ihr Überleben Wassertemperaturen von etwa 25 bis 29 °C, die Wassertiefe darf nicht mehr als ca. 40 m betragen, das Wasser muß einen normalmarinen Salzgehalt aufweisen (kein Süß- oder Brackwasser) und muß die Riffe durchströmen.

Als Zooxanthellen bezeichnet man bestimmte Algen, die in niederen Tieren leben. Diese Algen sind photoautotroph. Durch Markierungsversuche mit dem radioaktiven C^{14}-Isotop konnte man zeigen, daß sie bestimmte Photosyntheseprodukte an ihren Wirtsorganismus abgeben. Riffbildende Korallen weisen in ihrem Entoderm bis zu 1 Mio. dieser Zooxanthellen pro cm^2 auf.

Das Skelett der Riffkorallen besteht aus Aragonit. Aragonit ist eine bestimmte kristallisierte Modifikation des Calciumcarbonats, die nur in relativ warmem Wasser gebildet werden kann. Bei niederen Temperaturen entsteht eine andere Modifikation, Calcit. Calciumhydrogencarbonat ($Ca(HCO_3)_2$) in einer Gleichgewichtsreaktion zu Calciumcarbonat und Kohlenstoffdioxid reagieren. Die Korallenpolypen enthalten das Enzym Carboanhydrase, das diese Reaktion katalysiert.

Charles Darwin unterschied als erster Forscher zwischen Küsten-Riff, Barriere-Riff und Atoll (Lagunen-Riff). Er sah in diesen verschiedenen Riff-Formen unterschiedliche Entwicklungsstadien, die durch eine allmähliche Absenkung des Meeresbodens entstanden. Siehe folgende Abb. 1.

Aufgaben zu Material 1:

1.1. Informieren Sie sich über folgende Begriffe:

a) Abiotische und biotische Umweltfaktoren

b) Stenök und Euryök

1.2 Wenden Sie diese Begriffe auf die beschriebenen Fakten an.

2. Um welche Form des Zusammenlebens verschiedener Arten handelt es sich bei der Lebensgemeinschaft von Zooxanthellen und Korallen? Begründen Sie.

3. Markierungsversuche mit ^{14}C haben in der biologischen Forschung eine große Bedeutung.

3.1. Informieren Sie sich über die chemischen und physikalischen Grundlagen von Markierungsversuchen.

3.2. Beschreiben Sie ein weiteres Beispiel für die Verwendung von ^{14}C in der biologischen Forschung.

4.1. Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für das chemische Gleichgewicht Calciumhydrogencarbonat / Calciumcarbonat und Kohlenstoffdioxid.

4.2. Erklären Sie die Kalkbildung durch die Korallenpolypen und die Bedeutung der Carboanhydrase für diese Reaktion.

5.1. Erläutern Sie mit Hilfe der Abbildung, wie die verschiedenen Formen von Riffen entstanden sein können.

5.2. Wie ist es möglich, dass Korallenriffe eine Höhe mehreren hundert Metern erreichen können, obwohl die Korallenpolypen nur bis ca. 40 m Wassertiefe leben?

Material 2: Übersicht über verschiedene Formen der Tarnung und Warnung:

1. *Eine Schutztracht dient dazu, nicht wehrhafte Tiere für ihre Feinde möglichst schlecht erkennbar zu machen und so deren Überlebenswahrscheinlichkeit zu erhöhen.*
2. *Als Schreckfärbung oder Warntracht bezeichnet man auffällige Färbungen bei wehrhaften Tieren, die zur Abschreckung möglicher Fressfeinde dienen.*
3. *Als Mimikry bezeichnet man die Nachahmung der Warntracht einer wehrhaften Tierart durch nicht wehrhafte Tierarten.*
4. *Als Mimese bezeichnet man die Nachahmung eines Lebewesens oder eines unbelebten Gegenstandes, die für einen möglichen Feind uninteressant sind, durch eine nicht wehrhafte Tierart.*

Material 3: Übersicht über verschiedene Formen von Lebensgemeinschaften:

Jede Form des Zusammenlebens verschiedener Arten setzt wechselseitige Anpassungen voraus, die sich im Laufe sehr langer Zeiträume entwickelt haben. Die Ökologie beschreibt, wie dieses Zusammenleben stattfindet. Die Evolutionstheorie versucht kausal zu erklären, wie die Wechselbeziehungen entstanden sein können.

Die folgende Übersicht zeigt verschiedene Formen der Beziehungen von Lebewesen:

1. *Als Kommensalismus (lat. commensalis, Tischgenosse) bezeichnet man eine Form des Zusammenlebens verschiedener Tierarten, bei der die eine Art die Nahrung der anderen Art nutzt, ohne dieser Art zu schaden.*
2. *Als Parasitismus (Schmarotzertum) bezeichnet man das Zusammenleben zweier Tier- oder Pflanzenarten, bei dem nur eine Art profitiert (der Parasit), während die andere Art (der Wirt) geschädigt wird. Der Wirt wird von dem Parasiten zwar geschwächt, aber i.a. nicht getötet.*
3. *Bei der Räuber-Beute-Beziehung wird eine Tierart von einer anderen angegriffen, getötet und als Nahrung aufgenommen.*
4. *Die Symbiose (auch Mutualismus genannt) ist eine Form des Zusammenlebens zweier Arten, von dem beide Partner profitieren.*

Material 4: Tiere des Korallenriffs

Teil 1: Fische

4.1. Clownsfische:

Clownsfische sind besonders auffällig gefärbte Riffbarsche, die zwischen den Fangarmen bestimmter Seeanemonen leben. Deren Gift schadet den Clownsfischen nicht, weil sie durch einen Schutzstoff in ihrer Haut geschützt sind.

4.2. Putzerfische:

Putzerfische entfernen Parasiten von der Haut anderer Fischarten. Zu den Putzerfischen gehören insgesamt 45 Arten aus unterschiedlichen Gruppen von Fischen. Raubfische greifen Putzerfische nicht an. Putzerfische weisen eine sehr ähnliche auffällige Färbung auf, siehe Abb.2. Schiffshalter weisen einen Saugnapf auf, der zum Festhalten an dem Wirtsfisch dient. Dieser Saugnapf ist eine umgewandelte erste Rückenflosse.

4.3. Die Grüne Grundel:

Die Grüne Grundel zeigt eine Tarnfarbe, die genau der Farbe der Koralle entspricht, auf der sie lebt.

4.4. Schleimfische:

Alle Schleimfische weisen in ihrer Haut zahlreiche Schleimdrüsen auf. Die verschiedenen Arten von Schleimfischen haben sich die unterschiedlichsten Nahrungsquellen erschlossen. Manche ernähren sich von Algen, andere leben räuberisch. Beispielsweise haben die Säbelzahnschleimfische der Gattung Runula besonders grosse Eckzähne (Abb.3). Sie können damit Hautfetzen aus anderen Fischen herausreißen. Dabei greifen sie vor allem die Augen ihrer Beute an. Weist die Beute Augenflecken am Hinterleib auf, läßt sich Runula täuschen und greift an diesen Augenflecken an. Die Augenflecken haben widerstandsfähigere Schuppen als der Rest des Körpers.

Andere Schleimfische ahmen Körperform, Farbmuster und Bewegungen der Säbelzahn-schleimfische nach. Auch andere Fischarten, die mit den Säbelzahnschleimfischen nicht näher verwandt sind, ahmen diese nach. Eine andere Schleimfischart (Gattung Aspidontus) ähnelt in ihrem Aussehen und Verhalten einem Putzerfisch der Gattung Labroides. Dieser Schleimfisch ernährt sich, indem er den Kunden des Putzerfisches Flossenstücke abbeißt. Aspidontus kann zwar die Kunden des Putzerfisches täuschen, nicht jedoch Labroides selbst. Labroides greit Aspidontus stets an und verjagt ihn aus seinem Revier. Die Neongrundel besetzt in der Karibik die ökologische Nische von Labroides, siehe Abb. 3.

4.5. Feuerfische:

Feuerfische zeigen durch ihre weiß-braunrote Bänderung eine besonders auffällige Färbung. Sie sind durch Giftdrüsen vor potentiellen Feinden geschützt.

4.6. Trompetenfische:

Trompetenfische weisen einen langgestreckten, schmalen Körper auf. Sie jagen durch schnelles Zustoßen. Sie verstecken sich hinter anderen Fischen und nähern sich so ihrer Beute.

Material 4: Tiere des Korallenriffs

Teil 2: Wirbellose Tiere

4.7. Würmer:

Eine bestimmte Art Borstenwurm weist nur eine Länge von 1-2 mm auf. Er lebt nur auf Seelilien, deren Oberfläche und Färbung er perfekt nachahmt. Dort sucht der Borstenwurm nach Plankton, das er von der Oberfläche der Seelilie aufnimmt.

4.8. Weichtiere:

Nacktschnecken weisen kein schützendes Schneckenhaus auf. Sie sind deshalb auf besondere Schutzmaßnahmen angewiesen. Manche Nacktschnecken können in Farbe und Struktur Korallen nachbilden. Andere Arten von Nacktschnecken sind durch Gifte vor Freßfeinden geschützt. Sie zeigen eine auffällige Färbung.

4.9. Krebse:

Die sechs Arten von Putzergarnelen gehören zu den Krebsen. Mit ihren Scherenfüßen entfernen sie Parasiten von der Haut großer Fische. Putzergarnelen sind bunt gefärbt. Einsiedlerkrebse schützen ihren empfindlichen Hinterleib, indem sie ein Schneckenhaus als Ersatz für den fehlenden Panzer benutzen. Auf dieses Schneckenhaus setzen sie Seerosen. Durch Nesselkapseln sind die Seerosen sehr wehrhaft. Der Einsiedlerkrebs zerkleinert bei der Nahrungsaufnahme seine Beute. Kleine Nahrungsbrocken werden dabei auch von der Seerose aufgenommen. Einsiedlerkrebse sind in der Evolution vermutlich in mehreren Gruppen von Krebsen unabhängig voneinander entstanden.

Aufgaben zu Material 2 bis 4:

1. *Die verschiedenen Formen der Tarnung und Warnung können bei Arten aus den unterschiedlichsten systematischen Gruppen und bei Lebewesen aus den verschiedensten Ökosystemen gefunden werden. Beschreiben Sie für jeden Begriff aus Material 2 je ein Beispiel aus dem Ökosystem Korallenriff.*

2. *Stellen Sie entsprechende Beispiele für Tarnung und Warnung bei einheimischen Arten zusammen.*

3. *Beschreiben Sie für die verschiedenen Formen des Zusammenlebens Beispiele aus dem Ökosystem Korallenriff.*

4. *Stellen Sie entsprechende Beispiele für einheimische Lebewesen zusammen.*

5. *Die moderne Evolutionstheorie versucht, Bau und Lebensweise der Arten kausal zu erklären. Eine zentrale Bedeutung kommt dabei den verschiedenen Evolutionsfaktoren zu.*

5.1. *Stellen Sie in einer stichwortartigen Übersicht die verschiedenen Evolutionsfaktoren zusammen.*

5.2. *Erläutern Sie anhand selbst gewählter Beispiele aus dem vorliegenden Material, wie man mit Hilfe der Evolutionstheorie Beobachtungen aus der Ökologie kausal erklären kann.*

5.3. *Informieren Sie sich über den Begriff Koevolution. Erläutern Sie, ob und ggf. wie die beschriebenen Beispiele durch Koevolution erklärt werden können.*

Abb. 2: Die Putzertracht:

Abb. 3: Kopf eines Säbelzahn-Schleimfisches

*Profil **13**: 85-94, 3 Abb.; Stuttgart 1998*

ANREGUNGEN UND MATERIALIEN FÜR DIE FÄCHER ERDKUNDE UND GEOLOGIE

INGEBORG **HAUSSMANN**, *LEONBERG* & ROLAND* **BUCHS** , *STUTTGART***

Unterrichtsgang

Die vorliegenden Unterrichtsbeispiele sind für die Sekundarstufe II gedacht, können aber bei entsprechenden Kürzungen und Vereinfachungen auch in S I verwendet werden. Die Materialien beinhalten Hinweise und Informationen für die Hand des Lehrers sowie Arbeitsanweisungen und Aufgaben für die Schüler. Da die Schüler in Bezug auf die vorliegende Thematik wenig Vorkenntnisse haben können, ist bei aller angestrebten Eigenarbeit hier die ausführliche Lehrerinformation notwendig. Dies gilt vor allem für die Erklärungen.

Die einzelnen Abschnitte sind entsprechend gekennzeichnet, auf die an anderer Stelle bereits erörterten Fakten wird hingewiesen.

Die Unterrichtsbeispiele beziehen sich zunächst auf die heutigen Riffe vom Standpunkt der Erdkunde aus. Sie setzen dabei Kenntnisse aus der Biologie voraus, was im Sinne eines fächerübergreifenden Unterrichts wünschenswert ist. Querverweise machen dies deutlich.

Am bekanntesten Riff, dem Großen Barriereriff, sollen dann die bereits erworbenen allgemeinen Kenntnisse von den Schülern auf das Einzelbeispiel angewendet werden. Selbstverständlich kann auch der umgekehrte Weg vom Einzelbeispiel zum Allgemeinen eingeschlagen werden. Hier soll der Umweltgedanke, auch im Zusammenhang mit dem Fremdenverkehr, zur Geltung kommen.

In einem zweiten Teil folgt die Beschäftigung mit den fossilen Riffen und ihrem landschaftsbildenden Charakter auf der Schwäbischen Alb. Damit wird die Beziehung zur Geologie hergestellt.

Das ganze Projekt sollte dann abgeschlossen werden mit einer Exkursion zu einem oder mehreren dieser Riffe. Die Sammelleidenschaft der Schüler kann dadurch ebenfalls befriedigt werden.

---

* Gymn.Prof. i.R. Ingeborg Haussmann, Akazienweg 9, 71229 Leonberg

** St.Dir. Roland Buchs, Munderkinger Str. 17, 70324 Stuttgart

HEUTIGE RIFFE

1 Einleitung
Teil 1 dieses Bandes (Hintergrundwissen) .

2 Topographie, *Vorkommen von Riffen, Schülerarbeit mit Hilfe der Informationen aus dem Atlas, Form und Aussehen, Entstehung.*

2.1 Aufgabe: Stellen Sie nach dem Atlas die Verbreitung der wichtigsten Korallenriffe weltweit zusammen *(es wird keine Vollständigkeit erwartet).*

Lösung: *Neuer Diercke, Ausgabe 1996, S. 137: Seychellen, O-Küste Afrikas zw. Mombasa und Mosambik*
S. 139: Küsten Rotes Meer S. 157: Andamanen, Nikobaren im Golf von Bengalen
S. 166/67 wichtig, ebenso S. 168/69 und S. 178/79: Inseln im Pazifischen Ozean, u.a. Marshall-Inseln, Karolinen, Fidschi, Großes Barriereriff. Küste Philippinen, Indonesien. Zusammenfassende Darstellung der Verbreitung siehe Aufsatz Brümmer & Leinfelder.
Anmerkung: Die Verbreitung im Atlantik, Florida - Brasilien, kann von Schülern nicht erwartet werden, da auf keiner der Atlaskarten die Korallenriffe eingezeichnet sind.

2.2 Aufgabe: Ordnen Sie die Vorkommen mit Hilfe der Klimakarten im Atlas bestimmten Klimazonen zu, und erklären Sie die Verbreitung.

Lösung: *Nur im Bereich der A-Klimate nach Köppen-Geiger (oder andere Klima–klassifikation), Rotes Meer als Ausnahme, d.h. nur in tropischen Meeren oder am O-Rand der Kontinente wegen warmer Meeresströmungen. Als Erklärung von Schülerseite genügt hier zunächst die Feststellung, daß Riffe warmes Wasser zum Wachstum brauchen.*
Genauere Erklärung siehe Aufsatz Brümmer & Leinfelder.

2.3 Aufgabe: Stellen Sie Unterschiede in Form und Ausbreitung der Riffe fest.

Lösung: *Lang gezogene, der Küste vorgelagerte Wälle. Inseln verschiedener Größe mit und ohne Festlandskern. Eine Erklärung kann hier vom Schüler noch nicht erwartet werden, da er die Entstehungsgeschichte nicht kennt. Erklärung durch den Lehrer, Rifftypen und Atollentstehung als Merkstoff.*

Alternativ: Orientieren Sie sich über Darwins Theorie der Atoll-Entstehung anhand der Literatur *(s. Aufsatz Brümmer & Leinfelder*) **und der folgenden Skizze** *(Abb.1).*

Lösung: *Grundprinzip sollte herausgearbeitet werden (Absinken der Insel und gleichzeitiges Kompensieren durch Korallenwachstum.*

2.4 Aufgabe: Beschreiben Sie das Maloelap-Atoll, *Diercke, S. 179*, **indem Sie das bislang über Riffe Gelernte nun auf ein Einzelbeispiel anwenden.**

Lösung: *Insgesamt etwa 60 km lang, 25 km breit, gehört damit zu den größten Atollen des Pazifiks. Riffkranz mit geringer Breite von nur 1 km, 2-3 m über dem Flutniveau. Verbindung Lagune - offenes Meer an der Westküste durch Riffkanäle (siehe Skizze), unregelmäßige Form, Lagune mit anwachsenden Korallen, nur 40-70 m tief. Geringe Verbreitung von tropischem Regenwald, wenig Kokospalmen, verstreut über den ganzen Riffkranz. Siedlungen nur auf Kaven-Island zu erkennen. Schiffahrtsweg benutzt die größte Kanalöffnung im W, selbst Flugplatz ist vorhanden!*

Abb. 1: Entwicklung eines Korallenriffs (Zum Teil nach Andrée). Aus G.Wagner: Einf. in die Erd- und Landschaftsgeschichte, 2.Aufl., Öhringen 1950, S.203

3. Das Große Barriereriff

Das Große Barriereriff ist das ausgedehnteste Riffsystem der Erde und gehört zu den eindruckvollsten Naturerscheinungen der Welt. Es ist 2000 km lang und 20 bis 300 km breit. Anhand der beigegebenen Texte sollen die Schüler überprüfen, inwieweit und ob ihre bisher erworbenen Kenntnisse auch mit der Natur übereinstimmen. Es handelt sich also hier nicht nur um die Auswertung einer Kartenskizze, sondern auch um Textinterpretation mit eigener Stellungnahme, um das Aneignen von Kenntnissen aus vorgegebenen Informationen.
Texte und Skizze aus: E. Löffler und R. Grotz, Australien, Wiss. Buchges. Darmstadt, 1995, S. 82-88.

3.1 Naturschönheiten und Fakten -- *Information für Lehrer und Schüler*

Verwendung als Lehrervortrag oder als Vorlage für die Schüler für eine Zusammenfassung.

Das Große Barriereriff gehört ohne Zweifel zu den eindrucksvollsten Naturerscheinungen der Welt, denn es sind nicht nur eine große Vielfalt und Vielgestaltigkeit von Korallen am Aufbau dieses Riffsystems beteiligt, eine fast noch größere Mannigfaltigkeit von Lebewesen ist dort beheimatet. Die Schönheit des Riffs und seiner Bewohner begeistert jeden Besucher, der die Anstrengung unternimmt, eines der zahlreichen Einzelriffe aufzusuchen, um dort bei Ebbe über das Riff zu wandern[1] oder - noch besser - sich, mit Tauchermaske und Schnorchel ausgerüstet, über die Korallenwelt treiben zu lassen. Ein Erlebnis von einzigartigem und unvergleichbaren Reiz ist jedoch das Tauchen, denn nur so wird das genauere Beobachten und Erkunden dieser phantastischen und uns normalerweise verschlossenen Unterwasserwelt möglich.

Aus der Luft zeigt sich das Barriereriff als eine Serie langgestreckter oder ovaler bis rundlicher Flecken, die aufgrund der geringen Wasserbedeckung türkis bis hellblau erscheinen und sich so deutlich vom dunklen Blau des umgebenden tieferen Wassers des Ozeans absetzen. Die östliche, dem offene Meer zugewandte Seite des Riffs ist relativ geradlinig; sie wird durch die weißen Schaumkronen der Brecher, die unaufhörlich gegen das Riff anrollen noch hervorgehoben. Die dem Land zugewandte Seite dagegen ist unregelmäßig und zerlappt und wird oft durch enge Kanäle zergliedert, durch die das Brandungswasser mit hoher Geschwindigkeit geschleust wird. Der Blick von oben zeigt auch deutlich, daß das Große Barriereriff kein zusammenhängendes Riffsystem darstellt, sondern vielmehr ein Gewirr unterschiedlich großer, über die gesamte Lagune verteilter Einzelriffe, die nur selten, und zwar vor allem am Außensaum, geradlinig angeordnet sind. Der Begriff Lagune bedeutet in diesem Zusammenhang den gesamten Bereich zwischen dem äußeren Riff und dem Festland. Daher wird von australischen Wissenschaftlern auch der Begriff „The Great Barrier Reefs" dem allgemein gebräuchlichen und auch hier verwendeten Singular des Großen Barriereriffs vorgezogen.

In seiner Gesamtausdehnung ist das Riffsystem wahrlich gigantisch. Es erstreckt sich vorn 22. südlichen Breitengrad bis zur Südküste Neuguineas über eine Entfernung von über 2000 km mit einer Breitenausdehnung, die zwischen knapp 300 km im Süden und rund 20 km an der schmalsten Stelle bei Cape Melville (14° Süd) schwankt. Die Gesamtfläche, in der Riffe auftreten, übersteigt 200.000 km^2. Die Riffe selbst nehmen davon allerdings nur einen kleinen Teil von unter 10% ein. Im Aufbau gleicht das Große Barriereriff anderen Barriere- oder Wallriffen, d.h., das Riffsystem ist auf dem Bereich des kontinentalen Schelfs verankert und verläuft mehr oder weniger parallel zur und in einiger Entfernung von der Festlandsküste.

---

[1] *Am Großen Barriereriff kann man an einigen Stellen auf geführten, festgelegten Pfaden über das Riffdach wandern. Ansonsten sind Riffdachwanderungen natürlich schädlich für Riffe und sollten unterlassen werden.*

3.2 Aufgabe: Beschreiben Sie Aufbau und Aussehen des südlichen Teils des Riffs anhand Abb.2.

Abb. 2: Südliche Riffküste des Großen Barriereriffs

<u>Lösung</u>: Die O-Seite fällt steil ab zum offenen Meer, kein zusammenhängendes Riffsystem, sondern Auflösung in einzelne Teile, sanftes Abtauchen nach W zur Lagune, hier = Curtis Channel, mehrere Inseln innerhalb der Lagune. Weitere Korallenriffe im NO = Swains Reefs. Festland und eigentlicher Riffabhang durch Lagune getrennt, diese ist 10-40 m tief, also für Riffwachstum bestens geeignet, dann kommt der Steilabfall zum offenen Meer, 80-280 m und dann weniger steil bis 440 m.

Detaillierte Informationen für Spezialisten über weitere Riffe und Inseln, die nicht unbedingt aus der Kartenskizze abzulesen sind, gibt der folgende Text:

Die windexponierten Ostseiten der Riffe des Außensaums fallen steil zum offenen Meer hin ab. Dieser Riffabhang stellt aufgrund der ständigen Durchmischung des Wassers durch die Brandung den aktivsten Teil des Riffs dar, der den größten Reichtum an Korallenformationen, aber auch an anderen Lebewesen aufweist. Gleichzeitig ist aber hier auch der Bereich der größten Zerstörung. In Richtung Festland tauchen die Riffe dagegen sanfter zur Lagune ab, die Tiefen zwischen 50 m und 100 m aufweist. Die Lagune, in Australien auch Barrier Reef Channel genannt, ist im Süden nahezu 300 km breit (Abb. 2), sie wird nach Norden hin allmählich schmaler und nähert sich bei Cairns dem Festland auf 10-20- km. Es ist daher kein Wunder, daß Captain Cook im Mai 1770 völlig ahnungslos in den Barrier Reef Channel hineinsegelte und erst mehrere Wochen später erkannte, daß er zwischen Festland und äußerem Riff gefangen war. Nur unter größten Schwierigkeiten, und nach einem nahezu verhängnisvollen Schiffbruch, gelang es ihm, das Riffgebiet zu verlassen.

Innerhalb der Lagune liegt eine Vielzahl weiterer Riffe. Es handelt sich meist um rundliche bis ovale Plattformriffe, die viele Hektar bis einige Quadratkilometer umfassen können. Plattformriffe sind ein typisches Element breiter Schelfbereiche, denn hier bieten sich an etwas höher aufragenden Stellen günstige Ansatzpunkte für das Korallenwachstum. Im Gegensatz zu den vorherrschend länglichen Riffen der äußeren Barriere, deren aktives Wachstum nur in eine Richtung, nämlich zum offenen Ozean hin, möglich ist, können sich Plattformriffe in alle Richtungen ausdehnen; daher ihre rundliche Form (Schumacher 1976). Einige tragen auf der wind- bzw. strömungsabgewandten Seite kleine Koralleninseln ("coral cays" oder "sand cays"). Diese Inseln sind selten größer als 1-2 ha und ragen nur um zwei bis maximal drei Meter über den Meeresspiegel hinaus. Sie bestehen ausschließlich aus teils lockerem, teils zu 'beachrock' verfestigtem Sand aus Korallen- und Muschelbruchstücken (siehe unten). Gelegentlich sind auch sog. Pseudoatolle oder Miniatolle zu finden. Es handelt sich hier um eine Sonderform des Plattformriffs, die durch eine dem Atoll ähnliche Ringstruktur gekennzeichnet ist. Pseudoatolle entstehen durch Erosion des ältesten, zentralen Bereichs eines großen Plattformriffs, sie entwickeln sich nicht, wie die sehr viel größeren echten Atolle, aus ehemaligen Inselsaumriffen.

In der Nähe des Festlands tauchen andere Inseln auf; sie ragen steil aus dem Meer heraus und bestehen aus festem Gestein, sind also geologisch gesehen Teile des Festlands und wurden durch den postglazialen Meeresspiegelanstieg davon getrennt. Sie werden im Gegensatz zu den reinen Koralleninseln, den "low islands als "high islands" oder auch 'mainland islands' bezeichnet. Diese hohen Inseln sind von schmalen Saumriffen umgeben, die zwar ebenfalls sehenswerte Korallenformationen aufweisen, aber natürlich nicht in dem grandlosen Ausmaß wie im äußeren Riff. Das Festland selbst verfügt nur an wenigen Stellen, hauptsächlich nördlich von Cairns, über Saumriffe, denn die Bedingungen für das Korallenwachstum sind infolge der Trübung des Wassers durch die Sedimentation der Flüsse nicht günstig.

3.3 Aufgabe: Überprüfen Sie den vorliegenden Text über die Entwicklung des Großen Barriereriffs. Stimmen die hier gemachten Angaben mit den von Ihnen seither erworbenen Kenntnissen überein, gibt es neues Wissen und neue Erkenntnisse?

Für die Entwicklung dieses ausgedehntesten Riffsystems der Erde sind drei entscheidende Faktoren ausschlaggebend: der geologische Rahmen innerhalb der ehemaligen der ehemaligen Tasmanischen Geosynklinale, die Lage im Einflußbereich der riesigen, äußerst dynamischen Wassermassen des Südwestpazifik und schließlich die eiszeitlichen Meereesspiegelschwankungen (Maxwell 1968, Hoplev).

Die geologische Basis des Großen Barriereriffs wird durch die im jüngeren Paläozoikum gefalteten und an zahlreichen Stellen von granistischen Intrusionen durchsetzten Gesteine der Tasmanischen Geosynklinale gebildet. Das vorherrschende Streichen und Fallen, aber auch der Becken und Aufwölbungen weist, grob gesehen, eine nördliche bis nordnordwestliche Tendenz auf, etwa parallel zum heutigen Küstenverlauf. Diese Strukturlinien spiegeln sich recht gut in der heutigen Ausrichtung von Höhenzügen und Becken sowie im Gewässernetz des östlichen Hochlands wider, und sie finden auch untermeerisch ihre Fortsetzung, so daß der Schelfbereich durch weitgespannte, mehr oder weniger küstenparallele Tröge und Rücken gekennzeichnet ist. Diese Rücken bilden heute das Fundament des Großen Barriereriffs.

Den zweiten Gunstfaktor für die Riffentwicklung stellen die unter dem Einfluß der Passatwinde zur australischen Ostküste strömenden, warmen, oberflächennahen Wassermassen aus dem Südpazifik dar. Diese werden durch die Landmassen Neuguineas und Australiens nach Süden abgelenkt, um als Ostaustralstrom bis über den südlichen Wendekreis vorzudringen. Dies erklärt auch das weite südwärtige Ausgreifen des Riffwachstums. Gleichzeitig liefern die tieferen, kälteren und daher karbonatreichen Wassermassen des Korallenmeers und des Queensland-Trogs das für das Riffwachstum wichtige Kalziumkarbonat. Ebenfalls förderlich für das Korallenwachstum ist die relativ hohe Gezeitenschwankung um 3 m.

Die glazialeustatischen Meeresspiegelschwankungen schließlich stellen das dritte entscheidende Element in der Riffentwicklung dar. Der eigentliche Beginn des Riffbaus im Barriereriff liegt etwa 2 Mio. Jahre zurück, an der Wende Pliozän/Pleistozän, als im Zuge der Nordwärtswanderung der australischen Platte der Kontinent eine ausreichend nördliche Lage eingenommen hatte, um den Temperaturvoraussetzungen für das Korallenwachstum (Wassertemp. ganzjährig über 18°C) zu genügen. Gleichzeitig setzen aber auch die glazialeustatischen Meeresspiegelschwankungen ein.

Riffwachstum fand ausschließlich zu Zeiten hoher bzw. steigender Wasserstände statt, während sinkende Wasserspiegel zum Trockenfallen der Riffe und zu deren Zerstörung führten. Praktisch der gesamte Schelfbereich fiel während der glazialen Meeresspiegelabsenkungen trocken und wurde den subaerischen Prozessen der Erosion und Denudation ausgesetzt, insbesondere natürlich der Kalkkorrosion. Die als inselartige Erhebungen aus dem Schelf aufragenden Riffe wurden teilweise abgetragen, die meisten überlebten aufgrund der morphologischen Widerständigkeit der wasserdurchlässigen Korallenkalke als schroffe „Riffruinen". Mit jedem Meeresspiegelanstieg kam es erneut zum Riffwachstum, wobei verständlicherweise die höhergelegenen Ruinen der alten Riffe besonders günstige Fundamente für die Ansiedlung von Korallen boten. Selbstverständlich verschwanden mitunter auch Riffe völlig aufgrund veränderter Strömungs- oder Sedimentationsbedingungen. Aber generell bedeutete das Auf und Ab des Meeresspiegels eine ständige Ausdehnung der Korallenriffe und die Wuchsbedingungen wurden mit jedem erneuten Meeresspiegelanstieg etwas besser als beim vorangegangenen. Die heutigen Riffe sind daher nicht das Ergebnis des Meeresspiegelanstiegs während der letzten Eiszeit, sondern sie stellen eine komplex aufgebaute Serie von unterschiedlich alten Riffen dar, die durch Erosionsdiskordanzen getrennt sind. Das postglaziale Wachstum der Riffe liegt lediglich zwischen 15 und 20 m.

Lösung: Übereinstimmungen: a, b, c, Neues Wissen: d

a) Tasmanisches Rumpfgebirge (Tasmanische „Geosynklinale[1]“) und dessen Strukturen: Becken und Rücken sind auch untermeerisch vorhanden; die Rücken, d.h. etwas Erhöhtes wie bei den Inseln, wirken als Fundament.
b) Warmes, oberflächennahes Wasser wird durch die Passatwinde geliefert, Kalziumkarbonat zum Aufbau durch die tieferen, kälteren Wassermassen.
c) Temperaturvoraussetzungen erfüllt durch Nordwärtswanderung der australischen Platte.
d) Meeresspiegelschwankungen bedingen Korallenwachstum, neue Riffe wachsen auf den Ruinen der alten; heutige Riffe sind also eine Serie mit Erosionsdiskordanzen (Erkl.!) unterschiedlichen Alters.

---

[1] Wie im aufgeführten Text findet sich der Begriff „Geosynklinale“ auch noch häufig in Schulbüchern. Er stammt jedoch aus einer geologischen Terminologie vor Kenntnis der Plattentektonik und sollte heute eher vermieden werden. Im hier gebrauchten Sinne kann er durch den Begriff „Tasmanischen Rumpfgebirge“ oder „Tasmanisches Orogen“ ersetzt werden.

3.4 Gefahren für das Riff - Umweltgedanken - Umweltschutz

Aufgabe: Stellen Sie anhand des Textes die Umweltgefahren für das Riff zusammen.

Das Große Barriereriff wurde von der „World Heritage Commission" als Naturdenkmal höchster Schutzwürdigkeit ausgewiesen; es gibt kaum jemanden, der diese Entscheidung anzweifeln würde. Dem wurde auch durch die Gründung des Nationalparks "Great Barrier Reef Marine Park", der den größten Teil des Riffs umfaßt, Rechnung getragen. Das Große Barriereriff stellt nach heutiger Erkenntnis ein stabiles Ökosystem dar, das sich in einem Zustand des Gleichgewichts befindet (Maxwell 1968). Korallen haben alle besiedelbaren Räume besetzt, eine weitere Ausdehnung der Riffe ist unwahrscheinlich. Aktives Riffwachstum und Zerstörung des Riffs halten sich ungefähr die Waage.

Dennoch ist der Fortbestand dieses einzigartigen Ökosystems durch den Eingriff des Menschen gefährdet. Der von Jahr zu Jahr größer werdende Strom von Touristen ist wohl die geringste Gefahr, denn die meisten Riffe sind schwer zugänglich, und alleine die Vielzahl stellt einen gewissen Schutz dar. Die von Touristen häufig besuchten Riffe zeigen jedoch deutliche Spuren der Zerstörung wie abgebrochene, niedergetrampelte Korallenstöcke und verstellte oder gar umgeworfene Korallenblöcke. Weniger auffallend ist die allmähliche Verarmung der Molluskenfauna, hervorgerufen durch das rücksichtslose Sammeln der begehrten und teilweise wertvollen Schalen.

Auch die vor allem in den siebziger Jahren Aufsehen erregende Ausbreitung des korallenfressenden Dornenkronenseesterns *(Acanthaster planci)* wurde mit dem Eingriff des Menschen in den Naturhaushalt in Verbindung gebracht. Es wurde befürchtet, daß der Seestern weite Teile des Riffs zerstören würde, und große Anstrengungen wurden unternommen, die Ausbreitung dieses unerwünschten Riffbewohners einzudämmen. Auf einigen großangelegten und entsprechend publizierten Taucherexpeditionen wurden die Seesterne von einigen befallenen Riffen entfernt, aber natürlich hatte dies keine Auswirkungen auf die Gesamtpopulation. Heute wird das Problem des Dornenkronenseesterns nüchterner gesehen. Nicht nur, weil sich viele der befallenen Riffe wieder erstaunlich gut erholt haben und die Ausbreitung auch deutlich zurückgegangen ist, sondern weil Untersuchungen gezeigt haben, daß die plötzliche Expansion des Seesterns wahrscheinlich nur ein Zyklus in der gesamten Riff-Ökologie darstellt, der auf natürliche Weise kontrolliert wird (Rowe & Vall 1984).

Eine wesentlich größere Bedrohung geht jedoch von der Möglichkeit einer wirtschaftlichen Nutzung und Ausbeutung der Riffe aus, denn aufgrund der hohen Produktion an organischen Stoffen stellt das Gebiet des Großen Barriereriffs eine potentielle Erdölquelle dar. Zahlreiche Lizenzen zur Erdölexploration wurden in Queensland vergeben, aber zum Glück verhinderte der Druck der Öffentlichkeit und der Bundesregierung in Canberra eine Umsetzung dieser Vorhaben. Nach jahrelangem Kampf zwischen den Regierungen von Queensland und des Bundes gelang es schließlich, den größten Teil des Barriereriffs als Great Barrier Reef Marine Park unter den direkten Schutz der Bundesregierung zu stellen.

Nicht gebannt sind die Gefahren der zunehmenden Verschmutzung des Pazifik und vor allem der Flüsse, die in das Riffgebiet entwässern und ihre Sedimentfracht und Schadstoffe dort ablagern. Die zunehmende Trübung des Wassers in Küstennähe führt zu einer deutlichen Reduktion des Lichteinfalls und damit der Lebensbedingungen der Korallen. Ein Alptraum bleibt auch die ständige Gefahr eines Öltankerunfalls, der für das Riff katastrophale Folgen hätte.

Lösung: Trotz Gleichgewicht zwischen Wachstum und Zerstörung Gefahr für die Bereiche, die von Touristen besucht werden. Ausbreitung des Dornenkronenseesterns wird als übertriebene Angstmacherei angesehen, der als ökologischer Zyklus in der Ökologie natürlich auftritt[1]. Schlimmer: Ausbeutung potentieller Erdölquellen möglich[2] . Augenblicklich jedoch Gefahr gebannt, da der Teil des Riffes unter den Schutz der Regierung gestellt ist. Gefahr durch Verschmutzung von Flüssen, die ins Riff entwässern.
Schlimmste Gefahr neben der zunehmenden Verschmutzung von Küstenbereichen am Großen Barriereriff: eventueller Öltankerunfall.
Text eignet sich als Hausaufgabe oder zur Information.

[1] Die Diskussion um die Dornenkronen-Epidemien hält noch an. Eine natürliche Zyklizität des Auftretens erscheint zwar heute als nachgewiesen; da die Seesternlarven bezüglich der Umweltverschmutzung widerstandsfähiger als Korallenlarven zu sein scheinen, könnte sich trotz natürlicher Schwankungen das Gleichgewicht jedoch längerfristig zuungunsten der Korallen verlagern. Das Absammeln des Tritonshorns (Schnecke), eines natürlichen Feindes des Seesterns, ist sicherlich nicht die Hauptursache der Epidemien, kann jedoch eine begleitende Rolle spielen. Dennoch sind die anderen Gefährdungen des Großen Barriereriffs eindeutig bedrohlicher.

[2] Die Riffe produzieren heute kein Erdöl; im Untergrund sind jedoch Erdölvorkommen vorhanden.

Abb. 3: Verzahnung von Riffkalken (und -dolomiten) mit glatter Fazies (Mergeln) in Südtirol. (Nach Mojsisovics). (Aus: G. Wagner, S. 201)

Lehrerinformation:

Die schönsten fossilen Riffe finden wir heute in den Dolomiten, deren Kalk- und Dolomitklötze von Kalkalgen und Korallen aufgebaut werden. Wie bei den rezenten Riffen können wir auch dort die Verzahnung von Riff und Schlamm oder Sand beobachten. Durch spätere Hebungen und Verwitterung wurden sie herauspräpariert, so daß wir heute ihre einstigen Formen und Lebewesen im Trockenen begehen und untersuchen können. Dies ist der Vorteil der fossilen Riff-Formationen; man braucht keinen Schnorchel oder Taucheranzug, und daher sollten wir sie auch unseren Schülern nahebringen, zumal sie in unserer engeren Heimat auch vorhanden sind: Bankriffe aus Terebrateln und richtige Muschelriffe gibt es im Muschelkalk, im Jura überwiegen die Schwämme.

Lehrerinformation zu den Riffen der Schwäbischen Alb finden sich in den Beiträgen Leinfelder und Schweigert, zu Muschelkalk-Riffen im Beitrag Hagdorn.

Bei der Umsetzung der oben genannten Informationen im Unterricht kommt es auf Vereinfachung und Straffung an und auf die Parallelisierung mit den bereits bekannten rezenten Formen. Dazu dient die Kartenskizze auf der folgenden Seite, Abb.4, die die Verzahnung von geschichteter Fazies - ursprünglich Schlamm und Schlick - mit Massenkalkfazies - ursprünglich Schwämme und Mikroorganismen - zeigt.

Grundkenntnisse über den Aufbau der Schichtstufenlandschaft sollten vorhanden sein.

Abb. 4. Schematische Darstellung der Verzahnung von regelmäßig geschichteter Kalk- und Mergelfazies mit einer kalkigen Biostrom- und Bioherm-Fazies (Schwammkalke, Korallenkalke, etc.)

Aus: Geyer - Gwinner, Geologie von Baden-Württemberg, Stuttgart 1991, S. 157

Aus den vorhergehenden Ausführungen über die fossilen Riffe geht hervor, daß es sich bei der Wissensvermittlung weitgehend um Lehrerinformation handelt, da den Schülern das nötige geologische Grundwissen fehlt. Dies sollte hier im Sinne eines fächerübergreifenden Unterrichts kompensiert werden durch den Hinweis auf die morphologischen Unterschiede zwischen Riff- und Normalfazies am Albtrauf und in den Tälern, wo die ehemaligen Riffe als Felsen herauspräpariert wurden und auf der Hochfläche, wo die härteren Kalke die Kuppen bilden (vgl. Beitrag Schweigert).

Zum Verständnis hilft dabei Abb. 5

Abb.5: Kuppen, Schichtflächen und Flächenalb sowie Küstenlinie des miozänen Molassemeeres (Klifflinie). Aus: Geyer-Gwinner, S.316

Da die Vermittlung von Kenntnissen über die fossilen Riffe weitgehend dem Lehrer überlassen bleiben muß, läßt sich dieser Mangel durch Mithilfe der Schüler bei der Durchführung und Planung einer **Exkursion** zum Teil wieder beheben. Es kommt dabei darauf an, daß der Erlebniswert einer solchen Unternehmung beachtet wird; denn hier kann man betasten, besteigen, sammeln, was doch eigentlich auf den Meeresboden gehört. Als Musterbeispiele bieten sich an: die im Beitrag Schweigert erwähnten Lochenschichten oder die Massenkalke im Oberen Donau- und Blautal. Will man die geologischen und geographischen Kenntnisse der Schüler ausweiten zugleich auf andere Gebiete, z.B. auf die Geschichte, so muß man auf die Mittlere Alb gehen: Reußenstein und andere Felsen als Riff-Fazies, die Hochwanger Steige als eine Fundstelle, an der jeder seinen Schwamm findet, der Hohen Neuffen für die Historie - wahrlich fächerverbindend! - , wobei das “Riff” in den größeren Zusammenhang gestellt wird.

Materialien zu **Hochwanger Steige** bei Unterlenningen:

Beim langsamen Aufwärtsfahren bzw. beim Halt in der unteren Parkbucht sollten die Schüler zumindest die wohlgebankten Kalke des Oxfordium 2 erkennen, die an allen Albsteigen sichtbar sind und in ihrer Wechsellagerung mit den Mergeln wie weiß gemauerte Wände aussehen.

“.....Die Straße erschloß nach ihrer Erbauung um 1960 ein vollständiges Profil von Oxfordium 1 bis Kimmeridgium 2 (Malm alpha bis delta), von dem auch heute noch verschiedene Teile gut aufgeschlossen sind. Die Straße führt zunächst über Gehängeschutt, dann durch die Unteren Malmmergel (alpha), die aber kaum mehr erschlossen sind. Die ersten gut erschlossenen Schichten gehören den Wohlgebankten Kalken des Oxfordium 2 zu. Darüber folgen Aufschlüsse im Kimmeridgium 1.1 und dem Beginn von Kimmeridgium 1.2 (Malm gamma). Dann folgt eine von Schutt bedeckte Zone bis kurz vor der Kehre, wo sich die Straße gegen Westen zu in das Seitental zieht. Hier ist das Kimmeridgium 1.3 (Weißjura gamma 3) erschlossen: Mergel und Mergelkalke der Region von *Idoceras balderum.* Dann folgen verschwammte Schichten des obersten Kimmeridgium 1.3 mit reicher Kleinfauna; hier findet man Schwämme! Im Grenzbereich Kimmeridgium 1/2 ist ein unruhiges Relief vorhanden. Die Kalkbänke von Kimmeridgium 2.1 sind weitgehend verschwammt, aber noch geschichtet ausgebildet, ebenso Kimmeridgium 2.2. Dann folgt Massenkalk. Die Glaukonitbank findet sich bereits nahe der Hochfläche. In den Kalken des Kimmeridgium 2 sind auch Karstgerinne (Höhlen) angeschnitten.”

*Profil **13**: 95-101, 6 Taf.; Stuttgart 1998*

Arbeitsblätter „Korallenriffe“ für die Fächer Biologie und Erdkunde der Klassenstufen 7 - 9

CHRISTA **MAASSEN**, OBERHAUSEN*

Die nachfolgenden Arbeitsblätter sind gedacht für den Unterricht in den Fächern Biologie (Jahrgangsstufen 8 / Ökologie und ggf 9 / Wahlpflichtbereich II - Ökologie; je nach schulinternem Lehrplan) und Erdkunde (Jahrgangsstufe 7: Inwertsetzung von Räumen bzw. Klasse 8: Entwicklungsländer; die Angaben gelten für die Lehrpläne in Nordrhein-Westfalen). †ber die unterrichtlichen Ziele des Einsatzes dieser Materialien entscheidet die Fachlehrerin/der Fachlehrer.

Die Arbeitsblätter 1 - 3b sind - als Farbversionen - auch im Internet erhältlich unter: http://members.aol.com/maassench/LadyGrey/inhaltsv.htm

Die Themen der Arbeitsblätter umfassen:

- Arbeitsblatt 1: Bau und geschlechtliche Fortpflanzung der Steinkorallen
- Arbeitsblatt 2: Knospung bei Korallen/ Vgl. Steinkorallen - Achtstrahlige Korallen / Anwendungsbeispiele
- Anlage zu Arbeitsblatt 2: Arbeitstext aus Geo: Knochenersatz vom Riff
- Arbeitsblatt 3a: Riffbildung - Biologische Grundlagen
- Arbeitsblatt 3b: Riffbildung - Chemische Grundlagen
- Arbeitsblatt 4: Fallstudie: Lebens - und Wirtschaftsraum Rarotonga (in Kombination mit DIERCKE - Weltatlas)

An dieser Stelle sei der Klasse 9e des Elsa-Brändström-Gymnasiums, die den "Probelauf" über sich ergehen lassen musste sowie dem Ökologiekurs 10WPII für seine Mitarbeit an diesem Projekt herzlich gedankt.

* OStR’ Christa Maaßen, Elsa-Brändström-Gymnasium, 46045Oberhausen, Christian-Steeger-Str. 10/11. Email: Maassench@aol.com

Frau Maaßen ist nun am Gymnasium Geilenkirchen beschäftigt; die Email-Adresse ist noch gültig.
Auf der Homepage von Frau Maaßen gibt es weitere Projekte zu Riffen: http://www.ladygrey.de

Arbeitsblatt 1

Abb.1: Korallenpolypen mit Zooxanthellen (Pfeile)

1.1. Beschreibe den linken Polypen!
1.2. Warum ist der rechte Polyp grösser als der linke?

Abb. 2: Korallenpolyp (Bauplan)

2.1. Beschrifte die Abb. 2 an den vorgegebenen Strichen!
2.2. Welche Strukturen der Abb. 2 kannst Du in Abb. 1 wiederfinden?

Abb. 3: Fortpflanzung 1

3.1. Erkläre anhand der Abb. 3, wie sich Korallen fortpflanzen können!
3.2. Was versteht man unter „Fortpflanzung“, „Vermehrung“ und „Verbreitung“?

Quellen der Abb. 1 u. 3: Wells, S., Hanna, N.: Das Greenpeacebuch der Korallenriffe. Verlag C.H. Beck, München 1992.
Quelle d. Abb. 2: Storch, V., Welsch, U.: Systematische Zoologie. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1991

Arbeitsblatt 2

Abb. 1: Fortpflanzung 2

1.1. Wie heisst der Vorgang, durch den ein Korallenstock entsteht? Berichte!
1.2. Um welche Form der Fortpflanzung handelt es sich hier?

Abb. 2: Schnitt durch einen Korallenstock

2.1. Das Schema zeigt einen ausgestreckten Polypen und viele, die sich zurückgezogen haben. Wie unterscheidet sich dieses Bild von Abb.2/Arbeitsblatt 1? Erkläre die Unterschiede!
2.2. Lies den beigefügten Text aus GEO. Hältst Du das hier geschilderte Verfahren für eine gute Idee?

Abb. 3: Lebender Korallenstock

3. Papageifische beissen und nagen hauptsächlich an Korallenkelchen, um Algen abzuweiden, die auf dem Skelett leben oder sich dort hineingebohrt haben. Ein Korallenstock wie der hier gezeigte reicht vielleicht gerade, um einen kleinen Fisch satt zu machen. Begründe aus Abb. 2, warum das so ist!

Quellen:Abb. 1 u. 3: Wells, S., Hanna, N.: Das Greenpeacebuch der Korallenriffe. Verlag C.H. Beck, München 1992
Abb. 2: Storch, V., Welsch, U.: Systematische Zoologie. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1991

Arbeitsblatt 2 / Anlage

MEDIZIN

Knochenersatz vom Riff

aus GEO 12/93 (S. 175)

Der beste Ersatz für durch Verletzungen oder Tumoren geschädigte Knochen ist natürlich das eigene Gebein. Allerdings läßt sich an anderen Stellen des Knochengerüsts nicht immer genügend Material entnehmen, und bei *Transplantationen*[1] fremder Knochensubstanz drohen Abstoßungsreaktionen. Eine Alternative bietet jetzt die Entwicklung der Interpore International Company aus Irvine (Kalifornien): Material aus Korallen der Gattungen Porites und Genipora gegen das keine *Immunreaktionen*[2] zu beobachten sind. Um den Knochenersatz zu gewinnen werden die Kalkgehäuse der Meerestiere durch einen chemischen Prozeß zu *Hydroxiapatit*[3] umgewandelt - jener Verbindung, aus der auch echte Knochen überwiegend bestehen.

In seiner *porösen*[4] Mikrostruktur ähnelrt das Korallenmaterial verblüffend dem der Knochensubstanz. Passen die Chirurgen ein solches Stückchen in einen geschädigten Knochen, so wachsen bald Blutgefäße in die Hohlräume ein. Osteoblasten - knochenbildende Zellen - sieddeln sich an, die das fremde Material zumindest teilweise durch körpereigenes ersetzen. Einen Nachteil allerdings hat das bereits an mehreren Kliniken erprobte und bewährte Ersatzmaterial vom Riff: Es ist brüchiger als das Original und deshalb für stark belastete Knochen nicht zu verwenden.

(GEO zitiert aus: Leinfelder, R.: Jurassic Reef Park.
http://www.uni-stuttgart.de/UNIuser/igps/edu/JRP/JRP_deutsch6.html)

jetzt unter http://www.palaeo.de/edu/JRP erreichbar

---

[1] Einsetzen, Übertragen

[2] kompliziertes und für den Betroffenen gefährliches Geschehen, bei dem die fremde Substanz abgestoßen wird

[3] Kalk in etwas anderer, körpereigener Form

[4] mit Poren versehen

Arbeitsblatt 3a / Riffbildung

Abb. 1: Zooxanthellen (Pfeile) in einem Korallenpolypen.

Quelle: Schuhmacher, H.: Korallenriffe. BLV Verlagsgesellschaft mbH, 4. Aufl., München 1991, verändert

Abb. 2: Schema der Kalkbildung bei Steinkorallen. *Quelle: Schuhmacher, H.; a.a.O., verändert*

Abb. 3: Teilweise ausgeblichene Riffkoralle (Pfeil). Bei Stress durch Erwärmung stossen Korallen ihre Zooxanthellen aus. Da die Polypen bis zu 60% ihrer Nahrung von den Algen beziehen, kann dieser Effekt zum Tod der Korallen führen.

Quelle: Brown, B.E., Ogden, J.C.: Das Ausbleichen von Korallen. Spektrum der Wissenschaft, März 1993, S. 84 ff

Arbeitsblatt 3b/Riffbildung

Das Kohlendioxid-Gleichgewicht

$$2H_2O + 2CO_2 \rightarrow 2H^+ + 2HCO_3^-$$
$$Ca^{++} + 2HCO_3^- \rightarrow CaCO_3 + H_2O + CO_2$$

gesamt:	H_2O	+	CO_2	+	Ca^{++}	→	$CaCO_3$	+	$2H^+$
	↓		↓		↓		↓		↓
vereinfacht:	**Wasser**	**+**	**Kohlendioxid**	**+**	**gelöstes Kalzium**	**ergibt**	**Kalk**	**+**	**Säurebildner**

Kohlendioxidabnahme im Wasser:
- ➔ ausgetrieben durch hohe Temperaturen
- ➔ Verbrauch durch Algen-Fotosynthese
- ➔ Verbrauch durch Skelettbildung der Organismen

Das Kohlendioxid - bekannt nicht nur als Treibhausgas, das die Atmosphäre aufheizt, sondern auch als das Gas in den Bläschen von Limonade und Mineralwasser - ist auch im Meerwasser gelöst und wird aus der Atmosphäre dauernd "nachgeliefert". Es reagiert, wie man aus den Gleichungen oben sehen kann, mit Wassermolekülen; dabei entstehen Hydrogencarbonat-Teilchen und Wasserstoffionen. Das Hydrogencarbonat kann mit gelöstem Kalzium Kalk bilden, der als sehr schwer löslicher Stoff ausfällt und Millionen von Jahren als Kalkstein liegenbleiben kann. Diese Kalkbildung hält sich jedoch so lange in engen Grenzen, wie eine bestimmte Menge von Kohlendioxid, die sog. Gleichgewichtsmenge, nicht unterschritten wird. Nimmt die Gleichgewichtsmenge von Kohlendioxid aber ab, z, B. durch Fotosynthese oder Erwärmung des Wassers (je wärmer Wasser ist, desto schlechter lösen sich Gase darin), dann bildet das Hydrogencarbonat zusammen mit dem gelösten Kalzium Kalk.

Nachts, wenn keine Fotosynthese und damit auch kein Kohlendioxidverbrauch stattfinden kann, wird der Kohlendioxidgehalt des Meerwassers aus der Atmosphäre wieder aufgefüllt. Tagsüber kann dann wieder Fotosynthese ablaufen und der Korallenstock ein bisschen wachsen.

Aufgaben:

1.Gib das Pfeildiagramm in Abb. 2 mit eigenen Worten wieder!
2. " Die Zooxanthellen brauchen was zu essen - eigentlich kann es den Korallen nur recht sein, wenn wir die Atmosphäre mit Kohlendioxid anreichern!" - Nimm Stellung zu dieser Aussage! Beachte dabei auch die Abb. 3 mit den zugehörigen Angaben!
3. Begründe, warum Riffe dem Treibhauseffekt entgegenwirken können!

***Literatur**: Leinfelder, R.: Jurassic Reef Park . http:// www.uni-stuttgart.de /geologie/Jurassic_Reef_Park/*
Schmidt.,E.: Ökosystem See. Quelle & Meyer, 3. Aufl., Heidelberg, 1978

Jurassic Reef Park jetzt via http://www.palaeo.de/edu/JRP

Rarotonga (in Kombination mit DIERCKE Weltatlas, Westermann, Braunschweig 1992, S. 179)

Rarotonga: Luftaufnahme (© Pictorial Publications Ltd, Hastings, New Zealand)

Aufgaben:

1) Begründe die Wolkenbildung über der Insel!

2) Zeichne auf der Abb. den Hafen Ngatangiia ein!

3) Begründe die Lage der Häfen auf der Insel!

4) Welche der Feldfrüchte sind für den Export bestimmt, welche für den Eigenverbrauch?

5) Nenne einige Produkte aus dem Kokosanbau!

6) Warum gibt es so viele verlassene Farmen? (Vorsicht, Druckfehler: Farn=Farm!)

7) Auf Rarotonga gibt es eine kleine Konservenfabrik, etwas Textilindustrie (T-Shirts, Pareos) und Herstellung von Kosmetika.
   a) Woher kommen die Rohstoffe für diese Industrien?
   b) Mit welchen Problemen haben diese Industrien zu kämpfen? (Atlas)
   c) Welche Lösungsmöglichkeiten siehst Du für die angesprochenen Probleme, welche Alternativen gibt es?

Profil ***1 3****: 105-116, 27 Abb.; Stuttgart 1998*

Städte unter Wasser - Gibt es so etwas?

EIN BRIEF AN INTERESSIERTE SCHÜLERINNEN UND SCHÜLER VON
REINHOLD **LEINFELDER**, STUTTGART* UND ROBERT **GINSBURG**, MIAMI**

Liebe Schülerinnen und Schüler!

Städte unter Wasser - vielleicht denkt Ihr dabei an das sagenumwobene Atlantis, das im Wasser versunken sein soll und das keiner je gesehen hat. Dabei gibt es schon seit drei Milliarden Jahren Städte unter Wasser - die Riffe! Wenn Ihr ein bißchen Zeit habt, möchten wir Euch davon erzählen.

Wie sehen unsere Städte denn aus? Nun, sicherlich sind alle sehr unterschiedlich, aber vieles haben sie doch gemeinsam **(Bild 1)**: Die Menschen wohnen nicht mehr in vorgefundenen Behausungen, wie die Höhlenmenschen der Steinzeit, sondern in selbstgebauten, meist vielstöckigen Häusern. In Städten leben sehr viele Menschen, die Bevölkerungsdichte ist hoch und eine Stadt braucht viel Fläche. Viele Menschen kommen als Pendler auch nur zu bestimmten Zeiten in die Stadt, um ihre Arbeit zu verrichten. Das Leben spielt sich aber nicht nur in den Wohnungen und Büros, sondern auch in Schulen, Kindergärten, Theatern, auf Plätzen und in den Straßen ab. In einer Stadt muß es die unterschiedlichsten Geschäfte, Krankenhäuser, eine Müllabfuhr, ein Gartenbauamt, Wasserwerke und öffentliche Verkehrsmittel geben, was wir als Infrastruktur bezeichnen. Insgesamt gibt es also sehr viele unterschiedliche Berufe in einer Stadt, aber auch einen großen Wettbewerb untereinander. Tag und Nacht ist immer was los. Wenn die einen schlafen, arbeiten die anderen in Fabriken, auf dem Großmarkt, oder bei der Müllabfuhr. Und ganz besonders wichtig: eine Stadt verbraucht viel Energie, damit dies alles funktionieren kann.

---

* Prof. Dr. Reinhold Leinfelder, Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Stuttgart, Herdweg 51, D-70174 Stuttgart

** Prof. Dr. Robert N. Ginsburg, Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, University of Miami, RSMAS-MGG, 4600, Rickenbacker Causeway, Miami, FL, 33149, USA

Hinweis: Aus drucktechnischen Gründen sind die Abbildungen auf eigenen Tafeln zusammengefaßt. Der Text ist auch zum Selbststudium bzw. für Arbeitsgruppen gedacht. Für den Unterricht können die Abbildungshinweise im Text, die Abbildungserläuterung sowie die Abbildungsnumerierungen überklebt werden und die Abbildungen von den Schülern dem Text zugeordnet werden. Bitte beachten Sie auch die Angaben am Ende des Artikels.

neue Adresse von R. Leinfelder siehe Vorwort zur online-Auflage, Umschlaginnenseite

Die Korallenstadt und ihre Baumeister

Wollen wir dies doch einmal mit unseren heutigen Korallen-Unterwasserstädten, den Korallenriffen vergleichen.

Wenn wir uns unter Wasser einer Korallenstadt nähern **(Bild 2)**, sehen wir zuerst mal eine Skyline aus hochwachsenden, oft ganz unterschiedlichen Gebäuden, die von Organismen, den Korallentieren errichtet wurden. Die Korallengebäude stehen dicht an dicht; dennoch gibt es dazwischen eine Fülle von Gassen, Straßen, geschützten und ungeschützten Plätzen, in denen eine unvorstellbare Fülle von Tieren und Pflanzen lebt, die man allerdings nicht unbedingt immer gleich sieht.

Die wichtigsten Baumeister der Riffe sind die Steinkorallen. Die meist nur wenige Millimeter großen Tierchen fangen mit ihren Tentakeln **(Bild 3)** Kleinstlebewesen, das Plankton ein. Diese Form der Energiezufuhr genügt ihnen für ihre enormen Bauleistungen jedoch nicht, so daß sie noch zusätzlich mit Solarkollektoren zur Energiegewinnung aus Sonnenlicht versehen sind. Die kleinen Sonnenkraftwerke, die fast jede Riffkoralle hat, werden durch mikroskopische Algen gebildet. Die Algen leben als Untermieter im Körper der Korallen

---

Bild 1: In Calgary, einer Großstadt in Kanada, leben wie in allen Großstädten viele Menschen auf engem Raum zusammen. Dies ermöglichen insbesondere Hochhäuser.

Bild 2: Die Silhouette einer Korallenriffstadt: Große Korallengebäude stehen eng zusammen. Dazwischen gibt es viele Straßen und Plätze.

Bild 3: Der Süßwasserpolyp *Hydra* ist nur wenige Millimeter groß. Er gehört zu den Nesseltieren und ist ein Verwandter der Steinkorallen, besitzt aber kein Kalkskelett. Hydra zeigt den prinzipiell einfachen Aufbau der Nesseltiere: An einem nur an einem Ende offenen Gewebeschlauch sitzen Tentakeln, die mit Hilfe von Nesselkapseln Kleinstlebewesen (Plankton) fangen.

Bild 4: Links: Stark vergrößerte Wimper auf einer Korallententakel. Die kleinen Pünktchen sind in Lebensgemeinschaft mit den Steinkorallen lebende Algen; diese „Untermieter“ stellen die Sonnenkollektoren der Korallen dar. Diese Algen helfen der Koralle bei der Ernährung sowie beim Aufbau des Kalkskelettes, welches rechts zu sehen ist.

Bild 5: Riffkorallen sind meist koloniebildend, das heißt sie bilden große Korallengebäude, in denen, ähnlich wie in Hochhäusern, sehr viele einzelne Apartements und Wohnungen vorhanden sind.

Bild 6: Die Korallen sind einfallsreiche Baumeister. Verschiedenste Formen von Korallengebäuden, die oft viele Hunderte von Jahren alt werden können, kommen zusammen vor. Das kugelförmige Gebäude wurde von einer Hirnkoralle errichtet.

Bild 7: Korallengebäude werden schnell von anderen Organismen besiedelt. Besonders gerne wachsen Weichalgen auf den Korallen. Diese stellen die Nahrung für pflanzenfressende Fische dar und locken damit Fische an.

Bild 8: Pflanzenfressende (herbivore) Fische ziehen ihrerseits wieder räuberische (karnivore) Fische an.

1

2

3

Innere Pflanzen ernähren die Korallen
4

5

6

Stein-
korallen
Weich-
algen
7

karnivor
herbivor
8

(Bild 4) und machen aus Wasser, Kohlendioxid und Sonnenenergie wertvolle Nährstoffe, wie z. B. verschiedene Zucker; wir nennen das Photosynthese. Das Kohlendioxid für die Photosynthese ist zum Teil aus der Atmosphäre ins Wasser gelangt, stammt aber auch aus der Atmung der Korallenpolypen. Außerdem bekommen die Algen von der Koralle deren Abfallprodukte, wie Nitrate und Phosphate. Diese muß die Koralle loswerden, für die Alge dagegen sind sie dringend benötigter Dünger. Dafür müssen die Untermieter allerdings einen Mietpreis zahlen; sie müssen von den mit Solarenergie erzeugten Zuckerstoffen gewaltige Mengen an die Koralle abgeben, die sich davon fast ausschließlich ernährt und mit dieser guten Energieversorgung auch ihr Korallenskelett, also ihr eigenes Wohngebäude aus Kalk aufbauen kann. Dazu tragen die Algen auch anders bei: Sie sorgen mit ihrer Photosynthese dafür, da§ im Wasser nie so viel Kohlendioxid ist, daß sich größere Mengen von Kohlensäure bilden können, die den Korallenkalk wieder auflösen würde. Eine derartig innige Lebensgemeinschaft zum gegenseitigen Nutzen nennt man Symbiose.

Äußerst große Korallengebäude kommen so zustande **(Bilder 5 und 6)**. Wie in einem Hochhaus wohnen in Bild 5 die Korallentiere mit ihren Algenuntermietern in Hunderten und Tausenden von kleinen Wohnungen. Korallentiere errichten die verschiedensten Gebäudeformen, wie auf Bild 6 zu sehen ist; viele Gebäude werden Hunderte von Jahren benutzt, bis alle Bewohner gestorben sind und das Gebäude recycelt wird (siehe unten).

Die "Berufe" in der Korallenstadt

Lebensmittelhändler, Gärtner, Gartenbauamt, Ärzte und vieles mehr .....

Stehen erst einmal einige Gebäude einer Korallen-Neubaustadt, kommen sofort andere Bewohner und Besucher, die in der Stadt Wohnraum und Auskommen finden wollen. Als erstes tauchen Weichalgen auf, die gerne auf den harten Außenfassaden der Korallengebäude aufwachsen. Das wiederum zieht pflanzenfressende Fische an, die die Algen abweiden **(Bild 7)**. Räuberische Fische werden von den vielen planzenfressenden Fischen angelockt **(Bild 8)**; kleinere Räuber ziehen wieder größere an, so daß eine komplizierte Nahrungskette entsteht. Viele Fischarten, so z.B. viele Haie oder die Barrakudas, leben nicht dauernd im Riff, sondern kommen als Pendler an, um sich in der Riffstadt zu ernähren.

Allerdings können sich gejagte Fische in den vielen engen Gassen und Winkel in der Riffstadt recht gut verstecken. Raubfische lassen sich deshalb manchmal einiges einfallen. Der Trompetenfisch **(Bild 9)** ist durch seine Form hervorragend getarnt; er ist von den Hornkorallen, in denen er lebt, kaum wegzukennen. Er lauert still, bis eine ahnunglose Beute vorbeischwimmt, um dann blitzschnell zuzuschlagen. Der Rotfeuerfisch **(Bild 10)** jagt im Verband; mehrere Tiere treiben mit ihren aufgestellten, giftigen Stacheln Beutefische in größere Höhlen, wo sie erlegt werden.

Der große Raubfisch in **Bild 11**, ein Riffbarsch, will den kleinen Fisch in seinem Maul aber nicht schlucken. Der Riffbarsch ist nämlich gerade beim Zahnarzt. Im Riff gibt es richtige Zahnarztpraxen, bei denen die großen Fische geduldig und in einer Schlange warten, bis sie drankommen. Der Zahnarzt ist ein Putzerfisch, der den

großen Fischen Essensreste und schädliche Parasiten zwischen den Zähnen herauspickt. Ohne dies würden die großen Fische an Mundinfektionen erkranken.

In einer Stadt braucht man zwar Grünflächen, wie Parks und Grünstreifen; diese müssen aber regelmäßig gemäht werden, damit das Gras nicht den Verkehr behindert und Wege überwuchert. Im Riff ist das Rasenmähen sogar ganz besonders wichtig. Die Arbeiter des Gartenbauamts einer Riffstadt sind die pflanzenfressenden Fische, viele Seeigel **(Bild 12)** und viele Schnecken. Würden die Algen nicht kurzgehalten, könnten sie sogar die ganze Riffstadt überwuchern und alles andere Leben in der Stadt zum Absterben bringen. Die Papageifische, wie wir auf **Bild 13** links einen sehen, scheinen fast übertrieben gründlich vorzugehen: sie schaben mit ihrem kräftigen Gebiß sogar die Außenschicht der Korallengebäude ab. Sie haben es nämlich auch auf Algen abgesehen, die die Wände der Korallengebäude angebohrt haben und darin leben. Durch das Abnagen der Papageifische gibt es aber immer wieder ganz neue, gut planierte Grundstücke, auf denen sich schnell eine Korallenlarve niederläßt, um ein neues Gebäude zu bauen. Die Korallenlarven können sich auf „Algenrasenflächen“ nicht festsetzen sondern brauchen ein hartes Fundament. Durch die Papageifische gibt es also immer wieder eine Chance auch für die Jungen in der Stadt, ein neues Gebäude zu errichten.

Papageifische sind nur aktiv, wenn sie Hunger haben; zur Nacht ziehen sie sich in ihre Pensionen, also in die Zwischenräume zwischen den Korallenstöcken zurück. Scheinbar riechen sie streng nach Fisch: damit sie im Schlaf nicht von Feinden erschnuppert werden, kleiden sie sich in einen Schlafrock aus Schleim, den sie selbst herstellen **(Bild 14)**. Fische schlafen übrigens mit offenen Augen, sie haben keine Augenlider.

Andere Fische, wie die Damselfische auf **Bild 15**, sind aber richtige Kleingärtner und züchten sich ihre Algen selbst. Sie bewachen und verteidigen ihre Gärten sehr energisch vor anderen Algenfressern, genauso wie sich ein Kleingärnter seine selbstgezüchteten Tomaten auch nicht stehlen lassen will. Zu viele dieser Kleingärten verträgt eine Riffstadt aber auch nicht - oder wollt Ihr statt eines kurzgemähten Sportplatzes nur lauter Kleingärten haben? Deshalb sind auch Feinde für die Gärtnerfische notwendig, damit sie nicht das ganze Riff mit ihren Kleingärten überziehen und anderen keine Chance auf unterschiedliche Nutzung lassen.

Einen kleinen und daher unvollständigen Einblick in die Vielfalt der Riffbewohner gibt Dir die Zeichnung am Ende dieses Briefs **(Bild 27)**

Recycling - auch hier gibt es wichtige Berufe

In einer Stadt fällt ganz schön viel Abfall an; die Müllabfuhr hat viel Arbeit, die Müllberge im Umland wachsen (und stinken) oft zum Himmel. Auch in unserer Korallenstadt kommt so manches an Abfall auf den Straßen und Plätzen an: Tierleichen, abgestorbene Algen und Tangteile, Fischschuppen, Fleischreste aus Kämpfen und so weiter. Fleißige Riffmüllmänner, zu denen vor allem viele Krabben und Krebse, aber auch Seegurken gehören, fressen diesen Abfall und verwerten ihn somit sinnvoll. Was dann noch übrigbleibt oder von den Müllwerkern selbst wieder abgegeben wird, wird von Bakterien zu Nährsalzen zersetzt, die wieder den Kleinstlebewesen oder

den Weichalgen zugute kommen. Ist das nicht eine optimale Nutzung und Wiederverwertung der Abfallstoffe unserer Riffstadt? Der Einsiedlerkrebs **(Bild 16)** versteckt sein weiches Hinterende in leeren Schneckengehäusen (die man deshalb nicht wegsammeln darf). Um sich noch besser vor Feinden zu schützen, pflanzt er sich oft zusätzlich eine stark nesselnde Seeanemone aufs Gehäuse. Diese läßt sich das gerne gefallen, wird sie so doch herumgetragen und kann damit an verschiedensten Plätzen ihre Nahrung fangen.

Aber nicht nur den Boden müssen unsere Müllabfuhr und unsere Straßenkehrer im Riff sauberhalten, auch das Wasser muß sauber bleiben. Die Untermieter unserer Korallen benötigen ja klares Wasser, damit die Sonnenkraftwerke funktionieren; das gleiche gilt für die Weichalgen, die ihrerseits die Nahrungsgrundlage für viele andere sind. Schwämme pumpen jeden Tag ein Vieltausendfaches ihres eigenen Körpervolumens durch sich hindurch und filtrieren feinste, oft nur bakteriengroße Partikel heraus, von denen sie sich ernähren. Sie stellen die Wasseraufbereitungsanlagen unserer Riffstädte dar **(Bild 17)**. Viele andere Tiere wie die meisten Muscheln, viele Würmer oder Haarsterne helfen ihnen dabei. Auf **Bild 18** sieht man in der

---

Bild 9: Der Trompetenfisch ist ein Räuber, der regungslos zwischen Hornkorallen auf Beute lauert und dann blitzschnell zuschlägt. Durch seine Form ist er sehr gut getarnt.

Bild 10: Der Rotfeuerfisch ist giftig. Er zieht in Gruppen auf Beutefang.

Bild 11: Der Korallenbarsch ist ebenfalls ein Raubfisch. Allerdings läßt er sich hier gerade von einem Putzerfisch sein Maul von Parasiten und Nahrungsresten säubern.

Bild 12, 13: Ähnlich wie Parks und Wiesen gemäht oder abgeweidet werden müssen, müssen auch die Weichalgen-“Rasen“ im Riff von algenabweidenden Tieren wie Seeigeln, Schnecken und Fischen kurzgehalten werden. Diademseeigel sind auf Bild 12, ein Papageienfisch auf Bild 13 zu sehen.

Bild 14: Der Papageifisch hat besonders harte Zähne, mit denen er die Weichkorallen auf Korallen abschabt und auch ganze Stücke abbeißt, wodurch er harte Flächen schafft. Diese können von Korallenlarven gut besiedelt werden. Manche Arten dieser tagaktiven Fische umgeben sich nachts mit selbstproduziertem Schleim zur Geruchstarnung.

Bild 15: Damselfische züchten sich Weichalgenflächen, die sie vor anderen vehement verteidigen. Mann kann sie mit Kleingärtnern vergleichen, die ihre eigenen Vorräte produzieren.

Bild 16: Der Einsiedlerkrebs ernährt sich insbesondere von organischen Resten und gehört damit zur Müllabfuhr im Riff. Sein Hinterende wird durch ein leeres Schneckengehäuse geschützt; als weiteren Schutz hat er sich eine nesselnde Seeanemone auf das Gehäuse gepflanzt.

Bild 17: Schwämme sind die wichtigsten Wasserreiniger im Riff. Sie pumpen Wasser durch sich hindurch und ernähren sich dabei von mikroskopisch kleinen organischen Partikeln, wie zum Beispiel Bakterien, die sie aus dem Wasser herausfiltern.

Bild 18: Viele weitere Rifforganismen ernähren sich ebenfalls von organischen Schwebstoffen und Kleinstlebewesen in der Wassersäule. Auf dem Bild sieht man eine filtrierende Muschel (Mitte) sowie die weihnachtsbaumartigen Filterkränze von Röhrenwürmern, die sich in eine Korallenkolonie einwachsen ließen.

9

10

11

12

13

14

Gärtnerfische

15

16

Schwämme filtern Wasser

17

18

Hurrikan Andrew
August 1992
19

Schäden durch
Hurrikan Andrew
20

21

Bioerosion
22

23

Symbolisierte
Riffstruktur
Korallenblöcke
Kalkalgen-
Zement
Füllung
aus
Skelettsand
24

Keine Riffruinen
25

Ihre Gesundheit - unser Wohlstand
26

Mitte eine filtrierende Muschel, die sich in einen Korallenstock einwachsen ließ. Die Weihnachtsbäumchen sind die Filterkränze von Würmern, die ebenfalls Nahrungspartikelchen aus dem Wasser herausfischen und so das Wasser klar halten.

Abriß und Wiederaufbau - noch mehr Jobs

Städte sind vor Naturkatastrophen nicht vollständig geschützt: Stürme können Dächer abdecken oder gar ganze, vor allem alte Gebäude zerstören **(Bild 19)**. Dies passiert auch in unserer Riffstadt ab und zu. **Bild 20** zeigt ein Riff nach einem tropischen Wirbelsturm. Viele Korallengebäude liegen zerbrochen herum.

Alte Gebäude, die nicht mehr bewohnbar sind, muß man in einer Stadt aber sowieso einreißen **(Bild 21)**; zuviel Fläche würde ungenutzt bleiben, würde man sie einfach stehen lassen. Auch in Riffstädten passiert das gleiche. Nachdem die Bewohner, oftmals erst nach Hunderten oder Tausend Jahren gestorben sind, stehen einzelne unbewohnte Korallengebäude als Ruinen ungenutzt herum. Allerdings nicht lange: die Handwerker des städtischen Abbruchunternehmens kommen und zerlegen das alte Korallenhaus in handlichen Korallensand und größere Stücke **(Bild 22)**. Was sind das für Arbeiter? Viele Seeigel gehören dazu, aber es gibt auch bohrende Algen, bohrende Würmer, bohrende Schwämme, bohrende Muscheln und viele weitere. Recht rasch ist dann das alte Gebäude zerlegt. Diesen Vorgang nennen die Riffwissenschaftler Bioerosion.

Was tun mit dem ganzen Bauschutt, der durch Abbruch entstanden ist? Was tun mit den zerbrochenen Wandstücken und eingestürzten Häusern, die der tropische Wirbelsturm hinterlassen hat? Die Menschen würden wieder riesige, unschöne Halden anlegen; die Riffbewohner sind schlauer und verwenden das alte Material

Bild 19, 20: Wirbelstürme können Menschenstädte und Riffstädte teilweise oder vollständig zerstören. In beiden Fällen werden die Städte in der Regel jedoch wieder rasch aufgebaut.

Bild 21: Alte Gebäude müssen in einer Stadt immer wieder abgerissen werden. Dabei fällt viel Bauschutt an.

Bild 22: Alte, nicht mehr bewohnte Korallengebäude werden ebenfalls durch die Riff-organismen abgerissen. Links sind intakte, lebende Korallen zu sehen. Rechts ist ein abgestorbener Korallenstock bereits weit abgetragen: bohrende Organismen zerbohren das Korallenskelett zu sand- und blockgroßem Lockermaterial (Bioerosion). Der Pfeil deutet auf Seeigel, die sich ebenfalls am Abtrag beteiligen können.

Bild 23, 24: Das durch Wellen, Stürme und Bioerosion im Riff anfallende Lockermaterial wird gleich wieder als Baumaterial verwendet. Dazu muß es durch krustenförmig wachsende Kalkalgen zementiert werden. Bild 24 zeigt krustenförmige Kalkrotalgen, eine der wichtigsten Zementierer im Riff.

Bild 25, 26: Genauso wie wir Menschen nicht in Ruinenstädten leben können, können dies die Rifforganismen nicht in Riffruinen. Riffe sind für den Menschen sehr wichtig, sie geben uns Nahrung, Schutz, medizinische Substanzen und sind für das Klima von Bedeutung. Leider zerstört der Mensch durch falsches Verhalten jedoch auch viele Riffe. Wir müssen Riffe deshalb schützen, da die Gesundheit der Riffe auch zum Wohlstand von uns Menschen beiträgt.

weiter: Grobes und feines Lockermaterial wird zusammengekittet und dadurch zu einem tragbaren Fundament neuer Korallengebäude umgestaltet. Die Mörtelmeister und Zementierer sind hierbei vor allem die Kalkrotalgen, wie sie in **Bild 23** abgebildet sind. Mit ihrem dichten, krustenartigen Kalkskelett überwachsen sie auch lockeres Material und bauen somit ein festes Fundament **(Bild 24)**. Auch von innen heraus sind in den kleinsten Rifflücken Zementierer am Werk. Es sind Mikroben, d.h. Blaualgen und Bakterien, die Mikrobenschleime fabrizieren. Diese Schleime verkalken sehr leicht. Das gleiche passiert übrigens bei der Bildung von Zahnstein. Diese Mikroben gibt es schon seit mehr als 3 Milliarden Jahren. Ganz am Anfang der Geschichte der Erde bauten sie ganz alleine Riffe auf und verhalfen der Erde durch Photosynthese überhaupt erst einmal zum lebenswichtigen Sauerstoff. Erst seit etwa 500 Millionen Jahren gibt es Korallen und Korallenriffe. Aber auch in unseren heutigen Korallenriffen sind diese Mikroben mit vielen anderen zusammen noch wichtige Baumeister im Riff.

Sind unsere Unterwasserstädte nicht faszinierend? Sie funktionieren besser als unsere heutigen Städte. Die Gebäude haben alle Solaranlagen, keine Energie wird verschwendet, Abfall und Baustoffe werden wiederverwertet, und - vielleicht das Beeindruckendste - keiner der Riffstadtbewohner ist ohne Arbeit; jeder wird gebraucht.

Wir und die Riffstädte

Auch wenn man sie nicht so ohne weiteres besuchen kann, sind unsere Korallenriffstädte für uns alle sehr wichtig: Korallenriffe schützen viele Küsten der Welt vor starken Wellen; sie ernähren durch ihre Fische und anderen Tiere viele Hunderte von Millionen Menschen auf der Welt, sie ziehen Touristen an, woran die Bewohner tropischer Länder ihren Lebensunterhalt verdienen, sie produzieren viele wichtige Stoffe für Medikamente, und sie tragen sogar zur Stabilität unseres Klimas bei. Leider erleiden die Korallenriffe durch Umweltverschmutzung, durch falsche Fischfangmethoden, durch Massentourismus und durch den Treibhauseffekt viele bedrohliche Schädigungen, so daß sie vom Aussterben bedroht sind. In einer Ruinenstadt kann man nicht leben; wir müssen alle dazu beitragen, daß unsere Riffstädte keine Ruinenstädte werden **(Bild 25)**. Denn die Gesundheit der Riffe trägt auch zur Gesundheit und zum Wohlstand von uns allen bei **(Bild 26)**.

Also, wenn Ihr mal Riffstadt besucht, bitte vorsichtig sein - aber das brauchen wir Euch ja nicht mehr zu sagen. Vielleicht fallen Euch ja noch ein paar Sachen mehr ein, wie Ihr den Riffen helfen könnt - sprecht doch mal mit Euren Lehrerinnen und Lehrern!

Tschüs

Euer Reinhold und Bob

Bild 27: Ein vereinfachtes Beispiel für die verschiedenen Ernährungsweisen im Korallenstock (nach GERLACH, 1994 aus KÜHLMANN 1994, verändert).

I: Korallenesser[1]: 1 Igelfisch *(Diodon)*, 2 Papageifisch *(Callyodon)*

II: Planktonverzehrer: 3 Haarstern *(Comatula),* 4 Preußenfisch *(Dascyllus)*, 5 Funkenfisch *(Anthias)*, 6 Bohrschnecke *(Leptoconcha),* 7 Bohrschwamm *(Cliona)*, 8 Bohrmuschel *(Lithodomus)*, 9 Bohrkrebs *(Cryptochirus)*, 10 Rankenfüßer *(Pyrgoma),* 11 Röhrenwurm *(Serpula),* 12 Manteltiere *(Botryllus),* 13 Moostierchen (Bryozoa), 14 Gespensterkrebs *(Caprella),* 15 Lederkoralle *(Lobophytum),* 16 Seeanemone (Actinia), 17 Schwämme (Demospongiae), 16 Riesenmuschel *(Tridacna)*

III: Kleintier- und Detritusesser: 19 Grundel (Gobiidae), 20 Korallenkrabbe *(Trapezia),* 21 Falterfisch *(Chaetodon),* 22 Pinzettfisch *(Chelmon)*, 23 Knallkrebs *(Alpheus),* 24 Dornenwange *(Caracanthus),* 25 Borstenwurm (Nereidae), 26 Schlangenstern (Ophiuroidea), 27 Seegurke *(Cucumaria),*

IV: Algengraser: 28 Schnecke (Gastropoda), 29 Seigel *(Echinometra)*

V: Räuber: 30 Flohkrebs (Amphipoda), 31 Kegelschnecke *(Conus),* 32 Kissenseestern *(Pentaceraster),* 33 Plattwurm (Polycladida), 24 Nacktkiemer (Nudibranchia), 35 Muräne *(Gymnothorax),* 36 Zackenbarsch *(Epinephelus).*

---

[1] Viele sogenannte Korallenesser, wie der Papageifisch beißen und nagen zwar Korallenskelette ab, sind dabei aber insbesondere auf die Bohralgen aus, die sich ins Korallenskelett gebohrt haben. Deshalb fressen sie bevorzugt die Skelette toter Korallen, da sich darin besonders viele Bohralgen befinden.

Dank und Copyright:

Dieser Text basiert auf Vorträgen zum Thema ‘Riffe - Städte unter Wasser’, welche die Autoren anläßlich des Internationalen Jahr des Riffes (IYOR) 1997 vielfach gehalten haben. Ein Diasatz mit vielen der hier verwendeten sowie weiteren Dias von Robert Ginsburg ist ebenfalls erhältlich (siehe Teil 3 des Arbeitsheftes: Ressourcen).

Fotonachweis: Bitte beachten Sie, daß für diesen Beitrag verschiedene, bereits durch Fremd-Copyright geschützte Abbildungen mit Genehmigung verwendet wurden. Die Weiterverwendung der Abbildungen (auch der begleitenden Internet-Farbabbildungen) ist nur zu nichtkommerziellen Lehrzwecken gestattet. Abbildungsquellen:

© Brümmer: 3, 18.
© Ginsburg: 4-8, 12, 13, 15, 17, 19, 20, 22, 24-26.
© Leinfelder: 1, 2, 10, 21.
© R.W. Müller: 23
© Wells/Hanna: 9, 11, 14, 16.

Die Autoren danken insbesondere

Franz Brümmer und Ralph-Walter Müller, Stuttgart, für die Überlassung von Dias,

Susan Wells und Nick Hanna für die Verwendungsgenehmigung von Abbildungen, die auch in ihrem Buch „Das Greenpeace-Buch der Korallenriffe“ (siehe Ressourcen) Verwendung fanden, sowie

Christa Maaßen, Elsa-Brändström-Gymnasium Oberhausen, für kritische Durchsicht und Anregungen zu diesem Beitrag.

TEIL 3: RESSOURCEN UND INFOTEXTE

Profil ***1 3****: 117-120; Stuttgart 1998*

Besuchenswerte fossile Riffe

MARTIN **NOSE**, *STUTTGART**, *WINFRIED* **WERNER**, *MÜNCHEN*** &
GÜNTER **SCHWEIGERT**, *STUTTGART****

RHEINISCHES SCHIEFERGEBIRGE (STROMATOPOREN-KORALLEN-RIFFE DER DEVON-ZEIT)

Rechtsrheinisches Schiefergebirge; Mittlere Lahnmulde, Gegend von Weilburg/Lahn:

Stillgelegter Steinbruch "Jörissen" 1 km NW' Wirbelau

Lage: Straße von Runkel nach Weilburg (L 3020) bis Abzwg. Wirbelau. Hier nach Westen, Richtung Schupbach und nächste Abzwg. nach Norden, nach ca. 300 m erreicht man das Steinbruchgelände. Topographische Karte (TK 25), Blatt 5515 Weilburg.

Hier ist an bis zu 10 m Meter hohen gesägten Wänden eine hervorragende Einsicht in die Vorriff-Ablagerungen eines Riffkomplexes ("Wirbelauer-Riff") aus der tieferen Oberdevon-Zeit möglich. Das "Wirbelauer-Riff" wuchs auf einer untermeerischen vulkanischen Schwelle innerhalb eines NE-SW gerichteten tiefen Beckens ("variszischer Trog") bzw. eines küstenfernen tropischen Meeres. Die sehr grobkörnigen Kalksteine können als Schuttfahnen im Vorfeld des eigentlichen Riffkomplexes angesehen werden. In einigen Bereichen ist die ursprüngliche steile Hangneigung von 30 bis 35° zu erkennen.

Die Kalksteine beinhalten ein weites Spektrum von transportierten und umgelagerten Rifforganismen wie zum Beispiel Korallen (v.a. Tabulate: Alveolites, Thamnopora), Schwämmen ("Stromatoporen"), Seelilien (Krinoiden) und "Armfüßern" (Brachiopoden).

Bemerkenswert sind auch die sehr dicken fibrösen, lagig erscheinenden "Mineraltapeten" (Karbonatzemente), die sich in den ursprünglichen Hohlräumen zwischen den Rifforganismen auf anorganischem Wege abgeschieden haben.

Der Abbau des Kalksteins aus dem Lahntal ("Lahnmarmor") läßt sich bis zum Anfang des 17. Jahrhunderts zurückverfolgen. Als Bau- und Ornamentstein fand der Lahnmarmor weltweite Bedeutung. "Lahnmarmore" wurden nach Übersee bis New York vertrieben, wo sie z.B. beim Bau des "Empire State Buildings" Verwendung fanden. Unter Verwendung von Seilsägen wurden große Blöcke aus dem anstehenden Gestein herausgesägt. Heute ist der Abbau vollständig eingestellt. Dieser Abbaumethode sind die heute für Geologen und andere Interessierte so phantastischen Einblicke in die Welt der Devon-Riffe zu verdanken.

Literatur

KREBS, W. (1971): Devonian reef limestones in the Eastern Rhenish Schiefergebirge.- In: MÜLLER, G. (ed.): Sedimentology of parts of central Europe.- Guidebook, VIII Int. Sediment. Congress, Heidelberg.

OETKEN, S. & ZANKL, H. (1993): Mittel- Oberdevonische Karbonate des zentralen und vorgelagerten Riffbereiches in der mittleren Lahnmulde.- In: AMLER, R.W. & TIETZE, K.-W.: Exkursionsführer zum 8. Sedimentologen-Treffen a.d. Philipps-Universität Marburg/Lahn.- 3-17; Marburg.

* Dr. Martin Nose, Institut für Geologie und Paläontologie, Herdweg 51, 70174 Stuttgart, Fax: 0711 121134
** Dr. Winfried Werner, Bayerische Staatssammlung für historische Geologie und Paläontologie, Richard Wagner Str. 10, 80333 München, Fax: 089 5203276
*** Dr. Günter Schweigert, Staatliches Museum für Naturkunde Stuttgart, Rosenstein 1, 70191 Stuttgart, Fax: 0711 8936100

neue Adresse von M. Nose: Bayerische Staatssammlung für Paläontologie und Geologie,
Richard-Wagner-Str. 10,
80333 München,
email: m.nose@lrz.uni-muenchen.de

Stillgelegter Steinbruch der Fa. Dickerhoff & Neumann, 500 m NW' von Villmar

Lage: am W' Lahnufer am NW-Rand von Villmar, von Villmar-Zentrum über die alte Lahnbrücke zum Bahnhof. Oberhalb des Bahnhofs stillgelegtes Steinbruchgelände. Im südlichsten Teil Kleingartensiedlung mit dahinterliegenden Aufschlüssen. Topographische Karte (TK 25), Blatt 5615 Villmar.

Dieses inaktive große Steinbruchgelände bietet einen phantastischen Einblick (gesägte Steinbruchwände) in die Struktur eines Riffkernes aus der Mitteldevon-Zeit ("Villmarer-Riff"). Dieses Riff ist ähnlich dem "Wirbelauer-Riff" auf einer submarinen vulkanoklastischen ("Schalstein")-Schwelle in einem tropischen Meer fernab von ausgedehnten Festlandsbereichen entstanden. Anders als im Wirbelauer Steinbruch sind hier die Rifforganismen, v.a. Schwämme ("Stromatoporen") häufig in ihrer ursprünglichen Lebensposition und i.d.R. als vollständige Individuen erhalten. Zwischen den bis zu 1 m großen "Stromatoporen" finden sich umgelagerte Organismenreste von "Stromatoporen", Seelilien und Korallen. Die "Stromatoporen" zeigen in Anpassung an verschiedene Umweltbedingungen (z.B. höherer Eintrag von Schlamm und Schutt) unterschiedliche Wuchsformen.

Hinweis: Bei Besuch des Wirbelauer- und Villmarer-Steinbruches empfiehlt sich die Mitnahme einer Wasserflasche um die gesägten Wände zu befeuchten (Organismen und Strukturen kommen wesentlich besser heraus !)

Literatur:

KÖNIGSHOF, P., GEWEHR, B., KORNDER, L., WEHRMANN, A., BRAUN, R. & ZANKL, H. (1991): Stromatoporen-Morphotypen aus einem zentralen Riffbereich (Mitteldevon) in der südwestlichen Lahnmulde.- Geologica et Palaeontologica, 25:19-35; Marburg.

OETKEN, S. & ZANKL, H. (1993): Mittel- Oberdevonische Karbonate des zentralen und vorgelagerten Riffbereiches in der mittleren Lahnmulde.- In: AMLER, R.W. & TIETZE, K.-W., Exkursionsführer zum 8. Sedimentologen-Treffen a.d. Philipps-Universität Marburg/Lahn.- 3-17; Marburg.

Linksrheinisches Schiefergebirge; Eifel

Stillgelegter Steinbruch ("Zisterzienser-Steinbruch") in der Hillesheimer Mulde zwischen Kerpen und Niederehe

Lage: Landesstraße 10 von Hillesheim über Berndorf nach Kerpen. Hier Kreisstraße 59 nach Niederehe, nach ca. 1 km stillgelegtes Steinbruchgelände links der Straße. Topographische Karte (TK 25), Blatt 5606 Üxheim. Betreten des Geländes mit Rücksprache der Verbandsgemeinde Hillesheim (Ortspolizeibehörde) möglich.

In diesem Steinbruch ist ein Ausschnitt aus den Mitteldevon-Schichten (390-376 Mill. Jahren) der Eifel zu sehen. Die Ablagerungen umfassen zum Teil Riffgesteine (i.w. aus "Stromatoporen"), aber auch Schuttkalke aus den Resten von "Armfüßern" (Brachiopoden). Anders als im Lahntal (siehe oben) handelt es sich hier um Bildungen in einem tropischen Flach- bzw. Schelfmeer, daß einem im Norden befindlichen Festland ("Alter Roter Kontinent") vorgelagert war. Die häufigsten Organismen, die im Gestein zu finden sind, sind neben "Stromatoporen", Korallen (Tabulate: *Alveolites*), Brachiopoden und Seelilien (Krinoiden). Die "Stromatoporen" bilden einzelne Riffkörper und besitzen unterschiedliche Wuchsformen (dünnästig bis massiv, kugelig). Die großen Blöcke vor dem Steinbruch bieten einen guten Überblick über die "Stromatoporen"-Fauna und -Formenvielfalt. Die Schalenreste der Brachiopoden sind in Form eines Brachiopoden-Schillkalkstein-Horizontes (*amygdala*-Horizont) anzutreffen, der eventuell die ehemalige Küste des Mitteldevon-Meeres nachzeichnet und in der Eifel eine weite Verbreitung hat.

Der Steinbruch ist Teil des *Geo-Pfades* der Verbandsgemeinde Hillesheim. Der *Geo-Pfad* erschließt auf einer Länge von 125 km 30 besonders interessante Aufschlüsse, die neben den Devon-Riffen auch Einblicke in die Geologie der Eifeler Vulkankegel und Maare als auch der Buntsandstein-Zeit bieten. Darüber hinaus erhält man einen anschaulichen Überblick über die Geschichte des Bergbaues in der Eifelregion.

Literatur:

BIRENHEIDE, R., COEN-AUBERT, M., LÜTTE, B.-P. & TOURNEUR, F. (1991): Devonian coral bearing strata of the Eifel hills and the Ardenne.- VI. Intern. Symp. Fossil Cnidaria, Excursion - Guidebook, Exc. B 1, 113 S.; Münster.

ESCHGHI, I., KASIG, W. & LASCHET, CH. (1989): Begleitbuch zum GEO-PFAD der Verbandsgemeinde Hillesheim.- 126 S.; Hillesheim.

Stillgelegter "Operich"-Steinbruch, 500 m W' Büdesheim

Lage: an der Bundesstraße 410 westlich von Büdesheim am Fuß des SW-Hanges des Naubergs, Topographische Karte (TK 25), Blatt 5705 Gerolstein.

Dieser etwas versteckt liegende Steinbruch erschließt eine Kalkstein-Folge aus der jüngsten Mitteldevon- und älteren Oberdevon-Zeit. Es handelt sich hier weitgehend um gelbe dolomitische Kalksteine (Dolomit: $MgCa(CO_3)_2$), die z.T. sehr schöne Riffstrukturen beinhalten (u.a. "Jux-Riff"; benannt nach einem Kölner Geologie-Professor, der dieses Riff als erster beschrieben hat). Neben den Riffen, die i.w. aus lagigen oder kugeligen "Stromatoporen" aufgebaut sind und im Aufschluß durch ihre knollige, ungeschichtete Struktur auffallen, existieren im mittleren Teil der Abfolge, innerhalb von gut geschichteten dolomitischen Kalken, auch "Riffrasen", die zur Gänze aus dünnästigen "Stromatoporen" aufgebaut sind ("Spaghetti-Kalke"). Derartige "Stromatoporen-Rasen" zeigen i. allg. ein seichtes, eingeschränkt marines Rückriff-Milieu an.

Literatur:

JUX, U. (1960): Die devonischen Riffe im Rheinischen Schiefergebirge.- N. Jb. Geol. Paläont. Abh., **110** (2): 186-258; Stuttgart.

BIRENHEIDE, R. (1990): Untersuchungen an rugosen Korallen aus dem Bereich der Mittel-Devon/Ober-Devon-Grenze des Rheinischen Schiefergebirges.- Senckenbergiana lethaea, **70** (4/6): 259-295; Frankfurt/Main.

BIRENHEIDE, R. COEN-AUBERT, M. LÜTTE, B.-P. & TOURNEUR, F. (1991): Devonian coral bearing strata of the Eifel hills and the Ardenne.- VI. Intern. Symp. Fossil Cnidaria, Excursion - Guidebook, Exc. B 1, 113 S.; Münster.

SÜDDEUTSCHLAND (SCHWAMM- UND KORALLENRIFFE DER JURA-ZEIT)

Stillgelegter Steinbruch der Fa. Heitmann ("Korallenbruch") im Blautal, SW' von Arnegg, mittlere Schwäbische Alb

Lage: 1 km SW' von Arnegg im Arnegger Tal, am W' Talhang. Topographische Karte (TK 25), Blatt 7525 Ulm-Nordwest. Der Zutritt zum Steinbruch ist in Absprache mit dem Ortsvorsteher in Arnegg, Herrn Strobel (Tel.: 07304/6616), möglich.

In diesem Steinbruch ist ein Korallenriff der Schwäbischen Alb zu sehen. Die meisten fossilen Korallenriffe im Oberjura und auch die der Schwäbischen Alb bestehen nur aus einer Ansammlung von Riffschuttmaterial ("Schutthaufen-Riffe"). Dies rührt daher, daß in den Riffgemeinschaften der Jura-Zeit die kalkabscheidenden Rotalgen noch weitgehend fehlten, die am Aufbau der heutigen Korallenriffe in reicher Zahl mitbeteiligt sind und wesentlich für deren Stabilität gegenüber Brandung verantwortlich sind.

Bei den Korallenvorkommen der Schwäbischen Alb handelt es sich nicht um Teile eines langgestreckten Riffgürtels, wie es das heutige "Great Barrier Reef" vor Australien darstellt, sondern um kleine, meist isolierte "Fleckenriffe", deren Durchmesser in den meisten Fällen 10 Meter kaum überschreitet. Arnegg ist einer der wenigen Aufschlüsse auf der Schwäbischen Alb, die einen Einblick in eine solches Riff erlauben. Allerdings sind hier die Korallen und ihre Begleitfauna sowohl im eigentlichen Riff wie auch in den Riffschuttbänken, im Gegensatz zu einigen anderen Korallenvorkommen auf der Schwäbischen Alb (Gerstetten, Nattheim) nur kalkig erhalten und damit nicht so gut überliefert. Man findet neben Kieselschwämmen Stockkorallen der Gattungen *Thecosmilia*, *Enallhelia* und *Thamnasteria* sowie Brachiopoden. Der Steinbruch zeigt den Übergang von einem Schwammriff in ein Korallenriff. Der Wechsel ist sicherlich mit einer Verflachung des Meeres in Verbindung zu bringen. Dabei stellen sich allmählich günstigere Wachstumsbedingungen für Riffkorallen ein. In den ältesten korallenführenden Schichten im Steinbruch Arnegg findet man zusammen mit Kieselschwämmen eine fächerförmige Pionierart unter den Korallen, die an verhältnismäßig tiefes Wasser angepaßt war. In den höheren Schichten nimmt die Vielfalt an Korallen dann rasch zu.

Literatur:

PAULSEN, S. (1964): Aufbau und Petrographie des Riffkomplexes von Arnegg im höheren Weißen Jura der Schwäbischen Alb (Württemberg).- Arb. Geol.-Paläontol. Inst., NF. **42**, 98 S.; Stuttgart.

Stillgelegter "Klingelhalde"-Steinbruch bei Gosheim, westliche Schwäbische Alb

Lage: 1 km E' von Gosheim an der Straße nach Bubsheim (Bubsheimer Steige), Topographische Karte (TK 25), Blatt 7818 Wehingen.

In diesem Aufschluß ist ein Schwammriff-Komplex der Schwäbischen Alb zu sehen. Die Schwammriffe der Schwäbischen Alb wurden vor ca. 150 Mio. Jahren während der Oberjura-Zeit in einem warmen, tropischen Meer gebildet. Die Schwammriffe treten heute in Form von massigen Kalkfelsen ohne deutliche Schichtung entlang der Steilstufe des nördlichen Stufenrands ("Albtrauf") der Schwäbischen Alb auf.

In Gosheim handelt es sich um eine Vielzahl von kleineren Riffhügeln (Bioherme), die sich zu einem

größerem Schwammriff-Komplex zusammenschließen. Die einzelnen Riff-Bereiche zeichnen sich durch eine linsenförmige, in sich massige Struktur aus. Innerhalb dieser Linsen, die durch ein lokales Anschwellen der Kalkbänke entstehen, findet man die für die Riffbildung verantwortlichen Organismen (v.a. Kieselschwämme und Mikrobenkrusten). Das Wachstum der Organismen bedingt eine erhöhte Produktion und Akkumulation von Kalkschlamm, die das Anschwellen der Bänke verursachen. Im Hangschutt finden sich schöne Exemplare (allerdings meist Bruchstücke) von Kieselschwämmen und Kalksteine mit schlierigen, häufig dunklen Bereichen (Mikrobenkrusten), die in der Regel auch mit Kieselschwämmen assoziiert auftreten.

Literatur:

REICH, V. (1995): Fazies und Architektur des Schwammriff-Komplexes (Oxfordium) im Klingenhalde-Steinbruch bei Gosheim (incl. Geologischer Kartierung).- Inst. f. Geologie und Paläontologie d. Universität Stuttgart (unveröffentlichte Diplomarbeit).

Weitere Exkursionsziele zur Schwäbischen Alb finden sich im Artikel Schweigert.

"Zwölf-Apostel-Felsen", Fränkische Alb

Lage: Straße Eichstätt Richtung Treuchtlingen, Felsgruppe am Prallhang der Altmühl E' Solnhofen, Topographische Karte (TK 25), Blatt 7132 Dollnstein.

Die malerische Felsgruppe im Altmühltal wird von Schwamm-Mikrobenkrusten-Kalken des Weißjura Delta aufgebaut, die lateral in die gebankten Kalke des Treuchtlinger Marmors übergehen. Die hellen massigen Kalke sind durch Klüfte zerteilt und in der jüngeren Erdgeschichte von der Erosion als Einzelfelsen herauspräpariert worden. Wellig verlaufende Hohlkehlen im unteren Bereich der Felsgruppe, die durch Mergellagen verursacht sind, zeigen den girlandenartigen Baus des Riffkomplexes. Die Neigung der Riffhänge beträgt etwa 20°. Am Top zeigt die flache Lagerung der Bankung einen Ausgleich des Reliefs mit dem Absterben des Riffkomplexes an.

An Fauna finden sich großwüchsige, tellerförmige Kieselschwämme mit Mikrobenkrusten, Brachiopoden, Echinodermen (Seeigelverwandte) und Muscheln.

Literatur:

MEYER, R.K.F. & SCHMIDT-KALER, H. (1984) Erdgeschichte sichtbar gemacht. Ein geologischer Führer durch die Altmühlalb.- 2. Auflage, 260 S.; München (Bayer. Geol. Landesamt).

MEYER, R.K.F. & SCHMIDT-KALER, H. (1994): Wanderungen in die Erdgeschichte. I. Treuchtlingen, Solnhofen, Mörnsheim, Dollnstein.- 2. Auflage, 96 S.; München (F. Pfeil).

Steinbruch Schmaus NW' Ludwag bei Bamberg

Lage: Bamberg auf A 70 nach Scheßlitz, dann nach S nach Ludwag; Neuer Steinbruch N' Ludwag; Topographische Karte (TK 25), Blatt 6032 Scheßlitz.

Der neue Steinbruch von Ludwag erschließt Massenkalke des sog. Würgau-Görauer-Riffareals mit Schwammkalken des Weißjura Beta sowie darüber folgend Schwamm-Mergel und Kalke des Weißjura Gamma und Delta. Die Schwammkalkbänke des Weißjura Beta zu Beginn der Abfolge bilden kuppelartige, steil-geflankte Riffstrukturen, die eine Höhe von 15 bis 20 m bei Durchmessern von 50 bis 60 m erreichen. Das Riffwachstum endet hier mit dem starken Einsetzen der Mergelsedimentation des unteren Weißjura Gamma, wodurch wahrscheinlich das Relief des unteren Riffkomplexes ausgeglichen wurde. Im mittleren Weißjura Gamma finden sich erneut einzelne Schwamm-Mikrobenkrusten-Riffchen.

Die unteren Riffkalke liegen heute dolomitisiert vor, so daß von der ursprünglichen Fauna aus Kieselschwämmen mit ihrer Begleitfauna kaum noch Reste vorzufinden sind. Hingegen sind die Mergel des unteren Weißjura Gamma reich an großen tellerförmigen Schwämmen, Brachiopoden (Terebrateln, Rhynchonellen), Skeletteilen von Seeigeln und Ammoniten.

Literatur:

BRACHERT, T.C. (1986): Kontinuierliche und diskontinuierliche Sedimentation im süddeutschen Oberjura (unteres Kimmeridge; Ludwag/Oberfranken, Nördliche Frankenalb.- Facies, 15.233-284; Erlangen.

MEYER, R.K.F. & SCHMIDT-KALER, H. (1989): Paläogeographischer Atlas des süddeutschen Oberjura (Malm).- Geologisches Jahrbuch, 115: 77 S.; Hannover.

"Müllerfelsen", nördliche Frankenalb

Lage: Von Forchheim entlang der Wiesent auf B 470 nach Ebermannstadt und Streitberg; Müllerfelsen liegt E' Streitberg; Topographische Karte (TK 25), Blatt 6133 Muggendorf.

Als markanter "Stotzen" bildet der "Müllerfelsen" einen guten Blickfang am Nordhang des Wiesenttales östlich Streitberg. Er besteht aus Schwamm-Mikrobenkrusten-Riffkalken des tieferen Weißjura (oberer Weißjura Alpha und unterer Weißjura Beta), die seitlich in die normal gebankte Schichtfolge übergehen. Im unteren Abschnitt des "Stotzens" ist die domartige Riffstruktur mit bis zu

40° steilen Flanken an der Wechselfolge aus Kalken und durchziehenden Mergelfugen gut erkennbar, der nahezu strukturlos. Seitlich (links) schließt sich die normalgebankte Wechselfolge aus Mergeln und Kalken an, die stellenweise (z.B. ca. 30 m westlich des "Müllerfelsen") "Kleinstotzen" von etwa 50 cm Höhe einschließt.

Die Schwamm-Mikrobenkrusten-Kalke des "Müllerfelsens" stellen eine zyklische Abfolge von Kieselschwamm-reicher Besiedlung und Mikrobenkrustendominanz dar. Die zunehmende Bedeutung der Mikrobenkrusten in den höheren Partien des Felsens (nur durch Dünnschliffuntersuchungen feststellbar) zeigt eine Verflachung des damaligen Meeresbereiches bis unterhalb der Wellenbasis an. Die gelegentlichen bzw. zyklisch auftretenden Ereignisse von Mergelsedimentation (Mergelfugen!) stellen jeweils das Ende einer Besiedlungsphase von teller- und becherförmigen Kieselschwämmen dar.

Literatur:

FLÜGEL. E. & STEIGER, T. (1981): An Upper Jurassic spongealgal buildup from the Northern Frankenalb, West Germany.- SEPM., Spec. Publ., **30**: 371-397; Tulsa.

MEYER, R.K.F. & SCHMIDT-KALER, H. (1989): Paläogeographischer Atlas des süddeutschen Oberjura (Malm).- Geologisches Jahrbuch **115:**77 S.; Hannover.

MEYER, R.K.F. & SCHMIDT-KALER, H. (1992): Wanderungen in die Erdgeschichte. 5. Durch die Fränkische Schweiz.- 167 S.; München (F. Pfeil).

BAYERISCHE UND ÖSTERREICHISCHE KALKALPEN (KORALLEN-SCHWAMM-RIFFE DER OBERTRIAS-ZEIT UND MUSCHELRIFFE DER OBERKREIDE-ZEIT)

Steinplatte bei Waidring/Tirol

Zufahrt: über Reit im Winkl - Kössen - Waidring, von hier Fahrstraße nach Norden bis Großparkplatz.

Als weithin sichtbarer, herausragender Felssporn mit steilabfallender S-Wand und landschaftlich wie geologisch gleichermaßen attraktive Sehenswürdigkeit lädt die Steinplatte (1869 m ü. NN) zu einer Wanderung in das grenznahe Österreich westlich Salzburg ein. Inmitten der weitgehend von Flachwasserablagerungen (Hauptdolomit und Dachsteinkalk) der mittleren und höheren Trias geprägten Bergmassive zeigt die Steinplatte einen einmaligen Einblick in einen Kalkschwamm- und Korallen-Riffkomplex der obersten Trias (Rhät) mit lateralem Übergang in die vorgelagerte Beckenfazies. Für einen generellen Eindruck bietet sich ein Blick von Westen auf die Steinplatte an, und zwar vom Gegenhang unterhalb des Parkplatzes aus. Er zeigt den hellgrauen Oberrhät-Riffkalk der Steinplatte mit dem flach nach NW, Richtung Berggasthof "Kammerköhr", einfallendem Berghang. Diese Richtung entspricht gleichzeitig dem ehemaligen Übergang von Riff zur Beckenfazies, die heute unterhalb des Gasthofes an der Geländekante mit Mergeln und Mergelkalken der Kössener Schichten erschlossen ist. Während diese generelle Interpretation der Steinplatte im wesentlichen anerkannt ist, erfuhr der eigentliche Riffkomplex im Laufe der letzten Jahrzehnte unterschiedliche Deutungen. Das heutige Erosionsrelikt eines ehemals größeren Oberrhätkalk-Massivs wird einerseits -ähnlich der heutigen Korallenriff-Zonierung- in Vorriff, Riffkern und Rückriff untergliedert (z.B. PILLER & LOBITZER 1979, PILLER 1981). Andererseits wird die Steinplatte als randlicher Rest einer ausgedehnteren geneigten Karbonatplattform interpretiert, die den Übergangsbereich zwischen der Dachsteinkalk-Plattform im Süden und der Beckenfazies der Kössener Schichten im Norden darstellt. In dieser Hangsituation bildeten Kalkschwämme und Tabulozoen zusammen mit Korallen, Kalkalgen und Foraminiferen kleine Riff-"Mounds". Ausgedehnte Rasen der buschigen "*Thecosmilia*"-Koralle finden sich heute am Top dieser Entwicklung (zu sehen auf mittlerer Höhe des Wegs zum Gipfel nahe der Geländekante, sogenannter Korallengarten), vereinzelte kleine "*Thecosmilia*-Riffchen" auch entlang des Wegs am Hangfuß westlich unterhalb der Steinplatte.

Literatur:

PILLER, W.E. (1981): The Steinplatte reef complex, part of an Upper Triassic carbonate platform near Salzburg, Austria. - SEPM, Spec. Publ., **30**: 261-290; Tulsa.

PILLER, W. E.& LOBITZER, H. (1979): Die obertriassiche Karbonatplattform zwischen Steinplatte (Tirol) und Hochkönig (Salzburg). - Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, **1979** (2): 171-180; Wien.

STANTON R.J. & FLÜGEL, E.(1989): Problems with reef models: The Late Triassic Steinplatte "Reef" (Northern Alps, Salzburg/Tyrol, Austria). - Facies, **2 0**: 1-138; Erlangen.

Oberrhätriff von Adnet bei Salzburg

Lage: Tropfbruch östlich Adnet; über Salzburg, bei Hallein nach Osten Richtung Adnet.

Die angesägten und polierten Steinbruchwände des Tropfbruches nahe Adnet vermitteln einen eindrucksvollen Einblick in Fauna und Aufbau eines oberrhätischen Korallen-Fleckenriffareals. Der zentrale Bereich der ehemaligen Fleckenriffe wird

vor allem von Korallen und Kalkschwämmen eingenommen. Die oberen, stark wellen-exponierten Riffhänge sind durch Onkoide (*Lithocodium*/ *Bacinella*-Onkoide) charakterisiert, während die tieferen Riffhänge von einer Algen-Foraminiferen-Gemeinschaft geprägt werden. Es folgen beckenwärts die Übergangssedimente zur Beckenfazies (Kössener Schichten), die im Steinbruch nicht erschlossen ist.

An Fauna sind in den Fleckenriffen hauptsächlich buschige, massive und solitäre Korallen sowie Kalkschwämme, Algen und spongiostromate Cyanophyceen beteiligt. Die Wachstumsrichtung der Korallenäste weist häufig entgegen der ehemals vorherrschenden Wasserströmung.

Die oberrhätischen Riffbereiche werden in der Gegend von Adnet von rötlichen Knollenkalken des unteren Jura (Lias) überlagert.

Literatur:

FLÜGEL, E. (1981): Paleoecology and facies of Upper Triassic reefs in the Northern Calcareous Alps. - SEPM, Spec. Publ., **30**: 291-259; Tulsa.

SCHÄFER, P.& SENOWBARI-DARYAN, B. (1981): Facies development and paleoecologic zonation of four Upper Triassic patch-reefs, Northern Calcareous Alps near Salzburg, Austria. - SEPM, Spec. Publ., **30**: 241-259; Tulsa.

"Krönnerriff" (Oberkreide-Hippuritenriff) bei Bad Reichenhall

Lage: Aufschluß inmitten des Waldes am Nordfuß des Lattenberges SE Bayerisch Gmain bei Bad Reichenhall, zwischen Fesenbach und Weißenbach; Blatt 8243 Reichenhall (R: 4568 650, H: 5286 280); von Bad Reichenhall über B20 nach Bayerisch Gmain, von hier Fußweg südlich der Bahnlinie zum Lattenberg.

Bitte beachten! Der Aufschluß ist ein Naturdenkmal. Fossil- und Gesteinsaufsammlungen sind nicht erlaubt.

Vereinzelt schalten sich in die Karbonatgesteine der sogenannten Mittleren Gosau-Schichten Rudistenriffe ein, von denen das Krönnerriff des Lattenberges zu den interessantesten gehört. Rudisten (z.B. *Hippurites, Radiolites*) sind besondere Muscheln, die in der Oberkreide-Zeit, wie die Korallen, in der Lage waren Riffe zu bauen.

Über Ramsaudolomit (Ladin/Mitteltrias) lagert hier eine bauxitisch gebundene transgressive Grobbrekzie, die in Geröllbrekzien übergeht (im Ostteil aufgeschlossen). Darüber entwickeln sich verschiedene Lebensgemeinschaften von radiolitiden Muscheln, die in ehemals küstennahem Milieu anzusiedeln sind und häufig durch Brandungsenergie umgelagert wurden. Nach oben folgen große Solitär-Hippuriten, die sich im Hangenden zu Gerüsten zusammenschließen.

Das eigentliche 5 m mächtige, bis zu 50 m lange Krönner-Riff ist ein Hippuriten-Barriereriff, dessen hauptsächlich liegende, zumeist parallel miteinander verwachsene Individuen im Aufschluß eine massige Wand ergeben. Das Riff wird von zwei Hippuriten-Arten gebildet. Beim überwiegenden Teil der Hippuriten weist die Deckelklappe nach Osten, in Richtung der ehemaligen höher energetischen Vorriffzone, die heute als heller Schuttkalk dokumentiert ist. Westlich des Riffes folgen ein grauer siltiger Mergelkalk sowie dunkelgraue Mergel, die den lagunären Rückriffbereich andeuten.

Literatur:

HAGN, H. HÖFLING,, R.& IMMEL, H. (1982): Exkursion D. - in: Exkursionen zum 2. Kreidesymposium München '82, D1-D67; München (Institut für Paläontologie und historische Geologie)

HÖFLING, R. (1985): Faziesverteilung und Fossilvergesellschaftungen im karbonatischen Flachwasser-Milieu der alpinen Oberkreide (Gosau-Formation). - Münchner Geowissenschaftliche Abhandlungen, A, **3**: 241 S., München.

DANK

Dieser Artikel erschien ursprünglich in „Städte unter Wasser - 2 Milliarden Jahre“.- Kleine Senckenberg-Reihe Nr. 24, Frankfurt am Main, 1996. Autoren und Herausgeber danken dem Senckenberg-Forschungsinstitut für die Erlaubnis, den Artikel an dieser Stelle nochmals publizieren zu dürfen.

*Profil **1 3**: 113-129; Stuttgart 1998*

Info-Kurztexte zu Riffen (Bedeutung, Gefährdung, richtiges Verhalten)

ZUSAMMENGETRAGEN VON
*REINHOLD **LEINFELDER**, STUTTGART**

Die nachfolgenden Kurztexte wurden während des Internationalen Jahr des Riffes zu verschiedenen Anlässen zusammengestellt. Die Texte können kopiert und als Infoblätter im Unterricht sowie außerhalb beliebig verbreitet werden. Sie fassen die in den Artikeln zu Teil 1 und den Arbeitsblättern zu Teil 2 dieses Bandes gegebenen Informationen zur Bedeutung und Gefährdung von Riffen, sowie zu Schutzmaßnahmen zusammen. Wir fügen zwei verschiedene Versionen bei, deren Grundinhalte identisch sind, die sich im Stil jedoch unterscheiden (Stichpunktauflistung bzw. zeitungsartiger Kurzartikel). Bitte wählen Sie die für Ihre Zielrichtung sinnvollere Version. Speziell für Taucher finden Sie auf S. 147 eine weitere Version zum Thema „Richtiges Verhalten in Riffen".

* Prof. Dr. R. Leinfelder, Institut für Geologie und Paläontologie, Universität Stuttgart, Herdweg 51, 70174 Stuttgart

neue Adresse von R. Leinfelder siehe Vorwort zur online-Auflage, Umschlaginnenseite

Die Bedeutung von Riffen für den Menschen

Sie fragen sich: "Ich sehe schon, daß die Menschen viele Riffe zerstören. Aber ist das wirklich so schlimm? Bin ich etwa auch selbst davon betroffen? Ich werde mir wahrscheinlich sowieso nie ein Riff ansehen."

* Viele Riffe befinden sich in Entwicklungsländern. Werden diese zerstört, fällt eine wichtige Einnahmequelle, der **Tourismus** weg, da die Riffe und die dazugehörenden grünblauen Lagunen und weißen Sandstrände den eigentlichen Touristenmagneten darstellen.

* **Küstenschutz**: Viele Inseln und Küstenbereiche sind überhaupt nur vorhanden, da sie von umgebenden Riffen vor den starken Ozeanwellen geschützt werden. Fehlen diese Riffe, werden viele Inseln und Strände schnell abgetragen sein.

* Riffe sind die **Kinderstuben vieler Fische**, die später auf hoher See leben und maßvoll gefischt werden können. Auch die Fische, Weichtiere und Schalentiere der Riffe ernähren Millionen von Menschen

* Die Rifforganismen (vor allem Schwämme, Korallen, Algen) stellen ein unbezahlbares **Reservoir medizinisch bedeutsamer Stoffe** dar, deren Erforschung gerade erst begonnen hat. Vielleicht könnte sogar ein zukünftiges Mittel gegen Krebs oder Aids in den Rifforganismen gefunden werden?

* Riffe stellen wichtige **Frühwarnsysteme für** den Zustand bzw. die Änderung lokaler, regionaler und wohl auch globaler **Umweltänderungen** dar. Sterben Riffe in einem bestimmten Areal ab, kann man damit einen wichtigen Hinweis auf einen neuen Umweltverschmutzer bekommen. Während von manchen noch diskutiert wird, ob sich die Welt tatsächlich in den letzten Jahrzehnten erwärmt hat, sprechen die Riffe eine klare Sprache (- da Korallen "Jahresringe" besitzen, dokumentieren anhand der chemischen Zusammensetzung des Skelettes etwa von tausend Jahre alten Korallenkolonnien die jährlichen Temperaturen bis tausend Jahre zurück.

* Riffbauende Organismen haben ein Kalkskelett und produzieren enorme Mengen von Kalk. Kalk besteht aus einer Verbindung von Kalzium und Karbonat. Letzteres beinhaltet das Kohlendioxidmolekül. Die Vorgänge sind im einzelnen sehr kompliziert. Durch die Kalkausscheidung wird zwar rechnerisch auch Kohlendioxid freigesetzt, möglicherweise wird dies aber von den pflanzlichen Rifforganismen (vor allem den Algen in den Korallen) direkt verwendet, so daß Riffe als **Klimastabilisatoren** bezeichnet werden können. Wichtig dabei ist auch die chemische Pufferungswirkung des Riffwachstums. Durch das Wachstum von Riffen wird langsam, aber stetig Bikarbonat aus dem Meer entfernt, in die Erdkruste verfrachtet (gebunden als Karbonat in Kalkstein) und damit dem gekoppelten Luft-Wasser-System Kohlenstoff entzogen. Die Bikarbonatgehalte stehen aber mit den Kohlendioxidkonzentrationen im Gleichgewicht. Über geologische Zeiträume sind Riffe damit in klimasteuernde Prozesse mit eingebunden und stellen wahrscheinlich einen nicht unwesentlichen Klimastabilisator dar.

Der Globus überlebt sicherlich ohne Riffe. Wir vielleicht nicht!

(Text durch Reinhold Leinfelder, genommen aus den Internet-Seiten von IYOR-Deutschland <www.geologie.uni-stuttgart.de/iyor>, leicht geändert)

Gefahren für Riffe:
Der Zustand unserer heutigen Korallenriffe ist bedrohlich!

Zunehmende Besiedlung bzw. "Kultivierung" von Küsten mit vorgelagerten Riffen führt zu vielfältigen Problemen:

* Bautätigkeiten (Straßen, Gebäude) führen zu viel Sediment in Riffareale. Oft werden lebende Riffe auch direkt als Steinbrüche für die Zementindustrie mißbraucht.

* Abwässer aus Gemeinden und künstennahe intensive Landwirtschaft bringen Chemikalien, zu viele Nährstoffe und Süßwasser zu den Riffen.

* Selbst im küstenfernen Hinterland verursacht die Abholzung von Regenwäldern für Baumaßnahmen und Viehzucht verstärkten Abtrag von Boden und Sediment, welches durch Flüsse zu Riffregionen gebracht wird. Die Riffe werden dadurch überdüngt oder ersticken im Schlick.

* Wir stellten das Fehlen von Riffen vor ausgedehnten Bananenplantagen in der Karibik fest, was durch Überdüngung und wahrscheinlich auch Pestizideinleitung verursacht wird.

Fischfang und Zucht von Meerestieren führt zu Problemen:

* In Rifflagunen oder in durch Mangroverodung extra angelegten Küstenbecken werden großmaßstäblich Fische, Hummer und Garnelen gezüchtet. Dazu werden enorme Mengen von Futter und Dünger eingebracht. Dadurch, sowie durch die Exkremente der Massenzucht werden die Lagunen überdüngt. Überdüngte Wässer, die von der Lagune über das Riff abfließen, schädigen die Riffe.

* Überfischung in den Riffen selbst sowie auf offener See verursacht einen starken Mangel an pflanzenfressenden Fischen im Riff. Weichalgen werden so nicht genügend abgeweidet und die Riffe sterben durch Algenüberwucherung ab.

* Fischen mit Dynamit sowie mit Cyanid und anderen betäubenden Chemikalien tötet weite Riffbereiche ab.

Zunehmender Massentourismus stellt eine große Gefahr dar:

* Riffe werden durch Ankerwerfen und unvorsichtige Taucher direkt geschädigt. Selbst ohne Berührung der Riffe können Boote und z.T. Taucher für Riffe schädlichen Schlamm und Sand aufwirbeln.

* Touristenressorts sind oft direkt in der Nähe von Riffen oder gar auf Riffinseln. Hier ist eine Auswahl von für Riffe schädlichen Auswirkungen: Abwässer gelangen auf direktestem Weg zum Riff. Meerwasserentsalzungsanlagen erhöhen den Salzgehalt an der Küste. Um Bootszufahrten zu schaffen, werden Durchlässe in das Riff gesprengt. Durch aufgewirbelten Schlamm werden auch die Nachbarriffe geschädigt, außerdem können die Durchlässe Erosion von der Riffrückseite bewirken.

* Um Riffische anzulocken, werden zum Teil große Mengen von Futter eingebracht. Algenabgrasende Fische stellen ihre Futtergewohnheiten um und vernachlässigen ihre wichtige Aufgabe, Algen im Riff abzuweiden.

* Enorme Mengen von Muscheln, Schnecken und Riffkorallen, die allesamt wichtige Aufgaben bei der Erhaltung eines Riffes haben, werden aus den Riffen geräubert. Sie können diese "Souvenirs" sogar am Mittelmeer kaufen, wo sie nie gelebt haben und unterstützen damit unbewußt durch erhöhte Nachfrage die Zerstörung von Riffen.

Die globale Temperaturerhöhung stellt eine Gefahr für Riffe dar:

* Riffe sind an hohe Wassertemperaturen angepaßt. In manchen Jahren sind diese auf natürliche Weise erhöht und sogenanntes Korallenbleichen (Bleaching) setzt ein (da die farbgebenden, mit den Korallen in Symbiose im Korallengewebe lebenden und für die Korallen lebensnotwendigen Algen durch Temperaturerhöhung absterben). Davon erholen sich die Korallen aber wieder, sofern nicht in den nächsten Jahren ähnliche Temperaturspitzen auftreten. Wegen der globalen Temperaturerhöhung ist aber zu befürchten, daß diese Bleichungsereignisse mit zunehmender Regelmäßigkeit auftreten, so daß sich viele Korallen nicht mehr davon erholen können. In wenigen Jahren starben z.B. in der Karibik die wichtigsten Riffkorallen ab. Ein noch ungenügend erforschtes Problem stellt die Ausdünnung der Ozonschicht auch in niederen Breiten dar. Versuche zeigen, daß erhöhte UV-Strahlung ebenfalls zur Korallenbleichung führt. Außerdem wird das Plankton direkt geschädigt.

Riffe unterliegen auch natürlichen Gefahren:

* Korallenfressende Organismen, Krankheitsepidemien, natürliche Temperaturschwankungen (El-Niño-Effekte) und Hurrikane können Riffe ebenfalls schädigen. Das Riffökosystem ist daran jedoch angepaßt und regeneriert sich in kurzer Zeit von selbst, sofern die generellen Riffbedingungen günstig sind. Sind Riffe jedoch durch die oben geschilderten menschlichen Einwirkungen bereits vorgeschädigt, kann ein Sturm oder ein El-Niño-Ereignis ein Riff definitiv zerstören (etwa, da wegen vorhandener Überdüngung die zerstörten Riffbereiche gleich von Weichalgen überzogen werden, auf die sich keine Korallenlarve setzen kann.

(Text durch Reinhold Leinfelder, genommen aus den Internet-Seiten von IYOR-Deutschland <www.geologie.uni-stuttgart.de/iyor>, leicht geändert)

Der IYOR-Deutschland-Webserver wird jetzt als deutscher Riffressourcen-Server weitergeführt: http://www.riffe.de

Bitte beachten Sie auchdas Teilangebot http://www.reefcheck.de des o.a. Servers

Was können Sie tun?

* Informieren Sie sich über Riffe.

* Diskutieren Sie im Bekanntenkreis über die Bedeutung von Riffen. Wenn Sie Lehraufgaben wahrnehmen, bauen Sie Riffe und ihre Bedeutung als Thema in Ihre Lehrtätigkeit mit ein.

* Bestehen Sie im Urlaub vor allem in Wüstenregionen mit Riffen (speziell am Roten Meer) darauf, die Bettwäsche und Handtücher nicht täglich oder gar öfters gewechselt zu bekommen. Verursachen Sie auch sonst keinen übermäßigen Wasserverbrauch. Meiden Sie umweltschädigenden Wassersport, wie Fahrten mit Schnellboot und Wasserscooter.

* Versuchen Sie im Urlaub Hotelmanager und Reiseveranstalter im persönlichen Gespräch von der Wichtigkeit des Riffschutzes zu überzeugen. Sagen Sie ihnen ggf., daß im Falle der zunehmenden Schädigung der Riffe diese Region für Sie und viele Ihrer Freunde nicht mehr von Interesse wäre. Machen Sie klar, daß Sie nicht an übertriebenem Komfort interessiert sind

* Fahren Sie nicht jedes Jahr im Urlaub zu Riffen. Machen Sie mal anderswo umweltverträglichen Urlaub!

* Gehen Sie nur auf geführte Schnorchel- und Tauchgänge. Vermeiden Sie dabei Billigangebote bzw. fragen vor Abfahrt nach, wie Abwasser beseitigt wird, ob Fische gefüttert werden, ob Verankerungsbojen oder ausgewiesene Ankerplätze vorhanden sind. Am besten nehmen Sie an geführten Touren in Unterwassernaturparks teil.

* Vermeiden Sie Beschädigungen bei eigenen Schnorchel- und Tauchgängen. Ziehen Sie keine Tauchhandschuhe an (nachgewiesenermaßen fassen Taucher mit Handschuhen auch unabsichtlich Riffkorallen viel häufiger an als ohne). Stellen Sie sich nie auf Riffe. Wirbeln Sie kein Sediment mit den Flossen auf. Nehmen Sie keinesfalls Riffkorallen oder andere Rifforganismen mit nach Hause.

* Kaufen Sie keine Muscheln, Schnecken, Korallen oder andere Meerestiere (bzw. daraus gebildetete Aschenbecher, Uhren und anderen Kitsch) als Souvenirs, weder in Riffregionen noch andernorts. Sie heizen sonst die Nachfrage an.

* Verzichten Sie auch zu Hause auf Tigergarnelen und schränken Sie Ihren Verbrauch von „Fast-Food“-Produkten ein. Unterstützen Sie alternative Anbaumethoden. Versuchen Sie, Ihren Energieverbrauch und Müllanfall noch weiter zu reduzieren.

Kontaktadresse:

IYOR-Organisationsteam Deutschland
c/o Prof. Dr. Reinhold Leinfelder,
Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Stuttgart
Herdweg 51, 70174 Stuttgart
Fax. 0711-1211341, Tel. -1211339
e-mail: reinhold.leinfelder@geologie.uni-stuttgart.de
WorldWideWeb: http://www.geologie.uni-stuttgart.de/iyor

siehe:
www.riffe.de
www.reefcheck.de

neue Adresse von R. Leinfelder siehe Vorwort zur online-Auflage, Umschlaginnenseite

Korallenriffe: 500 Millionen Jahre erfolgreich, heute vom Aussterben bedroht!

Faszinierende Häuslebauer

Steinkorallen bilden ein massives Kalkskelett und sind im Tierreich damit hervorragende Häusle- und Städtebauer unter Wasser. Weitere Organismen unterstützen die Korallen beim Unterwasserstädtebau und bei der Gebäudeinstandhaltung: Kalkrotalgen sind für den Kalkverputz verantwortlich, Mikroben verkitten unzugängliche Mauerlücken mit steinhartem Zement. Die Korallengebäude haben viele Stockwerke und werden von einer enormen Zahl von Tieren und Pflanzen, wie Fischen, Muscheln, Schnecken, Seeigeln, Weichkorallen, Seeanemonen und Algen bewohnt.

Faszinierend und für unsere Begriffe supermodern ist dabei, wie sich diese Stadt effektiv selbst versorgt und am Leben erhält. Viele Berufe sind dazu notwendig: Algen, die in Lebensgemeinschaft mit den Korallen leben, bilden Sonnenkraftwerke und liefern die notwendige Energie für das Wachstum der Korallen. Die Abfallstoffe der Korallen, aber auch anderer Riffbewohner werden sofort wieder durch die Algen recycelt. Weichalgen wachsen auf den Riffgebäuden besonders gerne, müssen aber regelmäßig durch grasende Riffische, Schnecken und Seeigel abgemäht werden, damit sie nicht alles andere überwuchern. Das Wasser wird ständig von Schwämmen gefiltert und damit saubergehalten. Einsiedlerkrebse und Seegurken gehören zur Brigade der Müllabfuhr.

Selbst einen Zahnarzt gibt es im Riff: Putzerfische und Putzergarnelen haben an bestimmten Stellen im Riff ihre Praxis eröffnet. Dorthin kommen große Riffische, um sich Parasiten und Nahrungsreste zwischen den Zähnen entfernen zu lassen. Im Zahnarztberuf gibt es aber auch einige schwarze Schafe: Manche Schleimfische sehen aus wie Putzerfische und werden deshalb auch von Zahnpatienten aufgesucht. Schleimfische beißen dann aber blitzschnell Wunden in die geleimten Patienten und verschwinden so rasch wie möglich wieder.

Alle Riffische sind so begeistert vom Lebensraum Riff, daß sie sich Apartments teilen und in Schichten arbeiten müssen. Tagsüber schlafen nachtaktive Fische in den vieltausendfach vorhandenen kleinen und großen Riffhöhlen, nachts gehen sie dem Nahrungserwerb nach und überlassen ihre Zimmerchen der tagaktiven Schicht zum Ausruhen. Auch das Umland profitiert von der Unterwasserstadt Riff: vom offenen Meer und von den Lagunen kommen Raubfische wie Haie und Barrakudas, um sich im Riff zu ernähren.

Eine faszinierende Unterwasserwelt, von der mancher Städteplaner etwas lernen kann! Übrigens gab es auch echte schwäbische Unterwasserhäuslebauer: vor 150 Millionen Jahren bildeten Steinschwämme, Steinkorallen und Mikroben Riffe, die heute auf dem Trockenen liegen und in der Schwäbischen Alb beeindruckende Felsformationen, wie z.B. im oberen Donautal zurückließen.

Korallenriffe sind für die Menschheit enorm wichtig

Korallenriffe beherbergen, so schätzt man, bis zu einer Million Tier- und Pflanzenarten. Sie bilden zusammen mit den tropischen Regenwäldern die artenreichsten Ökosysteme der Erde. Der Mensch profitiert in unglaublich vielfältiger Weise von diesen Riffen, ohne daß es den meisten von uns bewußt ist:

- Riffe stellen einen immens wichtigen Küstenschutz dar, ohne den viele tropische Inseln und Küsten schnell abgetragen wären.
- Der sprichwörtliche Fischreichtum der Riffe stellt die Lebensgrundlage von Millionen von Menschen, gerade auch in Entwicklungsländern dar.
- Auch vom Tourismus in tropische und subtropische Länder leben Millionen von Menschen. Gehen die Riffe kaputt, werden auch viele Palmenstrände und damit die Touristen verschwinden, eine katastrophale Entwicklung für viele Entwicklungsländer. Aber auch in Deutschland verdienen Reiseveranstalter und Sportausrüster viele Millionen mit Tourismus zu tropischen und subtropischen Regionen.
- Rifforganismen haben, ähnlich wie Regenwälder, ein immenses, noch weitgehend unerforschtes Potential zur Entdeckung und Gewinnung medizinischer Substanzen. Wertvolle Antibiotika, Herz-/ Kreislaufsubstanzen, aber auch Wirkstoffe zur Behandlung von Krebs und Aids wurden bereits gefunden. Außerdem werden Korallenskelette zunehmend als verträglicher Knochenersatz verwendet.
- Riffe zeichnen die Klimageschichte unserer Erde auf, die man anhand des Chemismus des Korallenskelettes bis auf Jahre genau entschlüsseln kann. Sie sind damit eine wich-

tiger Klimamonitor, der unser zukünftiges Klima besser vorherzusagen hilft. Außerdem bilden Riffe durch ihre chemische Ausgleichswirkung ein wichtiges Glied in den Klimaprozessen unserer Erde.

Die Gefährdung der Riffe durch den Menschen: Unter Wasser sieht's ja keiner!

Die immense Bedeutung der Riffe für den Menschen wäre Grund genug, mit unseren Riffen pfleglich umzugehen. Obwohl es Korallenriffe seit 500 Millionen Jahren (und einfachere Rifftypen bereits seit 3 Milliarden Jahren!) gibt, sind Riffe aber ernsthaft bedroht. Die schönen Korallenriff-Kalenderbilder oder Bildbände täuschen über den bedrohlichen Zustand unserer Riffe hinweg. Nach ernstzunehmenden Schätzungen sind bereits 10% aller Riffe unrettbar verloren, weitere 30-60% aller Riffe werden die nächsten 20 Jahre nicht überleben, wenn sich an der menschengemachten Umweltzerstörung nichts grundsätzliches ändert.

Die Hauptgefahren für unsere Riffe liegen hier:

- Küstenbesiedlung und sogenannte Kultivierung führt zu enormem Eintrag von Schlamm- und Schlickpartikeln in die Meere und gefährdet die Riffe, die derartiges nicht vertragen. Dabei muß dies nicht einmal alles direkt an den Küsten passieren. Regenwaldabholzung führt zur verstärkten Abwaschung des Bodens. Das Bodenmaterial gelangt dann mit Flüssen wiederum in die Riffregionen. Abwässer führen zur Überdüngung der Riffe. Weichalgen überwuchern dann alles und die Riffe sterben ab. In vielen Ländern werden Riffe als Steinbruch mißbraucht und komplett abgebaut.
- Schädliche Fischereimethoden, wie Dynamit- und Blausäurefischerei, aber auch die generelle Überfischung zerstören die Riffe. Fehlen die Fische, fehlt auch ein wichtiger Teil der Rasenmäher-Arbeiter und Weichalgen werden wiederum die Riffe überwuchern.
- Nicht umweltgerechter Tourismus stellt ebenfalls eine große Gefahr dar: Fischfütterungen bringen die delikaten Gleichgewichte im Riff durcheinander, Ankerwerfen zerstört große Riffareale, Berühren und Abbrechen von Korallen unter Wasser ist schädigend, Souvenirkauf fördert die Ausbeutung von Rifforganismen, Hotelkomplexe können durch Abwässer und Salzlaugeneinleitung aus Entsalzungsanlagen ebenfalls Riffe großflächig abtöten. Vielleicht die größte Gefahr entsteht aber durch den menschengemachten Treibhauseffekt, der die Korallen unter Temperaturstreß und letztendlich zum Absterben bringt.

Auswege aus dem Dilemma

Die Einrichtung von Riffparks und umweltverträglicher Tourismus stellt eine Chance nicht nur für die Riffe, sondern auch für die sich durch Überfischung und Gewinnung von Riffsouvenirs sich ihrer eigenen Lebensgrundlagen beraubenden Riffanrainer-Bevölkerung dar. Auch Küstenbebauung und Kultivierung können umweltgerecht betrieben werden. Hier sind Umweltorganisationen, Politiker, insbesondere aber alternative Projekte vor Ort unter der Einbindung der einheimischen Bevölkerung gefragt. Aber auch jeder einzelne kann viel zum Riffschutz beitragen:

Beim Urlaub in Riffregionen (z.B. Rotes Meer, Karibik, Malediven, Südsee) sollten Sie übermäßigen Wasser- und Energieverbrauch vermeiden, keine Meerestiere als Souvenirs kaufen, nur auf gut geführte Tauch- und Schnorchelgänge gehen, bei denen nur Ankerbojen verwendet werden und keinen schädigenden Motorwassersport unternehmen. Sie können auch Hotelmanager und Reiseveranstalter zu Schutzmaßnahmen veranlassen, indem Sie klarmachen, daß geschädigte Riffe für Sie uninteressant sind.

Zu Hause sollten Sie auch den Riffen zuliebe Ihren Energieverbrauch sowie Ihren Müllanfall reduzieren (Müll aus Industrieländern wird manchmal bis in Riffregionen transportiert; Energieverbrauch heizt den riffschädigenden Treibhauseffekt an). Außerdem können Sie alternative Nahrungsmittelerzeuger mit ökologischen Anbau- und Zuchtmethoden unterstützen.

Es hängt auch von Ihnen ab, ob die Riffe weiterhin eine Chance haben. Lassen wir die Riffe leben, hat auch die Menschheit eine größere Überlebenschance!

Prof. Dr. R. Leinfelder, Univ. Stuttgart

(erstellt als Infotext zu verschiedenen Vorträgen im Jahr des Riffes)

neue Adresse von R. Leinfelder siehe Vorwort zur online-Auflage, Umschlaginnenseite

*Profil **1 3**: 131-133; Stuttgart 1998*

Kurzinfo zum Internationalen Jahr des Riffes 1997
und zum Internationalen Jahr des Ozeans 1998

*REINHOLD **LEINFELDER**, STUTTGART* & FRANZ **BRÜMMER**, STUTTGART***

„Mit einem Schlag befinde ich mich in einer ganz anderen Welt, weit weg von allen bekannten Landschaften dieser Erde, in einem Gebiet, das nur wenige von uns schauen durften. Ich schwimme durch einen Korallenwald. Überall blitzt es auf, hier rot und grün, dort gelb und blau."

Prof. Dr. Hans Hass über seine ersten freitauchenden Rifferkundungen 1939 in der Karibik.

DAS INTERNATIONALE JAHR DES RIFFES

Das Internationale Jahr des Riffes startete als Privatinitiative des bekannten Rifforschers Prof. Dr. Robert Ginsburg (Miami), und wurde weltweit als International Year of the Reef (IYOR) 1997 begangen. Es entstand aus der Einsicht heraus, daß die rapide, jedoch öffentlich kaum beachtete Verschlechterung des Zustandes der Korallenriffe weltweit nur durch eine weltweite Aktion besser ins Bewußtsein der Öffentlichkeit zu bringen war.

Einige Worte zur Entstehung von IYOR-international: Die Vorstellung der Initiative durch Prof. Ginsburg und seine Gruppe erfolgte auf dem 8. Internationalen Korallenriffsymposium 1996 in Panama-City. Das alle vier Jahre stattfindene Symposium wird von der International Society for Reef Studies, der angesehensten internationalen Gesellschaft von Rifforschern veranstaltet. Die Initiative wurde international von Kollegen aufgegriffen, und neben den Universitätswissenschaftlern trugen eine Vielzahl von Organisationen und Umweltverbänden (etwa UNESCO, Worldwide Fund for Nature - WWF, IUCN-Word Conservation Union), Zoologischen Gärten, Naturwissenschaftlichen Museen aber auch Taucherverbände, Schulen und Personen des öffentlichen Lebens die IYOR-Initiative.

Die Hauptziele des Internationalen Jahr des Riffes waren:

- ***R** iffmanagement-Kapazitäten aufzubauen*
- ***I** nformation der Öffentlichkeit*
- ***F** orschung über den weltweiten Zustand der Riffe*
- ***F** orschung an Ursachen & Art der Riffschädigungen*
- ***E** inrichtung nachhaltiger Managementkonzepte*

* Prof. Dr. R. Leinfelder, Institut für Geologie und Paläontologie, Universität Stuttgart, Herdweg 51, 70174 Stuttgart

** PD Dr. Franz Brümmer, Biologisches Institut, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 57, 70555 Stuttgart

neue Adresse von R. Leinfelder siehe Vorwort zur online-Auflage, Umschlaginnenseite

Das Internationale Jahr des Riffes war ein weltweites Forum für nationale und regionale Aktivitäten zum Schutz der Korallenriffe, und förderte die Zusammenarbeit zwischen Organisationen und Institutionen, die in Riffmanagement und Rifforschung involviert sind. Im Rahmen des Internationalen Jahr des Riffes wurde erstmalig eine weltweite „ReefCheck"-Aktion durchgeführt, bei der über 150 Riffwissenschaftler mit über 700 freiwilligen Sporttauchern Riffe weltweit, gleichzeitig und mit gleicher Methodik auf ihren Gesundheitszustand hin untersuchten (siehe nachfolgender Beitrag).

Ein Hauptanliegen des Internationalen Jahr des Riffes war die verbesserte Information über Riffe, deren Bedeutung, Gefährdung und mögliche Schutzmaßnahmen. Besondere Zielgruppen waren neben der allgemeinen Öffentlichkeit Touristen, Schnorchler und Taucher sowie insbesondere Schulen und Lehrer. Das vorliegende Heft soll dazu beitragen, die entsprechenden Bemühungen auch über das Jahr des Riffes hinauszutragen.

Die Initiative zum Internationalen Jahr des Riffes wurde für Deutschland von einer kleinen Wissenschaftlergruppe (die spätere Koordinierungsgruppe von IYOR-Deutschland), von denen die meisten am 8. Internationalen Korallensymposium in Panama teilnahmen, in Zusammenarbeit mit Prof. Ginsburg propagiert und im Oktober 1996 den bedeutendsten Riffwissenschaftlern Deutschlands anläßlich des Abschlußkongresses des Schwerpunktprogrammes der Deutschen Forschungsgemeinschaft mit dem Titel „Biogene Sedimentation - Evolution von Riffen" vorgestellt und um Unterstützung und Mitarbeit gebeten. Daraufhin formierte sich aus Riffwissenschaftlern ein IYOR-Deutschland-Komitee, bestehend aus einer Koordinierungsgruppe und einem Kuratorium (Mitglieder siehe unten). Anläßlich der „boot 1997", einer der weltgrößten Wassersportmessen wurde im Januar 1997 in Düsseldorf das Internationale Jahr des Riffes auch öffentlich in Deutschland mit Diskussionsrunden und Interviews von Riffwissenschaftler (darunter auch Hans Hass), Sporttauchern und Vertretern der Tourismusindustrie eröffnet.

Das Internationale Jahr des Riffes wurde auch in Deutschland von zahlreichen namhaften Institutionen unterstützt. Universitäten, Naturwissenschaftliche Museen, Zoologischen Gärten und Aquarien, Tauchorganisationen, die Deutsche Forschungsgemeinschaft, Ministerien, Oberschulämter, Schulen und Privatpersonen beteiligen sich daran; die Deutsche Forschungsgemeinschaft und etliche Firmen unterstützten IYOR finanziell.

Aktivitäten im Jahr des Riffes

In ganz Deutschland fanden 1997 besonders viele wissenschaftliche und allgemeinverständliche Vorträge zu Riffen und Riffschutz an Universitäten, Museen, Volkshochschulen, Schulen, in Sportgeschäften und bei Tauchorganisationen statt und werden auch weiterhin stattfinden. Besonderer Schwerpunkt wurde auf die Weiterbildung von Lehrern, Tauchern und Tauchlehrern (Lehrerseminare, Taucherseminare, Produktion von Materialien wie Videos oder z.B. das vorliegende Heft), die direkte Teilnahme von Riffwissenschaftlern im Unterricht sowie die Initiierung von Schulprojekten gelegt. Viele Schulprojekte befaßten sich mit Riffen. Über 30 Riffwissenschaftler standen als Referenten zur Verfügung, die von Schulen und anderen Organisationen zu Vortrag, Seminar oder Exkursion zu fossilen Riffen angefordert werden konnten und - in etwas eingeschränktem Umfang - nach wie vor angefordert werden können. Die Referentenliste finden Sie im übernächsten Beitrag. Daneben gab es Sonderveranstaltungen (z.B. in Zoos und Aquarien), Messeaktivitäten und insbesondere Ausstellungen zu Riffen an den unterschiedlichsten Orten. Die größte fand am Senckenberg-Museum in Frankfurt statt; diese Ausstellung wird die nächsten Jahre auf Wanderschaft gehen (u.a. Göttingen, Stuttgart).

Aktuelle Ausstellungsorte, eine umfassende Ressourcensammlung (siehe auch letzter Beitrag dieses Heftes) sowie die gesamte Auflistung der vielfältigen Aktivitäten zum Jahr des Riffes sind auf dem Internet-Server von IYOR-Deutschland dokumentiert und sollen auch in den Folgejahren als Anregung für weitere Aktionen dienen. Die Sponsoren von IYOR sind dort ebenfalls verzeichnet. Vielleicht können Sie Ihnen für eigene Aktionen finanziell unter die Arme greifen:

http://www.geologie.uni-stuttgart.de/iyor

Deutsches IYOR-Komitee

Koordinierungsgruppe für IYOR-Aktivitäten in Deutschland:

- *Prof. Dr. Reinhold Leinfelder, reinhold.leinfelder@geologie.uni-stuttgart.de, Institut für Geologie und Paläontologie, Universität Stuttgart, Herdweg 51, D-70174 Stuttgart, Tel. 0711-121-1339, Fax: 0711-121-1341*
- *PD Dr. Franz Brümmer, Bruemmer@po.uni-stuttgart.de, Biologisches Institut der Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 57, 70550 Stuttgart, Tel. 0711-685-5083, Fax: 0711-685-5096*
- *Dr. Moshira Hassan, mhassan@geomar.de, GEOMAR - Forschungszentrum für marine Geowissenschaften, Wischhofstr. 1-3, 24148 Kiel, Tel. 0431-6002822, Fax: 0431-6002941*
- *Dr. Gert Wörheide, gwoerhe@gwdg.de, Institut für Geologie und Paläontologie, Universität Göttingen, Goldschmidt Str. 3, 37077 Göttingen, Tel. 0551-39 79 45, Fax: 0551-39 79 96*

Kuratorium

umgezogen nach: http://www.riffe.de . Spenden für Rifforschung und Riffschutz: Kontaktieren Sie R. Leinfelder (rrl@www.lrz.uni-muenchen.de bzw. reinhold@riffe.de

- *Prof. Dr. Erik Flügel, Institut für Paläontologie, Universität Erlangen-Nürnberg*
- *Prof. Dr. Helmut Schuhmacher, Institut für Ökologie, Universität GH Essen*
- *Direktor Prof. Dr. Fritz Steininger, Forschungsinstitut und Naturmuseum Senckenberg, Frankfurt am Main*
- *Dr. Friedrich Naglschmid, Präsident des Verbandes deutscher Sporttaucher e.V. (VDST) und des Förderkreises Sporttauchen e.V.*

Kontaktadresse:
IYOR-Organisationsteam Deutschland
c/o Reinhold Leinfelder, siehe oben.

Für Sporttaucher auch:
c/o Franz Brümmer, siehe oben.

DAS INTERNATIONALE JAHR DES OZEANS

Internationales Jahr des Ozeans
1998

Zum Zeitpunkt der Drucklegung dieses Bandes beginnen die Aktivitäten zum Internationalen Jahr des Ozeans (International Year of the Oceans - IYO). In der Zielrichtung ähnlich wie das Internationale Jahr des Riffes (IYOR) soll IYO insbesondere wieder zur verbesserten Aufklärung über die Bedeutung, aber auch die Gefährdung der Ozeane beitragen sowie ensprechende Schutzmaßnahmen initiieren.

Im Unterschied zum Internationalen Jahr des Riffes ist das Internationale Jahr des Ozeans jedoch keine Privatinitiative von Wissenschaftlern, die sich bei IYOR zu einer globalen Aktion ausgeweitet hat und dann durch die unterschiedlichsten Institutionen und Organisationen unterstützt wurde. Das Internationale Jahr des Ozeans wurde von den Vereinten Nationen (UN) beschlossen, nachdem es durch die UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation) vorgeschlagen wurde. Die Durchführung von IYO liegt insbesondere bei der IOC (Intergovernmental Oceanographic Commission), die zur UNESCO gehört.

Auf nationaler Ebene wird IYO von staatlichen Behörden organisiert. Für Deutschland hat dies das Bundesamt für Seeschiffahrt und Hydrographie (BSH) mit Sitz in Hamburg übernommen.

Anläßlich IYO haben sich weitere Initiativen, wie z.B. Ocean98 gebildet. Ocean98 wird ebenfalls von der IOC unterstützt. Auch die Expo '98 in Lissabon wird im Zeichen der Ozeane stehen.

IYOR-Deutschland will selbstverständlich auch nach dem Jahr des Riffes zum Riffschutz beitragen und arbeitet deshalb mit dem BSH in Hamburg zusammen. Der Name IYOR (International Year of the Reef), der inzwischen weit bekannt ist, wird auch 1998 (als IYO:R International Year of the Oceans: Reefs) aktuell bleiben.

Nähere Informationen zum Internationalen Jahr des Ozeans finden Sie im Internet:

IYO-International:
http://www.unesco.org/ioc/iyo/iyohome.htm

IYO (bzw. IJO)-Deutschland:
http://www.bsh.de/iyo/iyohome.htm

Ocean98:
http://www.ocean98.org

und natürlich speziell für Riffschutz:
IYO:R-Deutschland
http://www.geologie.uni-stuttgart.de/iyor

neu: http://www.riffe.de

http://www.reefcheck.de

*Profil **13**: 135-138; Stuttgart 1998*

ReefCheck - Eine globale Gemeinschaftsaktion von Riffwissenschaftlern und Sporttauchern:

ReefCheck 97 Presse-Konferenz vom 16. Oktober 1997, Hongkong

DURCH DAS INSTITUTE FOR ENVIRONMENT AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT (IESD)
HONG KONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY (HKUST)
ÜBERSETZT VON
*GEORG **HEISS**, AIX-EN-PROVENCE**

Hintergrundinformationen und Pressemitteilung:

Reef Check 97, die erste globale Erfassung von menschlichen Einflüssen auf die Korallenriffe der Welt, wurde kürzlich abgeschlossen und die ersten vorläufigen Ergebnisse werden heute vorgestellt. Reef Check ist eine Initiative im Rahmen des "Internationalen Jahrs des Riffes". Organisiert vom "Institute for Environment and Sustainable Development (IESD)" an der Hong Kong University of Science and Technology (HKUST), waren über 100 Meereswissenschaftler und 750 Sporttaucher an der Untersuchung aktiv beteiligt. Zwischen dem 15. Juni und 31. August wurden Daten von 300 Korallenriffe in 30 Ländern erfaßt.

Das Projekt war dringendst notwendig, so der globale Koordinator und Riffbiologe Dr. Gregor Hodgson, "weil Korallenriffe die Regenwälder der Meere sind. Sie gehören zu den wertvollsten natürlichen Ressourcen der Welt; sie sind eine Schatztruhe im Wert von Milliarden von Dollar an genetischem Material für pharmazeutische Produkte und sind ein wichtiger Faktor für den Schutz der Küsten. Riffe sind Attraktionen für 7 Millionen Sporttaucher und eine Nahrungsquelle für mehrere hundert Millionen Menschen". "Leider,", sagt Hodgson, "erhielten wir seit 1990 Berichte von Sporttauchern über eine schnell zunehmende Schädigung von Riffen über den ganzen Globus, aber wissenschaftlich genaue Daten fehlten bisher."

Die wenigen hundert Riffwissenschaftler der Welt untersuchen viele verschiedene Aspekte der Riffe, zu verschiedenen Zeiten und an verschiedenen Orten. Die klassische Korallenrifforschung konnte nicht mit der schnellen Verbreitung der mensch-

* Dr. Georg Heiss, CEREGE, B.P.80, F-13545 Aix-en-Provence cedex 4, fax +33-4-42971549

Anmerkung der Herausgeber: IYOR-Deutschland organisierte unter Federführung von Dr. Moshira Hassan, Kiel zusammen mit Dr. Gert Wörheide, Göttingen und Dipl.-Biol. Rosemarie Asang-Soergel, Neu-Ulm den ReefCheck '97 für das Rote Meer sowie für die Malediven. Am Malediven-ReefCheck war zusätzlich IYOR-Schweiz beteiligt. Zum Zeitpunkt der Drucklegung dieses Heftes waren die hier angeführten ersten Ergebnisse der globalen ReefCheck-Aktion verfügbar.

O.a. Adresse von G. Heiss ist nicht mehr gültig. Sie erreichen ihn über georg@reefcheck.de bzw. über die von ihm betreute http://www.reefcheck.de - Website

lichen Effekte auf Riffe Schritt halten. Ein neuer Ansatz war nötig, um möglichst schnell vergleichbare Datensätze der menschlichen Einflüsse von vielen Riffen zur gleichen Zeit zu erhalten.

Der Ansatz von Reef Check war der Aufbau eines globalen Netzwerks von regionalen, nationalen und lokalen Koordinationszentren, jedes verantwortlich für das Zusammenstellen von Teams von erfahrenen Sporttauchern und professionellen Riffwissenschaftlern. Jeder Teamwissenschaftler war verantwortlich für das Training der Teamtaucher mit den Reef Check-Methoden und die Durchführung der Untersuchung vor Ort, sowie die Kontrolle und Weitergabe der gewonnenen Daten zur Zentrale in Hong Kong.

Die Reef Check-Methoden unterscheiden sich von den in traditionellen ökologischen Untersuchungen verwendeten insbesondere darin, als sie besonders daraufhin entwickelt wurden, die Effekte menschlicher Aktivitäten auf das Ökosystem Korallenriff zu erkennen. Die Kriterien für die Auswahl der Reef Check-Methoden waren die folgenden: Die Methoden sollten:

- *so einfach sein, daß sie erfahrenene Taucher mit guter Schulbildung innerhalb eines Tages erlernen können;*
- *es erlauben, daß jedes Team eine Erhebung pro Tag durchführen kann;*
- *ein striktes System der Qualitätskontrolle beinhalten;*
- *Ergebnisse bringen, die wissenschaftlich belegte Antworten auf Schlüsselfragen über menschliche Einflüsse auf Korallenriffe geben.*
-

Um die Geländemethoden auf den menschlichen Einfluß zu konzentrieren, wurden sowohl weltweit als auch regional wichtige "Indikator-Arten" ausgewählt. Kriterien waren: 1) ein hoher kommerzieller Marktwert, und: 2) eine leichte Erkennbarkeit durch besondere Farbe und Form, z.B. die Napoleonfische als Indikatoren im Indo-Pazifik für Giftfischerei und Langusten als weltweiter Indikator für den Druck auf Schalentiere. Zusätzlich zu den 20 als Hochpreis-Meeresfrüchte ausgewählten Organismen, wurden andere Indikatoren menschlichen Einflusses, wie abgebrochene Korallen (Ankerbruch) und Blüten von benthischen Algen (Verschmutzung durch Abwasser) eingeschlossen. Eine großes Areal (800 m^2, also 100 m^2 größer als ein Fußballfeld) wurde als Standard-Erhebungsfläche ausgewählt und zweimal ausgezählt: einmal für Fische und einmal für die am Boden lebenden Schalentiere. Eine dritte Erhebung entlang einer 100m langen Leine hatte den Zustand der Korallen selbst zum Ziel. Die Teams waren angehalten, die "relativ unberührten" Riffe zuerst zu untersuchen.

Im Oktober 1996 wurden die Reef Check-Methoden per E-mail über einen Internet-Server der amerikanischen NOAA an Korallenriffwissenschaftler in aller Welt verschickt und diese zu konstruktiver Kritik aufgefordert. Nach den Diskussionen wurden die Methoden aktualisiert und im Januar 1997 die neuen WWW (World Wide Web) - Seiten für Reef Check gestartet. Zusätzlich zu den Methoden wurden Anmeldungsformulare, Listen der Teams, Informationen zur Suche nach Sponsoren und sogar Bilder der Zielorganismen auf dem web-server bereitgestellt. Regionale und nationale Koordinatoren wurden ausgewählt und die Teams benannt. Viele der Teams mußten große Beträge investieren, um Reise-, Hotel- und Tauchkosten zu bestreiten. Zum Beispiel konnten die deutschen Koordinator/innen großzügige Förderung für eine Reef Check-Schwerpunktuntersuchung im Roten Meer gewinnen, die auch Thema von Fernsehdokumentationen war.

"Neben den Erfolgen im wissenschaftlichen Bereich und bei der Ausbildung war dieses Projekt in zwei Punkten bemerkenswert," sagt Professor Gary Heinke, IESD Direktor, "erstens, das Projekt wurde vollständig über das Internet organisiert, und zweitens, das Projekt wurde fast zur Gänze von Freiwilligen bestritten. Ausgehend von wenigen tausend Dollar an Managementkosten am IESD hat das Projekt weltweit Daten im Gegenwert von 2 Millionen US-Dollar gewonnen. Wir sind den Hunderten großzügigen Sponsoren und Freiwilligen, die diese Erhebungen möglich gemacht haben, zu größtem Dank verpflichtet."

Die vorläufigen Ergebnisse von etwa 230 Riffen werden heute veröffentlicht, weil sie ein so klares Muster der weltweiten Schädigung der Korallenriffe, besonders durch Überfischung und destruktive Fischereimethoden aufzeigen. Der vollständige Report wird noch im Laufe dieses Jahres veröffentlicht werden. Die Resultate für Langusten, die einmal in allen Riffen der Welt im Überfluß vorhanden waren, sind bedrückend: In 81% der untersuchten Riffe wurden keine Langusten beobachtet. Im Indo-Pazifik wurden in den 179 untersuchten Riffen nur insgesamt 25 Langusten gefunden, und von diesen lebten 11 in einem einzigen Riff in einem marinen Schutzgebiet in Indonesien. Große Zackenbarsche sind in der ganzen Welt stark befischt, in 40% der untersuchten Riffe wurden überhaupt keine beobachtet und in den restlichen nur wenige Exemplare. Es wurden jedoch an zwei Stellen in den Malediven und an drei Stellen im Roten Meer, Orte an denen weder Dynamit- noch

Zyanidfischerei vorkommt, mehr als 20 große Zackenbarsche gezählt. Das gibt Hinweise darauf, welche Populationen einst auch in anderen Gebieten üblich waren. In der Karibik wurde der teuer gehandelte und einst verbreitete Nassau-Zackenbarsch nur an 4 von 51 Riffen gefunden, insgesamt nur 12 Fische.

Die Korallen selbst erscheinen weltweit in einem generell besseren Zustand als die Fische und Schalentiere. Der durchschnittliche Anteil der Bedeckung mit lebenden Korallen in allen Riffen ist 31%, wobei der geringste Wert in der Karibik mit 22% berichtet wurde, was möglicherweise die jüngsten Verluste durch Korallenbleichen und Krankheiten widerspiegelt. Im Roten Meer wurden weniger als halb so viele tote Korallen (3%) wie in den anderen Gebieten gezählt. Das Verhältnis von lebenden zu toten Korallen war am höchsten im Roten Meer, was darauf schließen läßt, daß diese Riffe zu den gesündesten der Welt zählen.

Eine anscheinend gute Nachricht ist, daß nur an 7 Stellen mehr als 10% benthischer Algenbedeckung gemessen wurden, was anzeigt, daß die Nährstoffanreicherung in Zusammenhang mit Abwasserverschmutzung kein großes Problem in den untersuchten "guten" Riffen darstellt. Die Verschmutzung durch Abwässer ist vermutlich stärker in vielen Riffen, die nahe an Siedlungsgebieten liegen, die aber in dieser Studie nur wenig vertreten waren.

In den Riffen des Indo-Pazifik waren Napoleonfische und Barramundis einst relativ häufig, aber in 85% der untersuchten 179 Riffe wurde kein einziger gesehen. In den mehr als 25 km detailliert untersuchter indo-pazifischer Riffe wurden nur 26 Napoleonfische gesehen. Von den 125 untersuchten Riffen in Asien und Australien wurden nur 5 Barramundis berichtet. Diese Ergebnisse lassen darauf schließen, daß Zyanid- und andere Fischereimethoden die Populationen dieser einst recht häufigen Arten schwer geschädigt haben.

Teuer gehandelte eßbare Seegurken waren einst über den Meeresboden in der Nähe von Riffen verstreut. Die drei Arten, die während des Reef Check gezählt wurden, waren in 41% der indo-pazifischen Riffe nicht mehr vorhanden, was deutlich das Ausmaß der übermäßigen "Ernte" aufzeigt. Im Durchschnitt wurden 17 Riesenmuscheln in den indo-pazifischen Riffen gezählt. Eine Idee, wie natürliche Populationen ausgesehen haben mögen, geben die Zahlen von 150-250 Riesenmuscheln pro Beobachtungsfläche an einigen geschützten Stellen in Australien und im Roten Meer.

Hong Kong gibt ein Beispiel von Korallenriffen, die Opfer beinahe jeder Form von Störung sind: Überfischung, Gift- und Dynamitfischerei, Verschmutzung und Sedimentbelastung. Von 11 Indikatorarten, die eßbar sind oder gesammelt werden, wurden nur 2 beobachtet (Schmetterlingsfische und Kreiselschnecke). Einige dieser einst häufigen Arten sind heute in Hong Kong ausgestorben.

Zusätzlich zu den genauen Messungen bewerteten die Teams subjektiv das Ausmaß der menschlichen Einflüsse an ihren Riffen. 45% der Riffe wurden mit "wenig" oder "kein menschlicher Einfluß" eingeschätzt. Im Gegensatz dazu zeigen die Zahlen der Fische und Schalentiere in den Messungen, daß an fast allen Stellen einige oder mehrere der Indikatorarten stark befischt werden. Ein Grund für diese Diskrepanz ist die Tatsache, daß die Fischerei oft nachts stattfindet, wenn Sporttaucher nicht unterwegs sind. In einigen Gebieten, so an der Ostküste von Borneo, waren die Riffe bisher noch nie untersucht worden und einige Wissenschaftler nahmen an, daß sie noch unberührt seien. Aber nach Angaben des Sarawak Reef Check-Teams waren "99% der Riffe durch Fischerei mit Sprengstoff schwer geschädigt".

Nach Dr. Hodgson sind diese Ergebnisse eine dringende Mahnung, daß "die Reserven der Ozeane nicht grenzenlos sind". Die geringen Zahlen an eßbaren oder gesammelten Indikatorarten ist ein klarer Beweis, daß "Korallenriffe in einem globalem Maßstab geplündert werden". Eine gute Nachricht ist, daß Ergebnisse aus marinen Parks mit angemessenem Management zeigen, daß ein effektiver Schutz für die Erholung der Populationen von Indikatorarten sorgen kann. Eine große Zahl an Individuen von Indikatorarten wurde aus geschützten Gebieten in mehreren Ländern berichtet.

Das Ziel ist eine nachhaltige Nutzung der marinen Ressourcen. Wenn die Fortsetzung nichtnachhaltiger Praktiken weiter erlaubt wird, werden die Populationen von Organismen in Korallenriffen schrumpfen und viele Meeresfrüchte noch teuer werden als die jetzt schon erreichten 100 US-$ pro Kilo, und mehr Fischer werden ihr Einkommen verlieren. Internationale Umweltpolitik sollte hier Einfluss nehmen. Einige Länder haben bereits begonnen, umweltschützende Regularien auf Importe anzuwenden, so z.B. "grüne" Verpackungen. Länder deren Nahrungsmittel- und Fischindustrie Zyanidfischerei unterstützen, könnten sich mit Blockaden des Imports ihrer Meeresprodukte in bestimmte Wirtschaftsräume, die

gegen nicht-nachhaltige Fischereimethoden vorgehen, konfrontiert sehen.

Die Welt hat ein Stadium erreicht, wo es technologisch möglich ist, marine Ressourcen zu beobachten und zu managen. Reef Check funktioniert sowohl als ein Mittel zur schnellen Erfassung, als auch als Anzeiger, wo zusätzliche, detaillierte wissenschaftliche Studien vonnöten sind. Wiederholte jährliche Erhebungen sind nützlich um zu erkennen, ob das Management erfolgreich ist, und ob sich Populationen von Indikatorarten erholen. Ein jährlicher "Bericht zur Lage der Riffe in der Welt" ist notwendig, basierend auf Reef Check und detaillierteren Studien.

Die Lösungen zu den Problemen, die Korallenriffe bedrohen, sind wohl bekannt und schließen eine straffere Kontrolle der Fischerei, sowohl mit klassischen als auch mit neuen Methoden wie z.B. die Satellitenüberwachung der Fischereiflotten, mit ein.

Die Ergebnisse von Reef Check zeigen klar die Notwendigkeit der Einrichtung von mehr marinen Schutzgebieten. Die Vergrößerung der in sie eingeschlossenen Gebiete sowie die Verbesserung des Managements sind wichtig, damit sie als "Brutgebiete" für die umgebenden Areale dienen können. Zusätzlich sind mehr Forschung und Tests von Aquakulturen teurer Rifforganismen notwendig, um den wachsenden Bedarf nach Meeresfrüchten und anderen Produkten zu befriedigen, den Korallenriffe nie stillen werden können. Und genauso wie Öffentlichkeitsarbeit und Gesetzgebung den Elfenbeinhandel reduzieren konnten, ist jetzt eine vergleichbare Anstrengung nötig, um die Nachfrage nach zyanidgefangenem lebendem Fisch zu verringern. Besonders die großen Exemplare haben einen hohen Wert für den Tauchtourismus und die Reproduktion der Bestände. Öffentlichkeitsarbeit ist in Südostasien notwendig, um den Menschen zu erklären, warum es nicht "cool" ist, Fische zu essen, die größer sind als die Platte, auf der sie serviert werden. Förderorganisationen, die Politiker und Manager der natürlichen Ressourcen müssen jetzt diese Lösungen durchsetzen, damit wir in der Zukunft noch viel Fisch und Langusten essen können.

Weitere Informationen über den von IYOR Deutschland organisierten und koordinierten Red Sea-ReefCheck erhalten Sie von den Koordinatoren:

Moshira Hassan
GEOMAR FZ
Wischhofstr. 1-3
24148 Kiel
Tel: 0431-6002822
FAX: 0431-6002941
email: mhassan@geomar.de

Adresse nicht mehr gültig; erreichbar via moshira@reefcheck.de

Gert Wörheide
Erkelenzdamm 21
10999 Berlin
Tel: 030-6152669
Fax: 030-28 39 19 69
email: gwoerhe@ibm.net

Weitere Informationen über den Malediven-ReefCheck erhalten Sie von der Malediven-Koordinatorin:

Rose Asang-Soergel
marine biology and ecology (mbe)
Friedensstr. 31
89231 Neu-Ulm

Kennen Sie den deutschen Reefcheck-Server?

http://www.reefcheck.de

betrieben von Georg Heiss, in Zusammenarbeit mit www.riffe.de

Profil ***13****: 139-142; Stuttgart 1998*

Riffwissenschaftler in Deutschland: Referenten und Ansprechpartner

ZUSAMMENGESTELLT VON

REINHOLD ***LEINFELDER*** *, STUTTGART* & FRANZ* ***BRÜMMER****, STUTTGART***

Wir präsentieren Ihnen hier eine Liste von Riffwissenschaftlern aus der Biologie und der Geologie/Paläontologie, die sich bereit erklärten, anläßlich des Internationalen Jahr des Riffes 1997 als Referenten zur Verfügung zu stehen. Auch nach dem Jahr 1997 können Sie diese Kollegen in gewissem Umfang als Riffspezialisten und eventuelle Referenten für Schulbesuche oder Seminare kontaktieren. Grundsätzlich möglich sind auch Vorträge bzw. Informationsbesuche an Schulen, Volkshochschulen, bei Vereinen sowie bei Reiseveranstaltern, Vorträge für Lehrerfortbildungsseminare, geologisch-paläontologische Exkursionen zu fossilen Riffen sowie Führungen an Museen und zoologischen Gärten. Bitte setzen Sie sich mit den Referenten direkt in Verbindung. Die Organisation müssen Sie selbst in die Hand nehmen (etwa Buchung eines Exkursionsbusses, evtl. Spesenerstattung bzw. Honorar). Haben Sie Verständnis, falls mancher Kollege wegen Terminschwierigkeiten oder zu häufiger Anforderung als Referent einen Termin ablehnen muß. Versuchen Sie es eben beim nächsten. Außerdem können wir leider keine Gewähr dafür übernehmen, daß die Referenten tatsächlich auch nach 1997 noch zur Verfügung stehen. Selbstverständlich gibt es noch viele weitere Riffwissenschaftler in Deutschland, die ebenfalls als Ansprechpartner in Frage kommen. Beachten Sie bitte auch, daß viele junge Kollegen nur eine zeitlich befristete Stelle innehaben, so daß sich manche angegebene Adressen in Zukunft ändern können.

Dies sind die IYOR-Referenten für Deutschland:

Südwestdeutschland

Prof. Dr. Reinhold Leinfelder
Dr. Joachim Baumeister
PD Dr. Manfred Krautter
Dipl.-Geol. Ralph Müller
Dr. Martin Nose
Dr. Dieter Schmid

Adressen:
Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Stuttgart
Herdweg 51, 70174 Stuttgart, Fax 0711-121 1341
e-mail-Struktur: vorname.nachname@geologie.uni-stuttgart.de
Rezente und fossile Riffe, speziell Jura-Riffe; Vorträge, Exkursionsbetreuung zu Jurariffen der Schwäbischen Alb; R.L. speziell auch Lehrerfortbildung

* Prof. Dr. Reinhold Leinfelder, Institut für Geologie und Paläontologie, Universität Stuttgart, Herdweg 51, 70174 Stuttgart, Email: reinhold.leinfelder@geologie.uni-stuttgart.de

** PD Dr. Franz Brümmer, Biologisches Institut, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 57, 70550 Stuttgart, Email: bruemmer@po.uni-stuttgart.de

neue Adresse von R. Leinfelder siehe Vorwort zur online-Auflage, Umschlaginnenseite

nur noch M. Krautter und R. Müller sind unter obiger Adresse erreichbar. R.L, M.N. und D.S arbeiten nun an der Paläontologie München, Richard-Wagner-Str. 10, 80333 München.
r.leinfelder@lrz.uni-muenchen.de
analog für m.nose und d.schmid

Rezente Riffe am Roten Meer, riffartige Bildungen im Mittelmeer, Tauchen und Riffe, speziell auch Lehrerfortbildung

Prof. Dr. Hartmut Seyfried, Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Stuttgart
Herdweg 51, 70174 Stuttgart, Fax 0711-121 1341 e-mail:
hartmut.seyfried@geologie.uni-stuttgart.de
Rezente Riffe und ihre Gefährdung in Panama, Kalkplattformen und Riffe in der Erdgeschichte

Prof. Dr. Otto Geyer (im Ruhestand), Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Stuttgart, Herdweg 51, 70174 Stuttgart, Fax 0711-121 1341
Begleitung bei Exkursionen zu jurassischen Riffen auf der Schwäbischen Alb.

Dr. Knut Hinkelbein Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Stuttgart, Herdweg 51, 70174 Stuttgart, Fax 0711-121 1341
Begleitung bei Exkursionen zu jurassischen Riffen auf der Schwäbischen Alb sowie zu Muschelriffen im Muschelkalk

Prof. Dr. Ulrich Kull, Institut für Biologie, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 57, 70550 Stuttgart, Fax: 0711-685-5096,
e-mail: kull@po.uni-stuttgart.de
Moderne Riffe, Riffökologie; speziell auch Lehrerfortbildung

Dr. Ronald Fricke, Dr. Ursula Lauxmann, Staatliches Museum für Naturkunde Stuttgart, Rosenstein 1, 70191 Stuttgart, Fax: 0711/8936-100
e-mail Ron Fricke:
100726.3376@compuserve.com
e-mail Ursula Lauxmann
100657.2707@compuserve.com (bitte Namen angeben)
Fricke: Der Zustand der Riffe
Lauxmann: Führungen durch die Sammlung des Museums zum Thema Riff. Speziell für Gruppen wie Schulklassen

Dr. Eberhard Gischler, Institut und Museum für Geologie und Paläontologie, Universität Tübingen, Sigwardstr. 10, 72076 Tübingen, Fax: 07071-94 90 40,
e-mail: eberhard.gischler@uni-tuebingen.de
moderne und fossile Riffe; Riffgefahren

E. Gischler arbeitet nun am Institut für Geologie und Paläontologie der Univ. Frankfurt

Dipl.-Biol. Rose Asang-Soergel,
Fischereibiologin**,** marine biology and ecology (mbe), Friedensstr. 31, 89231 Neu-Ulm
moderne Riffe, Riffökologie, Riffgefahren (speziell Tourismus)

Süddeutschland: Bayern

Dipl.-Biol. Uli Erfurth,
RIFF - Meeresbiologische Seminare und Exkursionen -, Gotthardstr. 29, 80686 München, Fax. 089-580 8235
Riffe und Taucher, Riffökologie/Zoologie

PD Dr. Richard Höfling, Institut für Paläontologie und historische Geologie der LM-Universität 0, 80333 Mür
Riffe allgemein, Riffe der Kreidezeit

nun am Institut für Paläontologie der Univ. Erlangen

Dr. Winfried Werner, Bayerische Staatssammlung für Paläontologie und historische Geologie, Richard-Wagner-Str. 10, 80333 München, Fax 089-5203276,
e-mail w.werner@lrz.uni-muenchen.de
Riffe der Jurazeit

Westliches Mitteldeutschland

Dipl.-Biol. Felix Gunkel, Institut für Geologie und Paläontologie, Universität Göttingen, Goldschmidt Str. 3, 37077 Göttingen, Fax: 0551-39 79 96, email fgunkel@gwdg.de
Rezente Riffe, Riffe und Umwelt

Dipl.-Biol. Peter van Treeck, Institut für Ökologie / Abt Hydrobiologie, Universität Essen,
45 117 Essen, Fax 0201 183 2529, e-mail: van_treeck@uni-essen.de
Korallenriffe - bedrohte Ökosysteme, Vorträge zu künstlichen Riffen (insb. auch Taucher und Riff)

Dr. Götz Reinicke, Institut für Ökologie, Abt. Hydrobiologie, GH Universität Essen, Universität Essen, 45 117 Essen, Fax 0201 183 2529, e-mail: g.reinicke@uni-essen.de
Korallenriffe - bedrohte Ökosysteme, Weichkorallen, Vorträge zu künstlichen Riffen (insb. auch Taucher und Riff)

Prof. Dr. Helmut Schuhmacher, *Institut für Ökologie, Abt. Hydrobiologie, GH Universität Essen, Universität Essen, 45 117 Essen, Fax 0201 183 2529*
Korallenriffe - bedrohte Ökosysteme, Weichkorallen, Vorträge zu künstlichen Riffen (insb. auch Taucher und Riff)

Dr. Markus Bertling, *Institut für Geologie und Paläontologie, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, e-mail bertlin@uni-muenster.de*
Exkursionen zu fossilen und heutigen Korallenriffen.

Dipl.-Geol. Stefan Schröder; *Geologisches Institut, Abt. Paläontologie, Zülpicher Strasse 49A, 50674 Köln, Fax.: 0221/470-5080, e-mail: Stefan.Schroeder@uni-koeln.de*
Exkursionen zu Devon-Riffen der Eifel, Vorträge und Fragen zu Rugosen Korallen

Rheinland-Pfalz / Hessen

Dipl.-Biol. Sylvia Gleibs, *Zentrum Rechtsmedizin, Universität Frankfurt/Main.*
e-mail: Sylvia.Gleibs@bio.uni-giessen.de
Korallenriffökologie, Zustand der Riffe, Toxine von Rifforganismen etc.

Dipl.-Biol. Marcos Gektidis, *Geologisch-Paläontologisches Institut, Universität, Senckenberganlage 32-34, 60054 Frankfurt am Main, Fax: 069 798 22958; e-mail: Gektidis@em.uni-frankfurt.de*
Biologie von Riffsystemen, Meeresbiologie allgemein

Berlin und Ostdeutschland

Dr. Willi Xylander, *Staatliches Museum für Naturkunde, Görlitz (Riffe allg., Riffe und Taucher) sowie* ***Dr. Olaf Tietz***, *Staatliches Museum für Naturkunde, Görlitz (Triassische Riffe des Kaukasus)*
Staatliches Museum für Naturkunde Görlitz, Postfach 300154, 02806 Görlitz,
Fax 03581/401742

Dr. Oliver Weidlich, *Institut für Angewandte Geowissenschaften II Sekr. EB 10, Ernst-Reuter-Platz 1, D-10587 Berlin, Fax: 030/314-21107,*
e-mail: weid0936@mailszrz.zrz.TU-Berlin.de
Riffe der Permzeit

Dr. Gert Wörheide, *Institut für Geologie und Paläontologie, Universität Göttingen, Goldschmidt Str. 3, 37077 Göttingen, Fax: 0551-39 79 96, Email: gwoerhe@ibm.net*
Rezente Riffe, speziell Großes Barriereriff, Australien; Karibik. Riffe und Taucher, Riffe und Umwelt

Norddeutschland

Dr. Moshira Hassan, *Dipl.-Biol., GEOMAR - Forschungszentrum für marine Geowissen-*
48 Kiel,
aktuelle email:
moshira@reefcheck.de
Rezente Riffe, speziell Rotes Meer. Riffe und Taucher, Riffe und Umwelt

Dr. André Freiwald, *Fakultät für Geowissenschaften, Universität Bremen. Fakultät für*
Postfach
7431,
nun am Institut für Geologie und
Paläontologie der Univ. Tübingen
Außergewöhnliche Riffe: Korallenriffe im kalten Wasser

Dr. Helge Vogt, *24 Doddington Grove, Kennington, London SE17 3TT, United Kingdom,*
Fax: + 44 171 587 3556,
e-mail: 106300.475@compuserve.com
Riffschäden durch Ölpest, Korallenschutzgebiete etc.

Dipl. Biol. Gerd Maack, *Zentrum für Marine Tropenökologie (ZMT), Fahrenheitstr. 1,*
28359 Bremen, Fax. 0421-2208340,
E-Mail: gmaack@zfn.uni-bremen.de
Ökologie der Riffe, Einfluss von Tauchtourismus, Dornenkronenseestern (Acanthaster planci)

Dipl. Biol. Marc Kochzius *(Meeresökologie), c/o Zentrum für Marine Tropenökologie (ZMT), Fahrenheitstr. 1, 28359 Bremen,*
e-mail: kochzius@zfn.uni-bremen.de
Ökologie der Korallenriffe (Korallen, Fische, andere), Gefährdungen durch Tourismus). Für Vorträge verfügbar im Raum Norddeutschland sowie Köln-Bonn

Zusammengestellt 1997 für das Deutsche IYOR-Komitee

*Profil **13**: 143-146; Stuttgart 1997*

Riff-Ressourcen:
Bücher, Zeitschriften, Filme, Videos, CD-Roms, Internet, Aquarien

FRANZ **BRÜMMER**, STUTTGART* &, REINHOLD **LEINFELDER**, STUTTGART**

Wir präsentieren Ihnen hier eine kleine Auswahl von Ressourcen zu Riffen, die für den Unterricht hilfreich sein mögen. Für die teilweise angegebenen Preise und Bezugsadressen können wir leider keine Gewähr übernehmen. Weitere Ressourcen finden Sie bei den einzelnen Artikeln und Arbeitsmaterialien dieses Heftes sowie unter den angegebenen Internet-Sammelseiten (Hyperlink-Directories).

BÜCHER

Alevizon, B., Hardesty, J., Roth, M. & Weir, W. (eds) (1996): Coral Forest Teacher's Guide.- US$ 22.00, Fax (001)-415-398-0385

Baumeister, W.: Farbatlas Meeresfauna Niedere Tiere Rotes Meer Indischer Ozean. Ulmer Verlag Stuttgart, 1993.

Brümmer, F., Koch, I. & Niederhöfer, H.-J.: Wirbellose Meeresbewohner. Stuttg. Beitr. zur Naturkunde Serie C37, 1994.

Brümmer, F., Giese, Ch., Siegel, V., Sonntag, R. & Xylander, W.: Tauchsportsonderbrevets Meeresbiologie. Delius Klasing Verlag Edition Naglschmid Stuttgart, 1996.

Cousteau, Jacques-Yves: The Ocean World. Abrams, B., 1993.

Debelius, H.: Unterwasserführer Rotes Meer - Fische. Delius Klasing Verlag Edition Naglschmid Stuttgart, 1987.

Debelius, H.: Fischführer Indischer Ozean. Tetra-Verlag Melle, 1993.

Delbeek, J. Ch.; Sprung, Julian: Das Riffaquarium. Handbuch zur Bestimmung und Aquarienhaltung tropischer wirbelloser Meerestiere. Schmettkamp, B. & Ricordea Publ., 1996

Geyer, O.F. & Gwinner, M.P. (1979): Die Schwäbische Alb und ihr Vorland.- Sammlung Geologischer Führer, 67, Bornträger, Berlin, Stuttgart (mit Exkursionen zu Jura-Riffen).

Göthel, H.: Farbatlas Meeresfauna Fische Rotes Meer Indischer Ozean. Ulmer Verlag Stuttgart, 1994.

Eichler, D.: Tropische Meerestiere. BLV München, 1991.

Fossa, S: Korallenriff-Aquarium. Schmettkamp, B.; versch Bände:

- *Bd.1: Grundlagen für den erfolgreichen Betrieb eines Korallenaquariums. 1995*
- *Bd.2: Dekoration und Aquarientypen, Einfahren eines Korallenaquariums.1996*
- *Bd.3: Zoogeographie, Systematik und Nomenklatur, Fische. 1995*
- *Bd.4: Nesseltiere im Korallenriff. 1995*
- *Bd.5: Einzellige Organismen, Schwämme, marine Würmer u. a. 1996*
- *Bd.6: Stachelhäuter, Krebstiere, Seescheiden u. a 1998*

Fricke, H.W.: Bericht aus dem Riff. dtv München, 1980.

Görtz, H.-D.: Formen des Zusammenlebens. Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt, 1988.

Göthel, H.: Unterwasserführer Malediven - Niedere Tiere. Delius Klasing Verlag Edition Naglschmid Stuttgart, 1996.

Götting, K.-J. u.a.: Meeresbiologie I - Marine Organismen, Marine Biogeographie. Vieweg Verlag Braunschweig,1982.

Götting, K.-J. u.a.: Meeresbiologie II - Das Meer als Lebensraum und seine Nutzung. Vieweg Verlag Braunschweig, 1988.

Gray, W.: Koralleninseln und ihre Riffe. Delius Klasing Verlag Edition Naglschmid Stuttgart, 1996.

* PD Dr. Franz Brümmer, Biologisches Institut, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 57, 70550 Stuttgart, Email: bruemmer@po.uni-stuttgart.de

** Prof. Dr. Reinhold Leinfelder, Institut für Geologie und Paläontologie, Universität Stuttgart, Herdweg 51, 70174 Stuttgart, Email: reinhold.leinfelder@geologie.uni-stuttgart.de

neue Adresse von R. Leinfelder siehe Vorwort zur online-Auflage, Umschlaginnenseite

Humberg, B.: Unterwasserführer Karibik - Niedere Tiere. Delius Klasing Verlag Edition Naglschmid Stuttgart, 1996.

Kühlmann, H.H.: Das lebende Riff. Landbuch Verlag, Hannover, 1984 (vergriffen)

Lythgoe, J. & Lythgoe G.: Meeresfische. BLV München, 1971.

Mojetta, Angelo: Korallenriffe. Jahr Verlag, Hamburg. 1995.

Kaestner, A.: Lehrbuch der speziellen Zoologie. (Hrsg. v. H.-E. Gruner u. D. Starck).- G. Fischer Verlag, Jena; versch. Bände:

Bd.1/2 Wirbellose Tiere. Tl.2. Cnidaria, Ctenophora, Mesozoa, Plathelminthes, Nemertini, Entoprocta, Nemathelminthes, Priapulida. (Bearb. v. G. Hartwich, E. F. Kilian, K. Odening u. a.. 5. Aufl., G. Fischer Verlag Jena, 1993.

Lange, J. & Kaiser, R.: Niedere Tiere tropischer und kalter Meere im Aquarium. E. Ulmer Verlag, 1991.

Mebs, D.: Gifte im Riff. Wissenschaftl. Verlags-Ges. Stuttgart, 1989.

Mietz, C. & Ippen, W.: Tropische Meeresfische. Natur Verlag Augsburg, 1991.

Nahke, P. & Wirtz, P.: Unterwasserführer Malediven - Fische. Delius Klasing Verlag Edition Naglschmid Stuttgart,1992.

Ott, J.: Meereskunde UTB Ulmer Verlag Stuttgart, 1988

Ryan, Paddy: Schnorchelführer Korallenriff. Bestimmungsbuch für die Korallenriffe im Roten Meer, Indischen Ozean, Pazifik. BLV, München, 1995.

Schmid, P. & Paschke, D.: Unterwasserf. Rotes Meer - Niedere Tiere. D. Klasing Verlag Ed. Naglschmid Stuttgart, 1995.

Schuhmacher, H.: Korallenriffe. BLV München, 1976.

Schuhmacher,H. & Hinterkircher, J.: Niedere Meerestiere - Rotes Meer Indischer Ozean Pazifik. BLV München, 1996.

Steininger, F. & Maronde, D. (Hrsg.): Städte unter Wasser - 2 Milliarden Jahre. (Begleitheft zur gleichnamigen Riff-Asstellung im Naturmuseum Senckenberg) Kleine Senckenberg-Reihe Nr. 24, Verlag W. Kramer, Frankfurt/M., 1997

Tardent, P.: Meeresbiologie. Thieme Verlag Stuttgart, 1979.

Walker, M.: Malediven. Delius Klasing Verlag Edition Naglschmid Stuttgart, 1996.

Wells, S. & Hanna, N.: Das Greenpeace-Buch der Korallenriffe. C.H. Beck München, 1992 (vergriffen).

Wirtz, P. & Nahke, P.: Unterwasserführer Karibik - Fische. Delius Klasing Verlag Edition Naglschmid Stuttgart,1993.

ARTIKEL IN ZEITSCHRIFTEN

Doubilet, D.: A new light in the sea. National Geographic, Vol.192, No.2, -32-43, 1997.

GEO Nr.5/Mai 1995: "Das Riff". Mit den Teilartikeln Korallenriff 1-4: "Das Gehirn im Ozean", "Megalopolis der Arten", Das Meer unter süddeutschen Äckern", "Die Plünderer von Caubyang Gamay.

Hinrichsen, D.: Coral reefs in crisis. People & the Planet, Vol. 6, Nr. 2, 1997.

Humberg, B.: Wegweiser durch die Natur des Korallenriffs - Karibik. Divemaster 4: 35-39, 1994

Koch, I. und F. Brümmer: Korallenriffe - Paradiese unter Wasser: Entstehung, Ökologie und Bedrohung.- Boehringer Ingelheim Fonds FUTURA, 11/4, S. 244-252. 1996.

Löffler, E.: Das Große Barriereriff im Konflikt zwischen Naturschutz und Nutzung. Geographische Rundschau 11, 653-659, 1995

*People & the Planet (1997): Corals in Crisis,- Special Year of the Reef Issue. P&P, **6** (2),*

Rützler, K. & Feller, I.C.: Ein Mangrovenbiotop im Barriere-Riff vor Belize. Spektrum der Wissenschaft 5, 60-68, 1996.

Sauerborn, U.: Korallen von der Alb. kosmos 5, 52-59, 1996

Schuhmacher, H.: Starthilfe für künstliche Riffe. Spektrum der Wissenschaft 3, 66-74, 1996.

TIME-Magazine vom 28.10.1996: 'Treasures of the Seas. We've plundered the oceans' gifts. Can we now protect them?' (einschl. Bericht über den Zustand der Riffe sowie Hinweise zum Internationalen Jahr des Riffes.)

FILME, VIDEO, POSTER, CD-ROMS

Pocillopora damicornis (Anthozoa) - Entwicklung der Kolonie aus der Planula. Von G. Jarms; 16 mm Film; ca. 5 min, Best.:-Nr.: E 3103 beim IWF, 37013 Göttingen.

Hydra attenuata (Cnidaria, Hydrozoa) - Entladung der Stenotelen. Von Th. Holstein; Video, ca. 7 min, Best.-Nr.: E 3066 beim IWF, 37013 Göttingen.

Nachweis der Übernahme von Aktinien-Schutzstoffen durch Anemonenfische - „Chemische Tarnung". Von H. Fricke; 16 mm Film, ca. 5 min, Best.-Nr.: D 1320 beim IWF, 37013 Göttingen.

Wunderwelt Natur - Korallenriff (Blaue Reihe), ca. 30 min., VHS, FWU Grünwald, Verleih durch Bildstellen

Korallenriffe - erleben, ertauchen, erhalten. Von W. Xylander, VHS 35 min 42,-DM, Verband Deutscher Sporttaucher (VDST) -Geschäftsstelle 64546 Mörfelden-Walldorf, 1996.

Gefahren am Riff. tauchen video, VHS 60 min 68,-DM, Jahr Verlag 22754 Hamburg, 1996.

Strategien am Riff. Von R. Möltgen, tauchen video, VHS 45 min 68,-DM, Jahr Verlag 22754 Hamburg, 1996.

Im Universum des Roten Meeres - Expedition Norseman. Von W. Guggenbühl, 4 teiliges tauchen video à 80 min., kompl. Serie 198,- DM, Jahr Verlag 22754 Hamburg.

Lebensraum Korallenriff. Von D. Ritter Video Produktionen. Offizielles Video zum Internationalen Jahr des Riffes 1997. 51.- DM, Dirk Ritter Video - Produktionen, Friedenstraße 3, 68796 Kahl am Main, Fax: 06188 2967.

Coral Reefs: Their Health, Our Wealth (24 min). erstellt von der University of Guam Marine Laboratory und der Divison of Aquatic and Wildlife Resources, Guam Department of Agriculture. Auf Englisch. Auch für Schulen (z.B. Englischunterricht) geeignet. Bezugsquelle: Division of Aquatic and Wildlife Resources, Guam Department of Agriculture, 192 Dairy Road Mangilao, Guam 96923, FAX 671-734-6570

Kleinposter - Lehrtafel "Korallenriff der Malediven". 8,50 DM, Divemaster Mti-Press, 70178 Stuttgart.

IYOR-Deutschland-Riffposter 50x70 cm. Karte zur Verbreitung heutiger Riffe mit bebilderten Kurzinfos u.a. zu Bedeutung und Gefährdung von Riffen. Nähere Infos unter http://www.geologie.uni-stuttgart.de/iyor. Bezug c/o R. Leinfelder, s. Autorenadresse dieses Beitrags. Erhältlich ab März '98.

Faszination Weltmeere, CD-ROM, Microsoft München.

Faszination Tauchen - Tauchparadies Rotes Meer, CD-Rom, erhältlich von der Multi Media Agentur Wuppertal, ca. 50,-DM

Ozean, 1 CD-ROM: Ursprung des Lebens. Für Windows 95. Hörzu-Software, Infotainment. 1997. +1 Begleitheft., DTP Neue Medien, Hamburg; 99.00 DM

In Vorbereitung: SEPM-Photo-CD zu modernen und fossilen Riffen (ed. P.A. Scholle). Erstellt unter Beteiligung der Riffgruppe Stuttgart. Info und Bezugsadresse: SEPM, 1731 E. 71st Street, Tulsa, OK USA 74136-5108, Fax (001) 918-493-2093. Email: sepm@tulsa.net

In Vorbereitung: IYOR-Deutschland-Riff-CD mit der offline-Version des Webangebots von IYOR-Deutschland, Artikeln und Bildern zu Riffen. Info und Bezugsadresse: Reinhold Leinfelder, siehe Autorenadressen dieses Beitrags.

DIAPOSITIVE UND TRANSPARENTE

Coral Reefs : Cities under the Sea Diaserie und Teacher's Guide von Robert Ginsburg, dem „Vater" von IYOR-International zum Jahr des Riffes. 35 Diapositive. US $ 80.00 (incl. Versandkosten). Bezugsadresse: University of Miami, Stichwort Global Reefs, University of Miami, RSMAS, 4600 Rickenbacker Cswy., Miami, FL 33149 USA.

Das Meer und seine Lebensräume (Transparente-Mappe mit 18 Transparenten, 48 Folien, Lehrerbegleittexten und Kopiervorlagen), ca. 400,- DM, Hagemann & Partner Bildungsmedien, 40026 Düsseldorf.

FALTBLÄTTER

Von der zweiten Auflage der deutschsprachigen farbigen IYOR-Broschüre erhalten Sie die von Ihnen gewünschten Exemplare gegen Einsendung eines frankierten und adressierten Rückumschlags an Prof. R. Leinfelder, Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Stuttgart, Herdweg 51, 70174 Stuttgart, Fax: 0711-121 1341.

INTERNET-RESSOURCEN

Online-Artikel:

Korallenriffe - Paradiese unter Wasser: Entstehung, Ökologie und Bedrohung Ein kompletter Online Artikel von Isabel Koch und Franz Brümmer, Stuttgart. Z u erreichen unter:
http://www.geologie.uni-stuttgart.de/witus/futura

Die Riffe und der Mensch: ein Dilemma?. Die online-Version eines allgemeinverständlichen Artikels von Reinhold Leinfelder und Franz Brümmer, Stuttgart. Zu erreichen unter:
http://www.geologie.uni-stuttgart.de/iyor/infos/dilemma/dilemtitel.html

Meerwasseraquaristik und Naturschutz !? Überlegungen zum Jahr des Riffes 1997. Ein Online-Artikel von Dr. Lutz G. Gohr, Düsseldorf Zu erreichen unter: http://www-public.rz.uni-duesseldorf.de/~gohr/reef/rfjahr.htm

Cyanide And Dynamite Fishing - Who's really responsible? By Michael AW, Carlingford, Australia. Webadresse: http://www.geologie.uni-stuttgart.de/IYOR/infos/cyanide.html

Online-Arbeitsblätter zu Riffen für den Gymnasialunterricht von Christa Maaßen, Oberhausen:
Grey/inhaltsv
jetzt unter: http://www.ladygrey.de

The Jurassic Reef Park (von Reinhold Leinfelder): Ein populärwissenschaftlicher online-Artikel nicht nur zu jurassischen sondern auch zu heutigen Riffen, der auch auf die Bedürfnisse, Bedeutung und Gefahren von Riffen eingeht (auf deutsch und englisch).:
Park/
nun via: http://www.palaeo.de/edu/JRP

Informationsangebote zum Internationalen Jahr des Riffes (IYOR) und Internationalem Jahr der Ozeane (IYO)

IYOR- und IYO:R-Deutschland-Server:
nun http://www.riffe.de *t.de/iyor*

IYOR-International: http://coral.cea.edu/IYOR/

IYO-Deutschland-Angebot:: http://www.bsh.de/iyo/iyohome.htm

IYO-International:
http://www.unesco.org/ioc/iyo/iyohome.htm

Ocean 98: http://www.ocean98.org/

Weitere Informationen und Bilder zu Riffen

Ein Beispiel für den Zustand karibischer Riffe: (auf englisch): http://www.uni-stuttgart.de/
siehe www.riffe.de, www.reefcheck.de,www.palaeo.de/reefgroup

Die online-Version eines wissenschaftlichen Vortrags von Mark Eakin über den Zustand unserer Korallenriffe (in englischer Sprache. Titel: CORAL REEF STATUS AROUND THE WORLD: WHERE ARE WE AND WHERE DO WE GO FROM HERE? von C.M. Eakin, J.W. McManus, M.D. Spalding and S.C. Jameson). Vorgetragen auf dem 8th International Symposium on Coral Reefs, Panama-City, Juni 1996: http://www.ogp.noaa.gov/misc/coral/8icrs

Der umfassende Household-Guide zum Schutz von Korallenriffen (auf englisch, geschrieben für Florida-Haushalte, aber auch generell als Riffschutzinfo empfehlenswert). http://www.arch.usf.edu/ficus/house/housguid.htm

Save Coral Reefs (SCORE)_Konzept von der Arbeitsgruppe Schuhmacher, Essen, zur Anlage künstlicher Unterwasserparks: http://www.geologie.uni-stuttgart.de/IYOR/infos/SCORE.html

Weitere Organisationen und Datenbanken:

Die Stuttgarter Riffgruppe:

nun Münchner Riffgruppe:
siehe
www.riffe.de, www.palaeo.de/reefgroup

, sowie Zugang zu allgemeinverständlichen Artikeln und Riffbildern.

WITUS, Wissenschaftliche Tauchgruppe der Stuttgarter Universitäten, als Teil der Association of Research Diving Biologists (ARDB) http://www.geologie.uni-stuttgart.de/witus/

Reef Base: http://www.cgiar.org/iclarm/resprg/reefbase

World Conservation Monitoring Centre: http://www.wcmc.org.uk/

The Coral Health and Monitoring Group: http://coral.aoml.noaa.gov/

Coral Forest: http://www.blacktop.com/coralforest

The Coral Reef Alliance: http://www.coral.org/Home.html

OceanNEnvironment: http://www.OceanNEnvironment.com.au

WWF - Climate Change Campaign: http://www.panda.org/climate

World Conservation Monitoring Centre: http://www.wcmc.org.uk

United Nations Environmental Programme (UNEP): http://www.unep.ch

The Earthwatch Programme: http://www.gaia.earthwatch.org

weitere Ressourcen

Geolinks, mit vielen weiteren Links zu Riffen (Riffprojekte, Zustand von Riffen, Riffschutz etc.), zusammengetragen von Reinhold Leinfelder: h ml

jetzt: http://www.palaeo.de/geolinks

ÖFFENTLICHE AQUARIEN

Wie wär's denn mit einem begleitenden Besuch in den großen Schauaquarien? Zum Beispiel:

Zoologisch-Botanischer Garten Wilhelma Stuttgart

Löbbecke Museum + Aquazoo Düsseldorf

Jura-Museum auf der Willibaldsburg, Eichstätt

Auch an vielen Naturwissenschaftlichen und Naturhistorischen Museen in Deutschland können Sie sich über heutige und fossile Riffe informieren. Aktuelle Informationen zu laufenden Riffausstellungen finden Sie unter anderem im Internet unter h .de/iyor

http://www.palaeo.de,
http://www.riffe.de

Hinweis: die angegebenen Weblinks sind ggf. nicht mehr alle existent. Zusätzliche Links zu Riffthemen finden Sie u.a. bei http://www.reefcheck.de sowie unter http://www.palaeo.de/geolinks

*Profil **1 3**: 147-150; Stuttgart 1998*

Tauchen in Korallenriffen - Anregungen zum umweltverträglichen Verhalten

*FRANZ **BRÜMMER**, STUTTGART**

Tauchen in, oder besser an Korallenriffen gehört nach wie vor zu den Topereignissen in einem Taucherleben. Für viele Taucherinnen und Taucher stehen Urlaubsreisen zu den Korallenriffen ganz oben in der Wunschliste. Die überwältigende Formenvielfalt mit ihren unbeschreiblichen Farben lockt Tausende von Tauch- , aber auch Bade- und Schnorcheltouristen in diese Regionen. Dadurch bedingt können sich auch nachhaltige Probleme für die Korallenriffe ergeben, die zum einen mit einer übermäßigen Nutzung, zum anderen aber auch mit der unsachgemäßen Ausübung des Tauchsports an Korallenriffen zusammen hängen. Auch Badende und Schnorchler können ihre Spuren in den Korallenriffen hinterlassen.

Ganz nach dem Motto „Tauche wie Dein Schatten, hinterlasse keine Spuren!“ sollen hier an dieser Stelle nochmals einige, speziell den Tauchsport betreffende Punkte angeführt werden. An anderer Stelle wurden bereits ausführlich die Grundlagen wie Zoologie und Ökologie zu den Korallenriffen erläutert (Brümmer & Leinfelder, 1997; Görtz, 1997; Koch & Brümmer, 1996) und ihre Bedeutung, aber auch ihre Bedrohung (Leinfelder & Brümmer, 1997) aufgezeigt.

BEDEUTUNG DER RIFFE

Hier nochmals quasi als eine Art „Briefing“ die wichtigsten Punkte:

Riffe - und warum sie uns interessieren sollten!

Korallenriffe zählen zu den schönsten und spektakulärsten Spielarten der Natur, mit einer überwältigenden Vielfalt an Lebewesen - schätzungsweise einer Million Arten. Diese “Regenwälder des Meeres” zählen zu den komplexesten und vielfältigsten Ökosystemen auf der Erde.

Allerdings gibt der Zustand der Riffe in tropischen und subtropischen Meeren inzwischen Anlaß zu höchster Besorgnis. Daher sollte das „Internationale Jahr des Riffs 1997“ dazu beitragen, die Öffentlichkeit über die Gefährdung und über die Bedeutung der Riffe für die gesamte Menschheit zu informieren.

In über 100 Ländern der tropischen Meere findet man Korallenriffe. Über Tausende von Jahren haben die Menschen an deren Küsten auf die Riffe als Quell zahlreicher Produkte zurückgegriffen und tun dies auch heute noch.

Für die einheimische Bevölkerung sind die Riffe:

- *wichtiger Küstenschutz*
- *wichtige Fisch- und Hummerfanggründe*
- *Baumaterial*
- *die Basis für ihren gesamten Tourismus*

Für uns alle sind die Riffe:

- *wichtige potentielle Ressource von Medikamenten*
- *wichtige Frühwarnsysteme für lokale und wohl auch globale Umweltänderungen*
- *nicht zu unterschätzende Klimapuffer*

Im Gegensatz zu der offensichtlichen Zerstörung der Regenwälder geht die Schädigung der Riffe unter der Wasseroberfläche meist unbeobachtet vor sich. Gewiß setzen auch natürliche Ursachen, wie Stürme oder korallenfressende Organismen, den Riffen zu. Doch daran sind die Riffökosysteme gewissermaßen gewöhnt und regenerieren sich

* PD Dr. Franz Brümmer, Biologisches Institut der Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 57, 70550 Stuttgart bzw. Förderkreis Sporttauchen e.V., Geschäftsstelle, Rotebühlstraße 87a, 70178 Stuttgart;
Email: bruemmer@po.uni-stuttgart.de

relativ schnell, sofern die äußeren Bedingungen

Doch durch massive menschliche Einflüsse sind die Riffe bedroht:

- *Überfischung und zerstörerische Fischereimethoden (z.B. Dynamit-Fischen)*
- *Bautätigkeiten und Abholzung der Regenwälder, und damit verstärkter Eintrag von Boden und Sediment in die Riffe*
- *gedankenloser, riffschädigender Massentourismus*
- *nährstoffhaltige Abwässer und andere Verschmutzungen*
- *Wassersport ohne naturverträgliches Management*
- *massenhaftes Ausräumen von Muscheln, Schnecken und Korallen als Souvenirs*
- *globale Temperaturerhöhung (Ausbleichen der Korallen)*

Mindestens 10 % der Riffe unserer Erde sind extrem geschädigt, weitere 60 % weisen bereits Schäden auf!

Die Korallenriffe werden in einem immer schneller fortschreitenden Maße zerstört. Wenn dieser Rückgang weiter anhält, verlieren wir in den nächsten Jahren mit zahlreichen Riffen wichtige Lebensräume und Ressourcen.

Was können Sie als Tauchtourist konkret zur Erhaltung der Riffe tun?

- *Kaufen sie keine Muscheln, Schnecken, Korallen oder andere Meerestiere als Souvenirs. Weder in Riffregionen noch hierzulande.*
- *Informieren Sie sich und diskutieren sie die Problematik auch mit anderen.*
- *Vermeiden Sie übermäßigen Wasserverbrauch beim Urlaub in Wüstenregionen, wie z.B. am Roten Meer (bestehen Sie darauf, Handtücher und Bettwäsche nicht täglich gewechselt zu bekommen).*
- *Sprechen Sie Hotelmanager und Reiseveranstalter auf die Wichtigkeit des Riffschutzes an. Machen sie ihnen klar, daß geschädigte Riffe für Sie und Ihre Freunde uninteressant ist.*
- *Gehen Sie zu geführten Tauchgängen. Fragen Sie vor Abfahrt nach, wie das Abwasser entsorgt wird, ob Ankerbojen vorhanden sind und ob daran festgemacht wird.*
- *Vermeiden Sie Beschädigungen der Korallen bei Ihren eigenen Tauchgängen. Ziehen Sie keine Handschuhe an und halten Sie ausreichenden Abstand zu den Korallen. Stellen Sie sich nicht auf das Riff. Vermeiden Sie, mit den Flossen Sediment aufzuwirbeln. Befestigen Sie Ihre Instrumente so, daß diese nicht über das Riff schleifen.*
- *Beteiligen Sie sich demonstrativ nicht an Fischfütterungen.*
- *Nehmen Sie auf keinen Fall Korallen oder andere Rifforganismen mit.*
- *Beteiligen Sie sich als Taucher am Reef Check Programm.*
- *Nehmen Sie Müll wieder mit nach Hause.*

VORBEREITUNG ZUHAUSE AUF DEN TAUCHURLAUB - DAS LEHRVIDEO

Mit dem Lehrvideo „Korallenriffe - Ertauchen, erleben und erhalten“ steht ein ideales Medium zur Verfügung, um vor dem Abflug sich auf den Aufenthalt und die Tauchgänge an den Korallenriffen vorzubereiten. Es kann nur jeder Taucherin und jedem Taucher wärmstens empfohlen werden!

Das Video befaßt sich mit der immer wichtiger werdenden Problematik des Tauchens im Korallenriff und den Schäden, die durch unachtsames Tauchen passieren können. Es ist als Ausbildungsmaterial, insbesondere für die Anfänger und zur generellen Auseinandersetzung mit dem Tauchen an Korallenriffen gedacht.

Dieses Video wurde im Sommer 1995 in Hurghada/Rotes Meer gedreht. Seine grundsätzlichen Aussagen sind jedoch auch für jedes andere Korallenriff gültig, so daß dieses Video ohne Informationsverlust auch z. B. auf den Malediven oder in der Karibik eingesetzt werden kann.

Der allgemeine Teil des Videos zu den Korallenriffen enthält einführende Sequenzen zu den Ursachen der globalen Verbreitung von Korallenriffen (Temperatur, Fehlen von Flüssen), ihrer Horizontal- und Vertikalzonierung (Lagune, Riffkrone, Riffhang, Halde), der Symbiose zwischen Algen und Riffkorallen, den grundsätzlichen Stufen der Nahrungspyramide im Riff und typischen Vertretern sowie deren Ernährungsweisen. Jeder der Einzelpunkte kann vom Tauchlehrer ergänzt und vertieft werden - je nachdem, wo er die Schwerpunkte in der Ausbildung setzt. Auch allgemeinere Fragestellungen (z. B. generelle Auswirkungen des Tourismus auf tropische Meere, Dritte-Welt-Problematik) können anhand des Videos diskutiert werden, da sich bestimmte Sequenzen dieser Thematik widmen.

Die Konzeption des Videos sieht verschiedene Nutzungsmöglichkeiten vor.

Der Tauchlehrer kann

a) den Film "durchlaufen lassen" und als Basisinformation zum Thema Korallenriffe oder zur Einführung in tropische Meeresökosysteme

nutzen (z. B. in der Änfängerausbildung oder der Vorbereitung einer Vereinsfahrt in ein Gebiet mit Korallenriffen),

b) spezielle Sequenzen herausgreifen, mit den Tauchern analysieren und diskutieren und zu Verhaltensänderungen anhalten

c) die schädigenden und schonenden Verhaltensweisen (gute Tarierung, Ankerbojen) vergleichend gegenüberstellen

d) den Film zur Dokumentation von typischen "Anfängerfehlern" (Durch-das-Riff-Laufen, Im-Riff-Stehen, Tarierprobleme, extreme Sedimentaufwirbelung) bzw. Fortgeschrittenenfehlern" (z. B. Fotografen, bewußtes Ins-Riff-Legen) sowie "Basisfehlern" (z. B. Ankern) benutzen

f) im Rahmen der Spezialkurse Meeresbiologie als Unterrichtseinheit "Tauchen und Umwelt" gezeigt werden

g) schließlich das Video auch zeigen, weil es einen wunderschönen Lebensraum in brillanten Bilder dokumentiert.

Dem Tauchlehrer und den interessierten Tauchenden steht somit mit dem VDST-Ausbildungsvideo ein sehr vielfältig einsetzbares und attraktives Medium zur Verfügung. Eine ideale Reisevorbereitung und Reisebegleitung!

VORBEREITUNG UNMITTELBAR VOR DEM TAUCHGANG: CHECK DER AUSRÜSTUNG UND VERHALTENSHINWEISE

Ausgehend von der Biologie und Ökologie, sowie der Bedeutung und dem Schutzwert der Korallenriffe sollten im sogenannten „Briefing der Tauchgangsteilnehmer“ folgende Schwerpunkte gesetzt werden:

☑ *Ausrüstung und korrekter Sitz („Leg’ das Fini an die Leine“!; Lage der Konsole?, wie ist Lampe festgemacht?, Bleigurt (überbleit?), Handschuhe weg!)*

☑ *Sind Übungen geplant? Wo finden diese statt? Platz vorher erkunden und festlegen!*

☑ *Ausführliche Beschreibung des geplanten Tauchgangs, auf korrekte Bezeichnung der Riffabschnitte (Riffdach, -abhang, usw.) achten! Hinweise auf besonders empfindliche „Strukturen“ wie große Gorgonienfächer geben!*

☑ *Verhalten während des Tauchgangs - „Tarieren und Nicht-Berühren“! Flossenlänge und die Wirkung des Flossenschlages beachten! Jegliches Festhalten an Riffkorallen vermeiden, sollte es aus Sicherheitsgründen unbedingt notwendig sein, dann Fläche mit abgestorbenen Korallen aussuchen! Immer ausreichend Abstand vom Riff und vom Grund (Fluchtdistanz der Tiere beachten! Z. B. nicht mit Clownfischen vor ihrer Anemone spielen -fühlen sich bedroht, verteidigen ihre Anemone!, Muränen nicht aus dem Loch ziehen, usw.). Sedimentation, (Korallen - Symbiose mit Algen / Photosynthese; Nahrungserwerb als Tentakelfänger).*

☑ *Nachbereitung - „was habt ihr während des Tauchens gesehen?“ Beantwortung der Fragen zu den Lebewesen setzt meist eine Vorbereitung voraus (s. Literaturliste und Video)! Wichtig: in der Nachbereitung auf Fehler eingehen, Vorschlag zum Bessermachen!*

☑ *Nicht an Fischfütterungen teilnehmen!*

☑ *Ankerverhalten des Tauchbootes beobachten und gegebenenfalls darauf hinweisen, die Bojen zu benutzen!*

☑ *Keinerlei Müll ins Meer werfen, auch keine Zigarettenstummel!*

☑ *Nach Umweltaktionen auf der Basis erkunden und daran teilnehmen bzw. unterstützen (Bsp. HEPCA)*

☑ *Auch andere Tauchgruppen auf Fehlverhalten hinweisen!*

☑ *Beim Tauchen vom Strand aus unbedingt den Einstiegspfad benutzen und diesen nicht verlassen! Vorher sich den Weg übers Riffdach zur Riffkante zeigen lassen!*

☑ *In Unterwasserhöhlen und unter Überhängen sehr behutsam sein. Gedränge vermeiden - führt meist zu unnötigen Schädigungen. Nicht zu lange verweilen - Luftblasen sammeln sich in Nischen im Höhlendach - dort lebende Organismen können in der Luft ertrinken!*

☑ *Keinerlei Schalen, Gehäuse, usw. mitnehmen; keine Souvenirs kaufen!*

EMPFOHLENE LITERATUR:

Brümmer & Leinfelder: Heutige Korallenriffe - Bologie, Ökologie, Geologie und Verbreitung. dieser Band

Brümmer, F. & Xylander, W.: Tauchausbildung und Ökologie - Empfehlungen zu einem umweltgerechten Verhalten.

In: Anfängerausbildung im Tauchsport, U. Hoffmann (Hrsg.), MTi-Press, Stuttgart, 1995, Band 1, S. 135-144.

Brümmer, F., Giese, Ch., Siegel, V., Sonntag, R. & Xylander, W.: Tauchsportsonderbrevets Meeresbiologie. Delius Klasing Verlag Edition Naglschmid Stuttgart, 1996.

Koch, I. und Brümmer, F.: Korallenriffe - Paradiese unter Wasser: Entstehung, Ökologie und Bedrohung.- Boehringer Ingelheim Fonds FUTURA, 11/4, 244-252, 1996.

Leinfelder, R. & Brümmer, F: Der Mensch und die Riffe: Gefährdung, Schutzmaßnahmen. dieser Band

Schuhmacher, H.: Korallenriffe. BLV München, 1976.

Steininger, F. & Maronde, D. (Hrsgg.): Städte unter Wasser - 2 Milliarden Jahre. (Begleitheft zur gleichnamigen Riff-Ausstellung im Naturmuseum Senckenberg). Kleine Senckenberg-Reihe Nr. 24, Verlag Kramer, Frankfurt/M., 1997

Wells, S. & Hanna, N.: Das Greenpeace-Buch der Korallenriffe. C.H. Beck München, 1992.

Xylander, W.: Korallenriffe - ertauchen, erleben, erhalten! VHS-Video, 37 min., DM 42.- (zzgl. Porto und Verpackung) erhältlich über: VDST-Service GmbH, Tannenstr. 25, 64546 Mörfelden-Walldorf, Fax: 06105-961345

H. Zumkowski & W. Xylander: Auswirkungen des Tauchsports, insbesondere der Anfängerausbildung auf Seen und Meere. In: Anfängerausbildung im Tauchsport, U. Hoffmann (Hrsg.), MTi-Press, Stuttgart, 1995, Band 1, S. 129-134.

Weitere Materialien finden Sie im vorhergehenden Beitrag dieses Bandes (Ressourcen)