

MEER UND MUSEUM



Korallenriffe

bedrohte Wildnis tropischer Meere

Inhalt

Geleitworte	H. Benke und H. Schuhmacher	S. 2
Riffkorallen - Baumeister am Meeresgrund, gestern, heute und morgen	H. Schuhmacher	S. 3
Ernährung und Karbonatproduktion zooxanthellater Steinkorallen	D. Schlichter	S. 13
Das Riff als Planktonfilter	C. Richter	S. 28
Die Weichkorallen im Riff	G. B. Reinicke	S. 34
Bioerosion - Riffgestaltung mit Säure und Meißel	P. van Treeck	S. 44
Neue Wege im Riffschutz: Pläne, Pflaster und Prothesen	M. Eisinger, P. van Treeck, M. Paster und H. Schuhmacher	S. 52
Deutsche Rifforschung im Roten Meer	H. Mergner	S. 63
Rotes-Meer-Programm: Frieden für die Riffe - Riffe für den Frieden	G. Hempel	S. 69
Korallenriffe - meine Faszination	D. H. H. Kühlmann	S. 75
Sokotra - ein Blick auf eine außergewöhnliche Inselgruppe im Indischen Ozean	W. Wranik	S. 85
Korallen im Meeresmuseum	G. Schulze	S. 93
Riffaquaristik im Meeresmuseum - zu Problemen der Pflege und Vergesellschaftung	K. H. Tschiesche	S. 96
Das „Internationale Jahr des Riffs 1997“ im Deutschen Museum für Meereskunde und Fischerei	U. Mascow	S. 102
Das Jahr 1997 der Stiftung Deutsches Museum für Meereskunde und Fischerei	H. Benke	S. 104
Buchbesprechungen	G. B. Reinicke und I. Podszuck	S. 110

Titelfoto:

Eine fossile Riffplattform, die durch tektonische Bewegungen des Untergrundes über den Meeresspiegel gehoben wurde, ist unter dem Einfluß des Regenwassers zu einem Labyrinth von Inseln erodiert worden. Auf dem steilen Karstfeld hat sich eine eigene, z. T. endemische Pflanzenwelt entwickelt. Unterhalb der Wasserlinie hält die Kalkproduktion in flachen Lagunen und entlang von Saumriffen an. Palau (Westlicher Pazifik).

MEER UND MUSEUM

Band 14

Korallenriffe -

bedrohte Wildnis tropischer Meere



Schriftenreihe des Deutschen Museums für Meereskunde und Fischerei

1998

Geleitworte

Das Jahr 1997 war von Naturschutzorganisationen zum „Internationalen Jahr des Riffs“ ausgerufen worden. Das geschah aus triftigen Gründen: Nahezu weltweit sind diese einzigartigen, ökologisch so wertvollen und unersetzlichen Lebensräume durch verschiedenartige Einflußnahmen des Menschen bedroht. Auf diese Gefahren sollte nachdrücklich aufmerksam gemacht werden, um Initiativen zum Schutz der Riffe anzuregen. Damit war auch das Deutsche Museum für Meereskunde und Fischerei (DMMF) direkt angesprochen! Neben seinen ständigen Expositionen zum Thema „Korallenriffe“ waren Aktivitäten gefordert, welche die Museumsbesucher und viele Interessenten auf diese brisante und außerordentlich interessante Thematik hinweisen sollten. Es gab dazu eine Reihe verschiedener Aktivitäten (siehe Beitrag von U. Maschow in diesem Band). Zu den Höhepunkten gehörten die Vorträge der namhaften Korallenriffspezialisten Professor Dr. Helmut Schuhmacher und Professor Dr. Dietrich H. H. Kühlmann. Dabei wurde der Gedanke geboren, diese Vorträge einem breiteren Bevölkerungskreis zugänglich zu machen. Sie sollten im nächsten Band unserer hauseigenen Publikationsreihe „Meer und Museum“ veröffentlicht werden! Weitere Beiträge mußten hinzukommen, damit ein „Korallenband“ entstehen konnte.

Professor Schuhmacher war es dann, der dankenswerterweise unsere Idee aufgriff und mit großem Engagement Kollegen und Mitarbeiter seiner „Schule“, dem Institut für Ökologie der Universität Essen, als Autoren gewann, und der für den ersten Teil des Heftes als Schirmherr quasi „den Hut aufnahm“. „Die deutsche Rifforschung im Roten Meer“ faßte Professor em. Dr. Hans Mergner zusammen, und kein anderer wäre dafür prädestinierter, hat er doch die Kontinuität der Forschungen dort begründet. Auch Professor Dr. Gotthilf Hempel, Mitglied unseres Museumsbeirates und Direktor des Zentrums für Marine Tropenökologie in Bremen, sowie sein Mitarbeiter Dr. Claudio Richter erklärten sich zur Beteiligung bereit. Ein Beitrag von Dr. Wolfgang Wraniak, Fachbereich Biologie/Meeresbiologie der Universität Rostock, lag uns vor und ließ sich der Thematik zuordnen. Und schließlich galt es, alles, was sich über Korallen im Meeresmuseum sagen läßt, den wissenschaftlichen Fachbeiträgen anzufügen. So hoffen wir, daß allen Beteiligten eine gehaltvolle Publikation gelungen ist, die „Korallenfreunden“, seien es Wissenschaftler, Studenten oder am Thema interessierte Naturfreunde, ein breites Spektrum an aktuellen Informationen über Korallen und Korallenriffe erschließt.

Dr. Harald Benke
Deutsches Museum für Meereskunde und Fischerei, Stralsund

Korallenriffe sind den Seefahrern seit Urzeiten bekannt; wissenschaftlich galten sie lange nur als exotische Rarität. Diese Einschätzung änderte sich vor einem halben Jahrhundert, als fossile Riffe als potentielle Erdöl-speicher erkannt wurden. Die Riffgeologie erhielt vor dem Hintergrund eminenter wirtschaftlicher Konsequenzen einen gewaltigen Aufschwung und diversifizierte in viele Einzeldisziplinen. Im „Windschatten“ dieser Entwicklung erfuhr auch die Biologie und Ökologie rezenter Riffe - zuvor eher ein „Orchideenfach“ - mehr Beachtung und Förderung. Das Interesse an Riffen als fischereiwirtschaftliche Ressource und neuerdings auch als wertvoller touristischer Anziehungspunkt zeigt weitere Nutzungsansprüche auf. Seit ungefähr zehn Jahren ist ein erneuter Paradigmenwechsel zu verzeichnen: Das Korallenriff wird nicht mehr nur hinsichtlich seines Ausbeutungspotentials, sondern vor allem als unschätzbare Wert an sich, speziell als nachwachsender Küstenschutz und genetische Schatzkammer, gesehen. Diesen einzigartigen Wert gilt es zu schützen und für die Nachwelt zu bewahren. Denn das Riff - eine „Ikone“ heiler Umwelt - zeigt zunehmend und weltweit Krankheits- und Verfallssymptome. Hier gegenzusteuern ist eine neue Herausforderung an die Wissenschaft.

Ich bin dem Deutschen Museum für Meereskunde und Fischerei in Stralsund sehr dankbar für die Möglichkeit, neuere Arbeitsergebnisse von Riffbiologen und -ökologen vorzustellen, die das komplexe wechselseitige Beziehungsgefüge beleuchten und auch die sensiblen Schaltstellen deutlich machen, die den Niedergang eines Riffes einleiten können. Über das Aufzeigen ökologischer Zusammenhänge und Anmahnung entsprechender Beachtung hinaus - das erwartet man von Wissenschaftlern allemal - werden auch praktische Ansätze für eine Rehabilitation und nachhaltige Nutzung der Riffe über das nächste Jahrhundert hinaus skizziert. Die meisten Grundlagen-Untersuchungen wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert - zuletzt in einem hauptsächlich geologisch ausgerichteten Schwerpunktprogramm „Biogene Sedimentation - Riffrevolution (1990 bis 1996)“.

Prof. Dr. Helmut Schuhmacher
Institut für Ökologie, Universität Essen

Riffkorallen - Baumeister am Meeresgrund gestern, heute und morgen

H. Schuhmacher

Korallen sind die einzigen Organismen auf der Erde, die so große Bauwerke schaffen, daß sie noch aus dem Weltraum zu erkennen sind. Die Atolle im weiten Blau der Ozeane, die sich von bis zu 1.200 m tief gelegenen vulkanischen Sockeln zur Meeresoberfläche erheben, und das Große Barriereriff, welches sich über mehr als 2.000 km vor der Nordostküste des australischen Kontinents erstreckt, sind Beispiele für die Bauleistung der winzigen Korallenpolypen.

Die alten Meister

Auch schon in früheren Erdzeitaltern haben Korallen und andere Tiergruppen - sowie auch Algen - Kalkmengen abgeschieden, die uns heute noch als Gebirge entgegentreten. So sind die bayrischen und österreichischen Kalkalpen und die Dolomiten als gewaltige Riffkomplexe während der Trias in einem damals warmen Meer abgelagert worden. Nur wenige Wanderer und Skiläufer, die sich im Gebiet des Dachsteins, der Seiser Alm oder entsprechenden Touristenzentren tummeln, erkennen aber die bis heute gut erhaltenen morphologischen Strukturen Riffdach, Riffhang, Vorriff und Lagunenbereich. Die maßgeblichen Riffbauer waren Korallen und kalkabscheidende Schwämme: Noch früher, im Devon (vor ca. 380 Mill. Jahren), hatten vornehmlich Stromatoporen (kalzifizierende Schwämme) Riffe aufgebaut, die z. B. in der Eifel, im Sauerland und im Harz zum heutigen Gebirgscharakter der Landschaft beitragen. In besonders guter Erhaltung sind die mitteldevonischen Riffbauer im Bereich der Steinbrüche an der mittleren Lahn aufgeschlossen. Der rötlich gemusterte „Lahnmarmor“ wurde nämlich nicht gebrochen oder durch Sprengung gewonnen, sondern in großen glatten Scheiben aus dem Berg gesägt, um als wertvolles Baumaterial in al-

Abb. 1: „Anatomie“ eines mitteldevonischen Stromatoporenrieffs - aufgelassener Steinbruch bei Villmar (Lahn). Die hellen „Flecken“ sind angeschnittene Stromatoporen.



le Welt versandt zu werden (z. B. New York: Empire State-Building, Moskau: Kreml - Braun & Königshof, 1997). Die anstehenden senk- und waagrechten Gesteinsflächen zeigen Schnitte durch die in Lebendstellung erhaltene riffbauende Gemeinschaft (Abb. 1): Zu jener Zeit waren es hauptsächlich kalkabscheidende Schwämme, die sich massig aufwölbten, gegenseitig überkrusteten, die dem freien Wasser zuwuchsen und von Schutt und Feinsediment begraben wurden. Ein Schnitt durch ein heutiges, von Korallen dominiertes Riff unterscheidet sich auf den ersten Blick nur unwesentlich. Sollten sich bei gleichbleibenden abiotischen Bedingungen die Strategien der Riffbauer im Laufe der Erdgeschichte nicht verändert haben?

Die für den Riffbau wichtigen Eigenheiten jener ausgestorbenen Stromatoporen lassen sich an einem heutigen Nachfahren, *Ceratoporella nicholsoni*, studieren. Dieses lebende Fossil findet sich - schwer zugänglich - in Höhlen und am tieferen Riffhang (zwischen 20 und 150 m) karibischer Riffe. Eine 0,5 mm dünne lebende Schicht überzieht eine kissen- bis sackförmige Kalkmasse (Abb. 2). Diese fällt durch ihre hohe Dichte auf. Tatsächlich wird der Kalk in hauchdünnen Lagen von ca. 0,2 mm pro Jahr abgeschieden, woraus ein Alter von mehreren hundert Jahren für eine brotlaibgroße Kolonie errechnet werden kann (Lehnert & Reitner, 1997. Eine metergroße, teilweise noch lebende Kolonie wird von Helmut Lehnert gar auf ein Alter von ca. zweitausend Jahren taxiert, was als Altersrekord im Tierreich im Herbst 1997 durch die Tagespresse ging.). Die mechanische Festigkeit dieses Schwammenskelettes ist außerordentlich hoch: Die Druck- und Biegezugfestigkeit übertrifft die von Beton um das Fünffache (Schuhmacher & Plewka, 1981). Mit solchem Baumaterial ließe sich ein höchst solides Bollwerk gegen zerstörerische Brandungskräfte er-

Abb. 2: *Ceratoporella nicholsoni* in einer Riffhöhle an der Nordküste Jamaikas; die Oscula (Öffnungen der wasser-ausführenden Kanäle) sind als kleine konische Erhebungen erkennbar (Abstände ca. 1,5 cm).



richten. Erkauft wurde diese Qualität durch extrem langsames Wachstum und vermutlich nur beschränkte Reparaturfähigkeit der Kolonien. Auf wechselnde Umweltbedingungen (Sedimenteintrag, Überwachsen

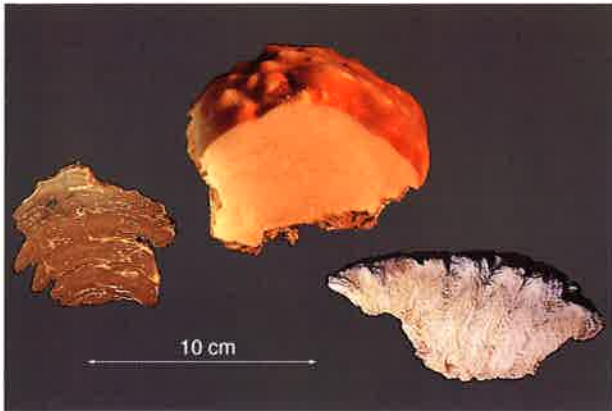


Abb. 3: Zwischen den Skeletten der Stromatoporen *Actinostroma clathratum* (links) und *Ceratoporella nicholsoni* (Mitte) liegen ca. 360 Mill. Jahre; rechts das materialsparende Skelett eines modernen Riffbauers, der Steinkoralle *Colpophyllia natans*.

Abb. 4: Schnittfläche durch eine *Porites*-Kolonie unter UV-Licht: Fluoreszenzbänder von Huminstoffen, die vor Taba (Sinai Nordostküste) mit dem winterlichen Grundwasser in das Riff einsickern.



durch andere festsitzende Organismen) konnten diese Schwämme nicht hinreichend rasch und flexibel reagieren.

Insbesondere die modernen Steinkorallen, deren Vorfahren sich bis zur Trias zurückverfolgen lassen, bauen ihr Riff nach einem anderen „Konzept“. Ihr Skelett ist wesentlich poröser als das von *Ceratoporella* und daher auch wesentlich weniger fest (Abb. 3); hingegen beträgt das Skelettwachstum ein bis mehrere Zentimeter pro Jahr. Mit dieser Strategie werden zwar Brandungsschäden in Kauf genommen, sie lassen sich allerdings relativ rasch reparieren, und auf veränderte Umweltbedingungen kann durch entsprechendes Wachstum reagiert werden. Die heutige Verteilung von Steinkorallen und Stromatoporen-Nachfahren im Riff zeigt deutlich, daß sich die „solide“, aber extrem langsame Bauweise gegen das „flexible Verhalten“ der Steinkorallen nicht behaupten konnte - *Ceratoporella* kommt nur noch an Refugial-Standorten vor.

Im Laufe der Erdgeschichte kamen und gingen noch viele andere Organismengruppen, die Kalkmassen anhäuften. Die ersten Bauleistungen überhaupt erfolgten durch Rasen von Bakterien (auch Cyanobakterien), die zwischen ihren Zellfäden Feinsediment akkumulierten und mit ausgefälltem CaCO_3 verzementierten. Solche Stromatolithen sind bereits aus dem Präkambrium bekannt und werden auch heute noch gebildet: Berühmt sind die von der Blaualge *Entophysalis* gebildeten kopf- bis sackförmigen Felsstrukturen im Gezeitenbereich der Shark-Bay, Westaustralien. Eine besonders spektakuläre Gruppe von Riffbauern waren auch die zu den Muscheln zählenden Rudisten; in erstaunlicher Formenvielfalt besiedelten sie die seichten Sedimentböden während der Kreidezeit (Schumann & Steuber, 1997).

Bei der Betrachtung eines heutigen Riffes darf keinesfalls die Bauleistung früherer, z. T. auch ausgestorbener Riffbauer übersehen werden. Tatsächlich ist ein Riffkörper die gemeinsame Leistung früherer und heutiger Riffbauer, wobei die Bauleistung nach der letzten Eiszeit (also während der letzten 10.000 Jahre) oft nur eine wenige Dezimeter oder Meter dicke Schicht beigetragen hat - nur in Einzelfällen wurde ein postglaziales Riffwachstum von bis zu 20 m (Camoin et al., 1997) gemessen. Das bedeutet, daß die heutige Riffform maßgeblich durch die Wind- und Wettererosion während des eiszeitlichen Trockenfallens bestimmt wurde, als der Meeresspiegel zwischen 90 und 120 m unter dem heutigen Niveau lag. Der CO_2 -Gehalt im Regenwasser hat damals Plattformriffe zu Schlüsselformen erodiert, hat Abflußrinnen (heutige Bootspassagen) in den Rifftrand gekerbt und die Ansatzstellen für die spätere Wiederansiedlung durch Korallen herausgearbeitet (s. Titelbild). Fossile Brandungskehlen in verschiedenen Tiefen unter dem Meeresspiegel zeugen von hinreichend langen Meerestiefständen, um den fossilen Riffhang entsprechend einzukerben. Besonders die Hohlkehlen zwischen 5 und 20 m ziehen Taucher an, da sich hier Langusten, Zackenbarsche und Muränen zwischen farbigen Hornkorallen und Schwämmen verstecken.

Nicht genug damit, daß die fossilen Riffbauer den maßgeblichen Unterbau für die heutigen Riffaufbauten bereitstellten, sie haben auch die zu ihren Lebzeiten herrschenden Umweltbedingungen aufgezeichnet. Die „versteinerten Protokolle“ lassen sich heute entschlüsseln. Spurenverbindungen aus dem Wasser wurden mit dem Kalk in das Skelett eingelagert. Neben der genauen Datierung der fossilen Skelette anhand radioaktiver Beimengungen sind Rückschlüsse auf die Wassertemperatur und sogar auf die Vegetation an Land möglich. Die Anteile der unterschiedlich schweren Isotope ^{12}C und ^{13}C sowie ^{16}O und ^{18}O im Kalkmolekül geben Hinweise auf die jeweilige Wassertemperatur und machen Korallenskelette zu Paläothermometern (Pätzold, 1985). Huminsäuren aus terrestrischer Pflanzenproduktion lassen sich im Skelett detektieren (Abb. 4) und zeigen entsprechende Einschwemmungen in das Riff an. An der heute wüstenhaften Sinaiküste führen die Wadis nur gelegentlich Regenwasser ins Meer; während der Eiszeit hingegen ermöglichte ein Regenzeitklima eine Waldbedeckung, was nicht zuletzt durch eine regelmäßige Einlagerung der abgeschwemmten Huminstoffe in die zeitgenössischen Korallenskelette belegt wird (Klein et al., 1990).

Die modernen Riffbauer

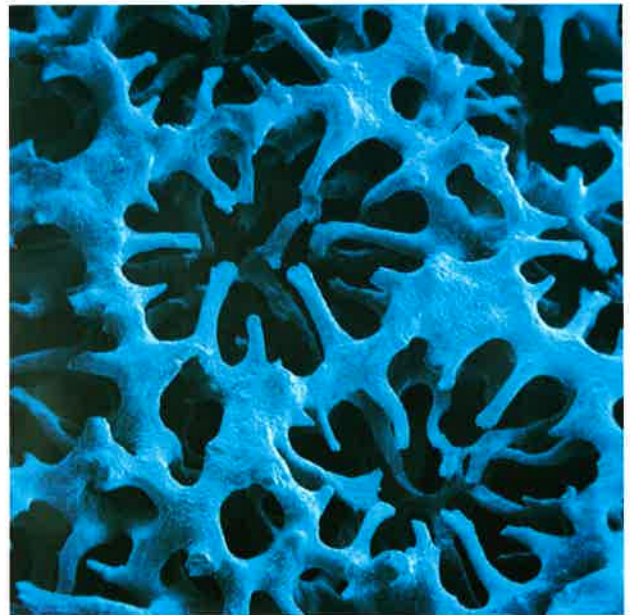
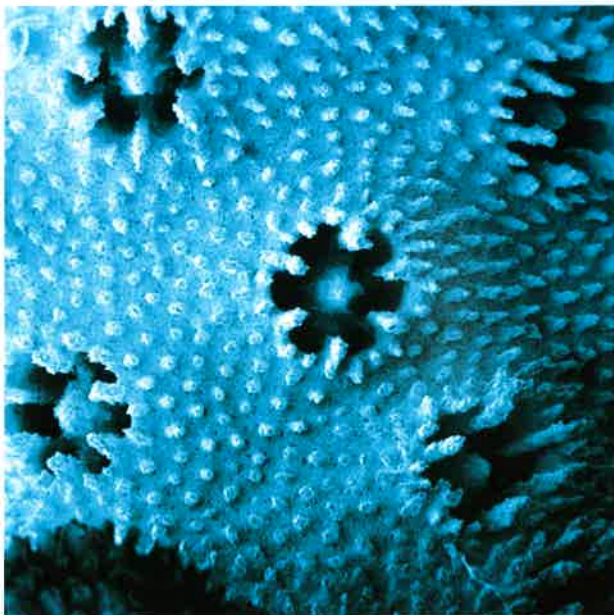
Die heutigen riffbauenden (= hermatypischen) Korallen gehören im Wesentlichen der Hexacorallia-Ordnung Scleractinia (Steinkorallen) an; hinzu kommen einige skelettbildende Hydrozoen (*Millepora* spp.) und Oktokorallen (*Heliopora caerulea* und die Orgelkoralle *Tubipora musica* - s. Beitrag Reinicke in diesem Band). Alle gehören zum Stamm der Nesseltiere (Cnidaria). Kalkkrotalgen spielen als schützende Kruste an extrem brandungsexponierten Stellen eine wichtige konsolidierende Rolle (Abb. 5), weswegen Korallenriffe zutreffend als „coralgal reefs“ bezeichnet werden. Die modernen Scleractinia treten zum ersten Mal in der Trias in Erscheinung; doch erst im Verlauf des Tertiärs haben sie sich als maßgebliche Riffbauer gegenüber anderen Gruppen (Schwämme, Muscheln,



Abb. 5: Kalkkrotalgen (*Porolithon* sp.) dominieren an besonders brandungsexponierten Riffen und bilden einen Schutzpanzer (Holandes Cays, Karibik).

aber auch Mikroben) durchgesetzt. Ihr Erfolg liegt in der „symbiontischen Allianz“ mit Algen (Zooxanthellen) begründet. Über die vielerlei ökophysiologischen Wechselwirkungen und Synergieeffekte dieser Symbiose unterrichtet näher der Beitrag von Schlichter. Ein Effekt, der immer wieder hervorgehoben wird, ist die Beschleunigung der Kalzifikation. Für die Qualität des Riffbaumaterials ist jedoch nicht nur die rasche Bereitstellung, sondern auch die Festigkeit von Bedeutung. Unter diesem Aspekt wurden die Skelette der einzelnen Korallenarten bisher nur wenig betrach-

Abb. 6: Rasterelektronenmikroskopische Ansichten der Griffelkoralle *Stylophora pistillata* (links unten) und *Alveopora* sp. (rechts unten). Während die robuste Griffelkoralle selbst in der Brandungszone vorkommt, kann sich das zu einem losen Spangennetz aufgelöste Skelett von *Alveopora* nur in strömungsstillen Bereichen halten (Kelchdurchmesser 1-3 mm).





tet. Tatsächlich gibt es Korallenskelette mit hoher Druck- und Biegezugfestigkeit, was mit einer geringen Porosität einhergeht, und solche mit einem stark porösen, wenig widerstandsfähigen Skelett (Abb. 6). Letztere sind quasi „Trittbrettfahrer“ im Riff - das heißt, sie nutzen strömungsgeschützte Nischen in dem Gerüstwerk, welches von den echten Riffbauern gebildet wird. Diese „primären Gerüstwerkbildner“ bilden Säulen, Stangen, Platten und weit ausladende Zweige aus, die sekundären Gerüstbauer erfüllen die Zwischenräume mit polsterartigen bzw. krustigen Skeletten. Letztere wachsen z. T. mit einem Minimum an Kalkaufwand (80 % Porenraum) in die Höhe, um ihr zooxanthellenhaltiges Gewebe möglichst weit dem Licht zu exponieren. Aber auch die vom Wasserandruck besonders gefährdeten säulig oder stangenförmig aufragenden Formen optimieren ihren Materialeinsatz durch Ausbildung röhrenförmiger Strukturen. (Abb. 7).

Ein besonders widerstandsfähiges Skelett findet sich bei der in indopazifischen Riffen durch ihre schwarzgrüne Farbe auffallende Art *Tubastraea micranthus* (Abb. 8). Die in einer Ebene verzweigten Äste ragen bis zu zwei Meter über den Untergrund. Sie trotzen nicht nur dem Angriff heftiger Strömung, sondern sogar auch den Druckwellen bei der zerstörerischen Dynamitfischerei. Die hohe Festigkeit des Skelettes kommt durch eine sukzessive Verkalkung des Porenraumes tief im Skelett zustande, wo das kalkifizierende Gewebe noch lange am Leben bleibt. *Tubastraea micranthus* ist der einzige primäre Gerüstwerkbauer ohne Zooxanthellen - also eine hermatypische azooxanthellate Art (Schuhmacher, 1984). Die Koloniform - ein Fächer quer zur vorherrschenden Strömung - weist die Art eindeutig als Planktonfänger aus. Umgekehrt sind nicht alle zooxanthellaten Arten riffbauend; mag man den schwammig strukturierten Skeletten der Gattung *Alveopora* (Abb. 6) schon keine „tragende Rolle“ im Riff zutrauen, so sind erst recht Zweifel gegenüber den lose am Boden liegenden Einzelkorallen der Gattung *Fungia* (Abb. 13) angebracht. Die bisherige Gleichsetzung zooxanthellenhaltig = riffbauend hält einer ökologischen Analyse nicht stand (Schuhmacher & Zibrowius, 1985).

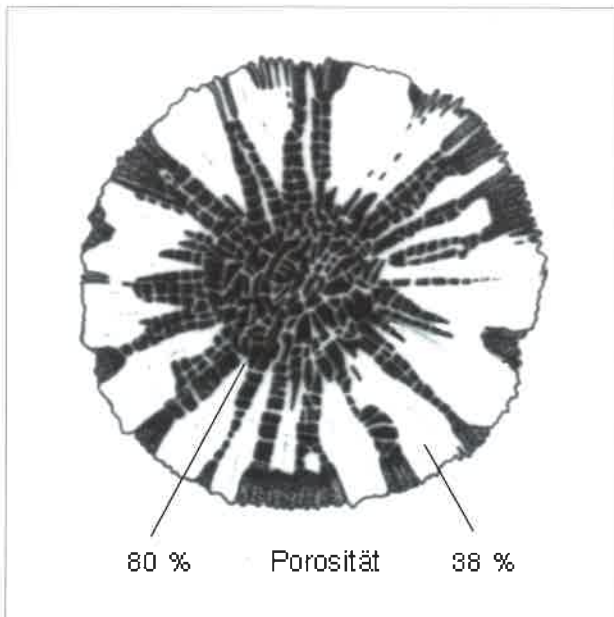


Abb. 7 a (oben): Die Säulenkoralle *Dendrogyra cylindrus* wird in karibischen Riffen bis zu 2,5 m hoch. Sie erreicht ihre Festigkeit durch dichte Kalkeinlagerung im peripheren Bereich (Porosität 38 % im Rand-, hingegen 80 % im Zentralbereich).

Abb. 7 b (unten): Verteilung unterschiedlicher Skelettdichten im Querschnitt einer *Dendrogyra*-Säule.

Beim Aufbau eines modernen Riffes sind prinzipiell vier Prozesse beteiligt: Gerüstbau, Verkittung, Sedimentverfüllung, Zementation. Dem stehen riffabbauende Prozesse entgegen - vor allem die mechanische Zerstörung (Sturmereignisse) und die Bioerosion. In einem ausgebildeten Riff laufen alle Prozesse gleichzeitig nebeneinander ab. Am frühen Beginn einer Riffbildung ist jedoch eine Abfolge zu beobachten. Bestimmte Pionierarten unter den Korallen - meist kurzlebige Zweigkorallen - bilden ein erstes Primärgerüst, in dessen Maschenwerk sich Muschelschalen und andere Kalkbruchstücke fangen und durch Kalkrotalgen, krustige Foraminiferen, Bryozoen und auch krustige Korallen miteinander verkittet werden (Abb. 9). Von dieser Basis aus setzen weitere primäre Gerüstbauer raumgreifende Strukturen fort. Die Zwischenräume werden von aufwachsenden sekundären Gerüstbildnern und von Sedimentmaterial allmählich verfüllt. Korallenbruch der Pionierkolonien und andere



Abb. 8: Kolonie von *Tubastraea micranthus* mit nachts geöffneten Polypen.

Kalkschalen und Gehäuse akkumulieren in den strömungsstillen Nischen. Krusten von Kalkrotalgen, Foraminiferen, Bryozoen und auch Korallen verkitten die losen Sedimentpartikel miteinander und mit dem Gerüststrahlen. Schließlich stellt die Zementation eine weitere (spätere) Konsolidierung hin zu einheitlichem Riffgestein dar: Hierbei werden die Porenräume in und zwischen den Kalkbruchstücken im Verlauf komplizierter Lösungs- und Ausfällungsreaktionen allmählich von Aragonit- und Kalzitlagen zugesetzt.

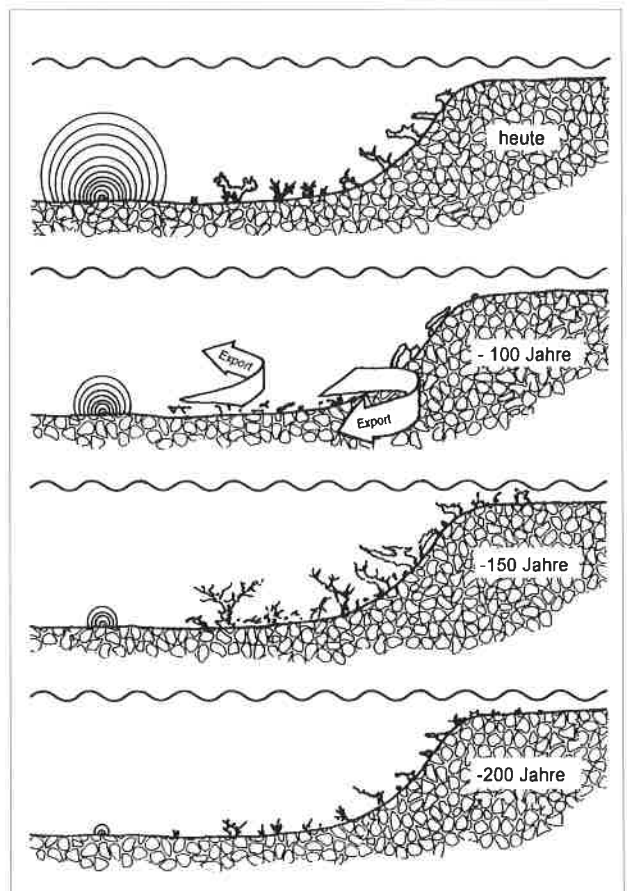
Die für den Riffaufbau notwendige Akkumulation von Kalkmaterial erfolgt am zuverlässigsten im Skelett einer großen, lange lebenden Korallenkolonie. Für die Gesamtbilanz der Riffbildung ist daher nicht nur der Flächenanteil lebender Korallen von Bedeutung, sondern auch die Dauer kontinuierlicher Abscheidung

Abb. 9: Das primäre Gerüstwerk einer tischförmigen *Acropora*-Kolonie wird nach dem Absterben von Kalkrotalgen überkrustet, verkittet und verfestigt.



Abb. 10a: Riesenkolonie von *Porites* sp. bei Aqaba, Ausmaße 5,5 x 3 x 3,5 m, die kurz vor der Französischen Revolution zu wachsen begann.

Abb. 10b: Diagramm der Wachstumsgeschichte - während die Kolonie im Verlauf ihrer 200jährigen Geschichte (Heiß, 1996) fortlaufend Kalk akkumuliert, wird in der Umgebung nur in relativ kurzen Zeitabschnitten (einige Jahrzehnte lang) Kalk abgeschieden; in den Produktionspausen wirkt die Bioerosion und ein „Jahrhundertsturm“ (Pfeil) kann die mürben Kalkskelette wegschwemmen.



von Kalk. Eine über viele Jahrzehnte bzw. Jahrhunderte hinweg wachsende Korallenkolonie spielt für den Riffaufbau eine ganz andere Rolle als Bestände kurzlebiger Arten (Abb. 10). Bei der üblichen Beurteilung eines Korallenriffbestandes - ob ein Riff „ge-

sund“ sei - wird die demographische Struktur aber noch nicht beachtet. Kurzlebige Arten, die natürlicherweise nach 10 - 20 Jahren absterben, geben ihr Kalkskelett bald dem Angriff von Bohrschwämmen und abradierenden Weidegängern frei. Bis es wieder zur Ansiedlung eines kalkskelettbildenden Organismus kommt, geht eventuell sogar über längere Zeit Material durch Erosion und Abrasion verloren.

Bei dem zunehmend durchgeführten „reef monitoring“, um den Zustand von Riffen zu erfassen und zu vergleichen, wird oft als pauschale Größe der Anteil lebender Bedeckung gegenüber freiem Korallenfels bzw. Sandflächen erfaßt. Im Hinblick auf das Riffwachstum ist es jedoch erheblich, ob die Lebendbedeckung aus hermatypischen Arten (die also zum Riffaufbau beitragen) oder aus ahermatypischen (nichtriffbildenden) Arten besteht. Zu letzteren gehören Rassen aus Krusten- und Scheibenanemonen sowie von Weichkorallen. Nicht selten werden sie von Laien jedoch für Korallen gehalten. Besonders Weichkorallen nehmen in den indopazifischen Riffen fast die gleiche Fläche ein wie Steinkorallen (siehe Beitrag von Reinicke). Wenn diese Weichkorallen auch nicht zum Riffaufbau beitragen, so verhindern ihre Überzüge zumindest den Abtrag von Material durch Beweidung und vermutlich auch durch interne Bioerosion. Die unbesetzten freien Flächen im Riff sind hingegen einem schleichenden Materialverlust ausgesetzt. Externe Bioerodierer (Papageifische, Seeigel) sowie Bohrschwämme und andere interne Bioerodierer tragen beständiges Material ab (zur Bioerosion s. Beitrag von van Treec in diesem Band). Bioerosion transformiert anstehendes Kalkmaterial in Feinsediment, welches teilweise in Lückenräumen des Riffes verbleibt, teilweise in größere Tiefen verschwemmt wird.

Die Anteile von hermatypisch, ahermatypisch und überhaupt nicht besiedelten Flächen im Riff schwanken im Verlauf der Zeit. Dramatische Änderungen deuten jedoch auf äußere Störungen hin. So war bei einem Testareal bei Aqaba, welches im Jahre 1976 zu ungefähr gleichen Teilen von Stein- und Weichkorallen (Flächenanteil letzterer 20,6 %) besiedelt war (Mergner & Schuhmacher, 1981), die vorherrschende Weichkorallengruppe der *Xenia*-Arten bei einer Kontrolle im Jahre 1982 verschwunden und bis 1989 (Flächenanteil der Weichkorallen 1,4 %) nicht wieder aufgetreten (Mergner et al., 1994). Das Verschwinden der Arten an der gesamten jordanischen Küste fiel zeitlich mit größeren Baumaßnahmen zur Hafenerweiterung zusammen. Die von den Weichkorallen geräumten Flächen wurden nur zögernd von Pionierkorallen (vor allem *Stylophora*- und bestimmten *Acropora*-Arten) besiedelt. Am abgelegenen Sanganeb-Atoll im mittleren Roten Meer hatten sich die speziellen Besiedlergemeinschaften am Außen- und Innengang zwischen 1980 und 1991 hingegen nur unwesentlich geändert (Schuhmacher et al., 1995).

Gegenspieler der riffbauenden Korallen sind natürlich auch ihre Freßfeinde. Bekannt ist der Dornenkronen-Seestern *Acanthaster planci*, der im indopazifischen Raum weit verbreitet ist und gelegentlich Massenvermehrungen zeigt. Auch im Roten Meer sind zum er-



Abb. 11: Massenaufreten des Dornenkronen-Seesterns *Acanthaster planci* an der Sinai-Südspitze, Juli 1998.

sten Mal im Sommer 1998 *Acanthaster*-Plagen bei Ras Muhammed und Hurghada festzustellen (Abb. 11). Weniger spektakulär, aber in ihrer Wirkung ähnlich ist die Schnecke *Drupella cornus* (s. Beitrag Eisinger et al. in diesem Band, S. 52, Abb. 1). Seesterne und Schnecken weiden bevorzugt das Gewebe von *Acropora*-Kolonien ab, die zu den wichtigsten Riffbildnern zählen. Das verbleibende tote Skelett wird dann von anderen Organismen besiedelt oder erodiert. Subfossile Reste von *Acanthaster* gehen mit erhöhtem Sedimentanfall einher, was belegt, daß die denudierten Korallenskelette einer erhöhten Bioerosion ausgesetzt waren (Fabricius & Fabricius, 1992).

Der Mensch und die Zukunft der Riffe

Zu dem natürlichen Wechselspiel von riffauf- und -abbauenden Prozessen ist in den letzten Jahrzehnten ein neuer Faktor hinzugetreten, der in Zukunft noch erheblich an Bedeutung gewinnen wird. Es ist der Mensch bzw. seine vielfältigen direkten und indirekten Einwirkungen auf den Rifflebensraum. Bisher haben sie sich nur negativ auf die Riffentwicklung ausgewirkt. Als besonders nachteilig machen sich Eutrophierung, Küstenverbau und Sedimentbelastung bemerkbar.

Eutrophierung bedeutet die Beschleunigung der Primärproduktion in Folge vermehrt verfügbarer Nährstoffe. Das Korallenriff ist nun gerade dadurch ausgezeichnet, daß es die knappen Pflanzennährstoffe Stickstoff und Phosphor in der oben schon genannten „symbiontischen Allianz“ zwischen Korallentier und Alge optimal recycelt. Wenn nun kein Mangel mehr an diesen Pflanzennährstoffen besteht, geraten die Recycling-Spezialisten ins Hintertreffen gegenüber freilebenden Algen und „konventionellen“ Planktonfiltrierern. Fädige und fleischige Algen breiten sich aus und überwuchern die lichtabhängigen Korallen. Ähnlich überwachsen oder überschatten Schwämme, Weich- und Hornkorallen, Muscheln, Manteltiere und andere Planktonfiltrierer die Riffbildner. Denn die Eutrophierung der Küstengewässer bewirkt auch eine höhere Planktondichte. Das erhöhte Nährstoffangebot

stammt von Einschwemmungen vom Land nach Abholzung der Wälder, Landerosion und künstlicher Düngung. Eutrophierend wirken auch die Abwasser-einleitungen der wachsenden Bevölkerung. Sie haben noch einen speziellen Effekt: Die Bakterienmengen, die organische Verbindungen in häuslichen Abwässern abbauen, dienen Schwämmen als Nahrung und lassen auch die Bestände von Bohrschwämmen auf das Fünffache im Vergleich zu unbelasteten Kontrollstellen ansteigen (Rose & Risk, 1985).

Der wachsende Nutzungsdruck auf die Küstenstriche der Erde äußert sich auch in Baumaßnahmen für Wohn-, Industrie-, Hafen- und Straßenanlagen. Sie verändern die Strömungsbedingungen und Bodensubstrate im küstennahen Flachwasserbereich. Aufschüttungen und Eintiefungen müssen künstlich erhalten werden. Das mit Trübstoffen unnatürlich befrachtete Wasser wird zudem von einem stark gestiegenen Schiffsverkehr ständig umgerührt. Die erhöhten Sedimentationsraten führen zu einem Dauerstreß, dem viele festsitzende Organismen nicht gewachsen sind (Abb. 12).

Auch in einem vom Menschen kaum beeinflussten Riff fallen Schutt und Sediment an, wenn z. B. ein starker Wirbelsturm ein Riff „kurz und klein“ geschlagen hat. Nach Tagen bzw. wenigen Wochen hat sich jedoch auch das Feinmaterial abgesetzt und wird von Kalkalgen überkrustet und von Foraminiferen und anderen Organismen verkittet. Nach wenigen Jahren ist ein solcher Schutthang konsolidiert und von jungen Korallen besiedelt. Im Gegensatz hierzu sind Schürfstrecken für Baumaterial auf dem Riff, Schiffsstrandungsstellen und Bauschutt, der auf das Riffdach geschoben wurde, noch nach über zehn Jahren mobile Geröllfelder. Statt der verkittenden Kalkorganismen siedeln sich kurzlebige Grünalgen an und dienen herbivoren Fischen als Weide. Eine Korallenwiederansiedlung erfolgt, wenn überhaupt, nur sehr sporadisch. Wie sich die ständige Resuspension und Sedimentation von Feinmaterial im einzelnen als Dauerstreß auswirkt, soll am Beispiel der Pilzkoralle *Fungia* näher ausgeführt werden.

Pilzkorallen (*Fungia*-Arten) weichen als solitäre, lose am Boden liegende Korallen vom allgemeinen Schema der Riffkorallen ab (Abb. 13). Die dem umgedrehten Hut eines Lamellenpilzes ähnlichen Korallen stellen die verbreiterte Mundscheibe eines ca. 1 cm großen, am Hartboden festgewachsenen Einzelpolypen (Trophozoid) dar. Seine Mundscheibe löst sich vom Stiel, wenn sie ungefähr die Größe einer Münze erreicht hat und wächst dann, am Boden liegend, weiter. Der Stiel produziert an der Abbruchstelle nach ein bis zwei Jahren eine neue Mundscheibe, die sich später auch ablöst - das wiederholt sich über viele Jahre hinweg. Den unscheinbaren Trophozoiden findet man im Riff am besten, wenn man in der Nähe der in Gruppen (Klon!) beieinanderliegenden, unterschiedlich großen *Fungia*-Scheiben sucht.

Für experimentelle Manipulationen sind Pilzkorallen besonders geeignet, da sie ohne Verletzung vom Substrat entfernt und versetzt werden können. Im



Abb. 12: Abweichend von den meisten Rifffarstellungen in Hochglanzbroschüren sieht die Wirklichkeit trübe aus. Fast nur noch Weichkorallen halten sich auf einem 5 m tief gelegenen Rifffelcer in der Nähe des Hafens von Aqaba.

Hinblick auf Sedimentationsbelastung sind bei ihnen effektive Reaktionsmechanismen zu erwarten, da sie unmittelbar dem Boden aufliegen. Versuchsreihen mit wiederholter Besandung zeigten, daß die Korallenoberfläche mit Hilfe eines Schleimfilmes von Sediment befreit wird (Schuhmacher, 1979). Das Schleimband wird vom Wimpernschlag der Epidermiszellen

Abb. 13: *Fungia fungites*: Trophozoid mit einer Sequenz abgelöster Mundscheiben.



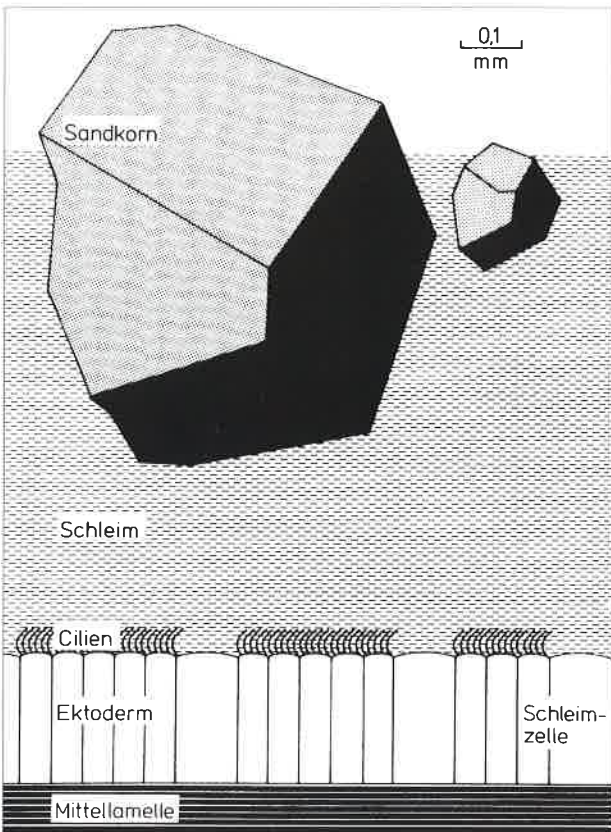


Abb. 14: Schema des Sandtransportes im Schleimfilm von *Fungia* (aus Schuhmacher, 1979).

angetrieben und transportiert die Sedimentpartikel zum Rand der Scheibe (Abb. 14 und 15). Erneute Einsandung stimuliert weitere Schleimzellen zur Sekretion. Diese Drüsenzellen sind holokrin, d. h. sie gehen nach Abgabe ihres Inhaltes zugrunde. Nach wenigen Abschiebeaktionen ist der Bestand funktionsfähiger

Abb. 15: Umkehr der Transportrichtung je nach Qualität der auflagernden Partikel: Sediment (S) wird zum Rand, Futter (z. B. Fischstückchen, F) wird zum Mund transportiert. Die Korallenscheibe kann noch „viertelgenau“ differenzieren, bei engerer sektoraler Lagerung setzt sich die Reinigungsreaktion durch; bei konzentrischer Angebotsabfolge von Sand und Fisch zeigt sich die überlegene Rolle der Mundregion bei der Steuerung der Abschieberichtung (aus Schuhmacher, 1979).

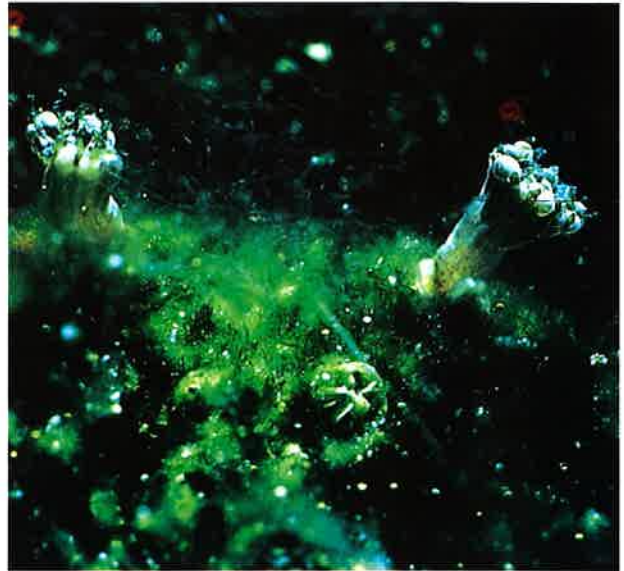
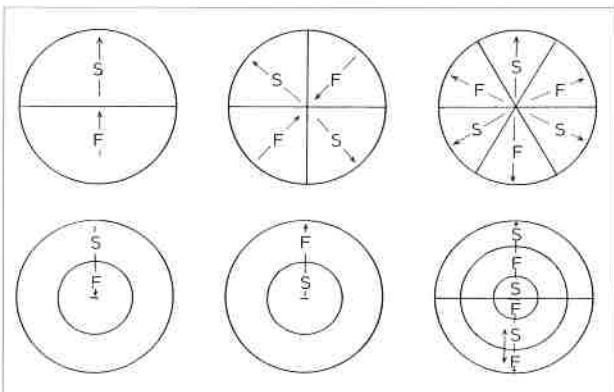


Abb. 16: *Fungia*-Scheibe mit Fadenalgen und Sekundärtrophozoiden (8 mm hoch).

Schleimzellen erschöpft. Junge interstitielle Zellen müssen erst zu einer Schleimzelle heranreifen, bevor die Sedimentlast wieder entfernt werden kann. Während dieser Frist von mehreren Stunden bis zu zwei Tagen leidet das Korallengewebe an mangelndem Stoffaustausch, insbesondere an Sauerstoffnot - es kann sogar absterben. Besonders empfindlich ist die Mundregion. Aus Geweberesten kann später ein Sekundärtrophozoid regenerieren (Abb. 16).

Die experimentellen Befunde an *Fungia* erlauben generelle Folgerungen für Riffkorallen schlechthin: Erhöhter Sedimentgehalt im Wasser bedeutet nicht nur geringere Lichtzufuhr (was bisher als hauptsächlich nachteiliger Einfluß gesehen wurde), sondern bedeu-

Abb. 17: *Porites* sp. mit Schleimfilm



Abb. 18 a: Rasterelektronenmikroskopische Ansichten von Kelchen normaler (links) und zunehmend atrophierter Sekundär-Trophozoiden (rechts); Kelchdurchmesser ca. 2 mm.

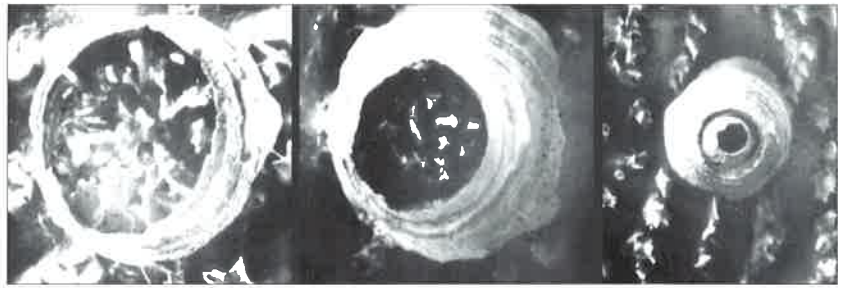
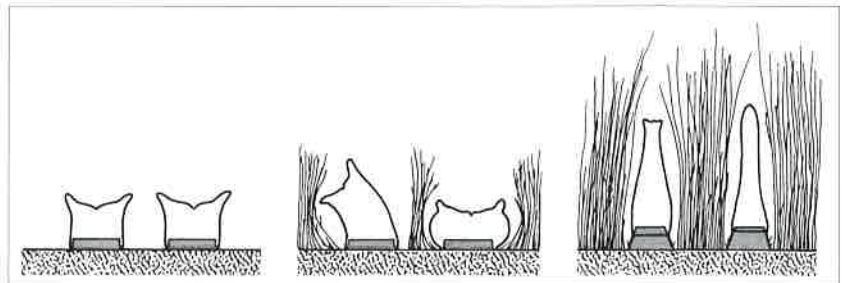


Abb. 18 b: Abwehrverhalten von Sekundär-Trophozoiden gegen raumkonkurrierende Fadenalgen; links - ohne Algenkonkurrenz, Mitte und rechts - wenn Wegstemmen und Aufblähen die schneller wachsenden Algen nicht mehr aufhalten können, strecken sich die Polypen ungewöhnlich lang und atrophieren anschließend (nach Aquarienbeobachtungen).



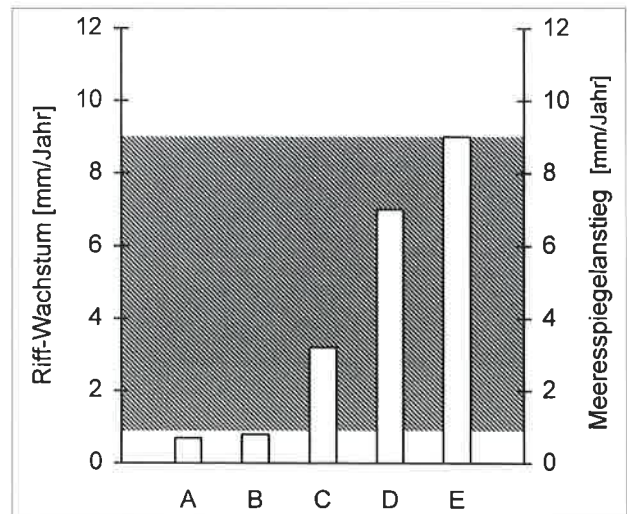
tet einen ständigen Energieverlust durch den Reiz zur Schleimbildung (Abb. 17). Der Schleim - noch auf der Koralle oder in kleinen Nischen des Riffes zusammenschwemmt - ist wiederum Nährboden für Bakterien, die Sauerstoff verbrauchen. Obwohl das brandungsbewegte Wasser über dem Riff als 100%ig sauerstoffgesättigt gilt, können an austauscharmen Stellen nachts unmittelbar über der Oberfläche O_2 -zehrender Substrate (hierzu gehört auch Korallengewebe) O_2 -Gehalte nahe null auftreten! Wenn eine Korallenkolonie erst einmal partiell in ihrer Vitalität geschwächt ist und langsamer wächst, kann sich in der entstehenden Vertiefung ein Gemisch aus Sand und organischen Partikeln ansammeln mit der Konsequenz, daß das Korallengewebe abstirbt und Bohrschwämme und Bohrmuscheln eindringen sowie Algen, Schwämme und andere aufsitzende Organismen das umliegende Korallengewebe zurückdrängen.

Die oben angesprochene besondere Eignung von Pilzkorallen für Versuchszwecke kann auch in anderer Hinsicht genutzt werden: Eine nach einem Sedimentationstrauma weitgehend abgestorbene Korallenscheibe mit winzigen Sekundärtrophozoiden wurde als Modell eines Riffbodens mit gerade angesiedelten Korallenpolypen betrachtet (Abb. 16). Um die Situation der Raumkonkurrenz mit fädigen Algen nachzustellen, wurden Korallenscheiben im Aquarium unterschiedlich belichtet. Bei Schwachlicht entwickelten sich die Trophozoiden normal, bei Starklicht atrophierten sie hingegen (Abb. 18), nachdem sie sich zunächst buchstäblich gegen die sie überwuchernde Algenkonkurrenz gestemmt hatten.

Wie sieht nun die Zukunft der Korallenriffe aus? Für das kommende Jahrhundert wird allgemein mit einem Anstieg des Meeresspiegels mit einer Rate von 2 bis 9 mm pro Jahr gerechnet (Wilkinson & Buddemeier, 1994). Prognosen über die künftige Entwicklung der Riffe orientieren sich an Beispielen in der Vergangenheit, vor allem während des Meeresspiegel-Anstieges nach der letzten Eiszeit (Abb. 19). Während zahlreiche Riffe den Anschluß an den steigenden Wasserspiegel

nicht halten konnten und heute als Korallenbänke in 10 bis 20 m Tiefe (z. B. Chagos Archipel) existieren, konnten andere mit vorübergehenden Wachstumsraten von 5 - 8 mm pro Jahr nahe der Wasseroberfläche bleiben oder hierzu wieder aufschließen. Es ist jedoch mehr als fraglich, ob diese Hochrechnungen in die Zukunft fortgeschrieben werden können. Denn seit diesem Jahrhundert ist ein gravierender neuer Faktor für die Korallen- und Rifftwicklung zu beachten: der anthropogene Einfluß. Während früher der Mensch höchstens einmal mit einem Einbaum das Riff tangierte, betreffen gegenwärtig und in naher Zukunft eine

Abb. 19: Prognostizierter Meeresspiegelanstieg für das kommende Jahrhundert und bisher gemessene Rifftwachstumsraten. Der gerasterte Bereich gibt das Spektrum der prognostizierten Anstiegsraten an - eine mittlere Rate von 4 bis 6 mm/Jahr wird am wahrscheinlichsten gehalten. Die Säulen kennzeichnen Wachstumsraten, je nach Riffbereich. A: Lagune, B: Mittelwert über alle Riffbereiche, C: Riffdach, D: Zone 100%iger Bedeckung mit „Korallendickicht“, E: Maximal gemessener Wert (verändert aus Wilkinson & Buddemeier, 1994).



Vielzahl von menschlichen Aktivitäten das Riff - und zwar immer zu seinem Nachteil. Etwa 50 % des gesamten Sedimenteintrages in die Ozeane der Welt erfolgt im westlichen tropischen Pazifik um Neuguinea, Philippinen und Indonesien herum (Milliman, 1992). Die Bilder der verheerenden Waldbrände auf Borneo und Nachbarinseln im Jahr 1997 gingen monatelang um die Welt; die anschließende rückhaltlose Abschwemmung der Asche und des Bodens in die küstennahen Riffe blieb hingegen der Weltöffentlichkeit verborgen. Die fortschreitende Entwaldung des tropischen Hinterlandes sowie der Bevölkerungsanstieg in Küstennähe sind todsichere Ursachen für einen weiterhin ansteigenden Sediment- und Nährstoffeintrag in die vorgelagerten Flachmeerbereiche. Damit sind die Weichen gestellt für einen gleitenden Wechsel in der Besiedlergemeinschaft küstennaher Riffe weg von Steinkorallen hin zu Algen, Schwämmen, Weichkorallen, Muscheln und Ascidien. Wenn aber hermatypische Formen durch ahermatypische ersetzt werden, kann das Riff nicht mehr wachsen - im Gegenteil, da interne Bioerosion und Abrasion sogar verstärkt weiterhin stattfinden, kann das Riff „schrumpfen“. Aus ökologischer Sicht ist solch ein Aspektwechsel wertfrei zu sehen; im Laufe der jüngeren Erdgeschichte sind selbstwachsende Kalzifizierergemeinschaften des öfteren von anderen, ebenfalls blühenden Gemeinschaften abgelöst worden (Hallock & Schlager, 1986). Volkswirtschaftlich bedeutet allerdings der Wegfall des natürlichen Brandungsschutzes vor den dicht bevölkerten Küstenstrichen Kosten von kaum vorstellbarer Höhe. Die Sedimenteinträge vom Land können die stagnierenden bzw. schwindenden Riffmassen nur zu einem kleinen Teil ausgleichen. In diesem Szenario haben nur Riffe, die weit entfernt von Landmassen liegen (z. B. pazifische Atolle) und solche in Wüstengürteln (Rotes Meer) eine Chance, im bisherigen Maße zu wachsen und mit dem steigenden Meeresspiegel Schritt zu halten.

Ein Grund für die Nichtbeachtung der eben skizzierten Zusammenhänge liegt darin, daß die Küstenmeere im Allgemeinbesitz sind und keine starken Interessensvertreter haben. Verarmte Bauern streben nach wie vor an die Küste, um sich aus der „Almende“ (Mangrove und Riff) als Fischer zu ernähren. Doch sind die Ressourcen längst übernutzt. Wenn als Alternative nicht nur ideelle, sondern konkrete wirtschaftliche Gründe für den Schutz der Riffe sprechen, kann es auch zu einer Umsteuerung der Nutzung kommen. Neue „incentives“ (Anreize) sind Deviseneinnahmen aus dem Tourismus. Aber auch hier wird, wie im Beitrag von Eisinger et al. am Beispiel des Tauchtourismus ausgeführt wird, schon wieder Raubbau betrieben. Konzepte einer nachhaltigen diversifizierten Nutzung und Schonung der Riffressourcen, wie sie in dem genannten Beitrag umrissen werden, sind Voraussetzung dafür, die Riffe für unsere nächsten Generationen zu erhalten. Es erfordert einen starken Glauben an die Realisierung und Einhaltung der notwendigen nationalen und internationalen Abkommen, um die Zukunft der Riffe nicht düster zu sehen.

Literatur:

- Braun, R. & P. Königshof (1997): Trockenem Fußes durch ein Riff. In: Steininger, F. F. & D. Maronde (Eds) Städte unter Wasser. Kl. Senckenbergreihe, 24: 117 - 122, Frankfurt.
- Camoin, G. F., M. Colonna, L. F. Montaggioni, J. Casanova, G. Faure & B. A. Thomassin (1997): Holocene sea level changes and reef development in the southwestern Indian Ocean. *Coral Reefs*, 16: 247 - 259.
- Fabricius, K. E. & F. H. Fabricius (1992): Re-assessment of ossicle frequency patterns in sediment cores: rate of sedimentation related to *Acanthaster planci*. *Coral Reefs*, 11: 109 - 114.
- Hallock, P. & W. Schlager (1986): Nutrient excess and the demise of coral reefs and carbonate platforms. *Palaios*, 1: 389 - 398.
- Heiß, G. A. (1996): Annual band-width variation in *Porites* sp. from Aqaba, Gulf of Aqaba, Red Sea. *Bull. mar. Sci.*, 59: 393 - 403.
- Klein, R., Y. Loya, G. Gvirtzman, P. J. Isedale & M. Susic (1990): Seasonal rainfall in the Sinai desert during the late Quaternary inferred from fluorescent bands in fossil corals. *Nature*, 345: 145 - 147.
- Lehnert, H. & J. Reitner (1997): Lebensdauer und Regeneration bei *Ceratoporella nicholsoni* (Hickson, 1911) und *Spirastrella (Acanthochaetetes) wellsii* (Hartman & Goreau, 1975). *Geol. Bl. NO-Bayern*, 47: 265 - 272.
- Mergner, H. & H. Schuhmacher (1981): Quantitative Analyse der Korallenbesiedlung eines Vorriffareals bei Aqaba (Rotes Meer). *Helgoländer wiss. Meeresunters.*, 34: 337 - 354..
- Mergner, H. & H. Schuhmacher (1985): Quantitative Analyse von Korallengemeinschaften des Sanganeb-Atolls (mittleres Rotes Meer). I. Die Besiedlungsstruktur hydrodynamisch unterschiedlich exponierter Außen- und Innenriffe. *Helgoländer wiss. Meeresunters.*, 39: 375 - 417.
- Mergner, H., H. Schuhmacher & D. Kroll (1994): Longterm changes in the coral community of a fore reef area near Aqaba (Red Sea): 1976-1989. *Proc. 7th Int. Coral Reef Symp.*, Guam 1: 104 -113.
- Milliman, J. D. (1992): River sediment discharge to the sea: new analysis of old data. *UNESCO Tech. Pap. Mar. Sci.*, 64: 56 - 66.
- Pätzold, J. (1984): Growth rhythms recorded in stable isotopes and density bands in the reef coral *Porites lobata* (Cebu, Philippines). *Coral Reefs*, 3: 87 - 90.
- Rose, Ch. S. & M. Risk (1985): Increase in *Cliona delitrix* infestation of *Montastrea cavernosa* heads on an organically polluted portion of the Grand Cayman Fringing Reef. *P.S.Z.N.I: Marine Ecology*, 6: 345 - 363.
- Schuhmacher, H. (1979): Experimentelle Untersuchungen zur Anpassung von Fungiiden (Scleractinia, Fungiidae) an unterschiedliche Sedimentations- und Bodenverhältnisse. *Int. Revue ges. Hydrobiol.*, 64: 207 - 243.
- Schuhmacher, H. (1984): Reef-building properties of *Tubastraea micranthus* (Scleractinia, Dendrophylliidae), a coral without zooxanthellae. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 20: 93 - 99.
- Schuhmacher, H. & M. Plewka (1981): Mechanical resistance of reefbuilders through time. *Oecologia*, 49: 279 - 282.
- Schuhmacher, H. & H. Zibrowius (1985): What is hermatypic? *Coral Reefs*, 4: 1 - 9.
- Schuhmacher, H., D. K. Kroll & G. B. Reinicke (1995): Long-term fluctuations of coral communities at Aqaba and on Sanganeb-Atoll (northern and central Red Sea) over more than a decade. *Beitr. Paläont.*, 20: 89 - 97.
- Schumann, D. & T. Steuber (1997): Rudisten - Erfolgreiche Siedler und Riffbauer der Kreide-Zeit. In: Steininger, F. F. & D. Maronde (Eds) Städte unter Wasser. Kleine Senckenbergreihe, 24: 117-122, Frankfurt.
- Wilkinson, C. R. & R. W. Buddemeier (1994): Global climate change and coral reefs: Implications for people and reefs. *UNEP-IOC-ASPEI-IUCN Report*, 124 S., Gland.

Ernährung und Karbonatproduktion zooxanthellater Steinkorallen

D. Schlichter

Die Rolle von Steinkorallen für das Riffwachstum

Am Aufbau rezenter Riffe, warmer und lichtdurchfluter Flachwasserlebensräume, sind eine Vielzahl kalkproduzierender Organismen beteiligt. Unter ihnen sind koloniebildende Steinkorallen und Kalkalgen die wichtigsten Kalklieferanten. Die Bedeutung der Steinkorallen und der Kalkalgen bei der Riffbildung beschränkt sich nicht nur auf die Kalkproduktion. Zwischen den Korallenkolonien verfangen sich abgebrochene Korallenäste, Schalen von Schnecken und Muscheln sowie die winzigen Skelettelemente von Einzellern, Weichkorallen, Schwämmen und Stachelhäutern, das heißt, dieser zurückgehaltene Schutt trägt ebenfalls zum Riffwachstum bei. Ferner sind Korallen Strömungshindernisse und verstärken die Sedimentation suspendierter Teilchen, die dann auch zur Riffentwicklung beitragen. In erheblichem Maße werden solche mikroskopisch kleinen Kalkpartikel durch Bohrschwämme, Seeigel und Papageienfische produziert (siehe Beitrag von Treeck in diesem Band).

Damit es zur Ausbildung stabiler und dauerhafter Riffstrukturen kommt, die der Einwirkung der Brandung standhalten, muß das zunächst nur locker angehäuften Kalkmaterial verfestigt werden. Bei diesem Stabilisierungsprozeß spielen krustenartig wachsende Steinkorallenarten, Schwämme, Moostierchen und vor allem Kalkalgen eine herausragende Rolle sowie kalkabscheidende Mikroorganismen, deren Bedeutung man lange unterschätzte. Zementation und diagenetische Prozesse tragen zur weiteren Stabilisierung der Riffe bei (siehe Beitrag Schuhmacher in diesem Band).

Die riffaufbauenden und die riffabbauenden Prozesse gehen größtenteils auf die Leistung von Lebewesen zurück. Die dafür benötigte Energie gewinnen diese durch die Aufnahme von Nahrung. Die Zusammenhänge zwischen Ernährung und Wachstum sollen im folgenden besprochen werden.

„Photoautotrophe Tiere“

Organismen brauchen ständig Energie, 1) um sämtliche Lebensprozesse in Gang zu halten, 2) um zu wachsen und 3) um sich zu vermehren. Pflanzen können die dafür benötigten organischen Substanzen bekanntermaßen selbst synthetisieren. Die Photosynthese macht es möglich, Strahlungsenergie biochemisch zu speichern. Pflanzen und Cyanobakterien, die diese Eigenschaften besitzen, werden als photoautotroph bezeichnet. Im Gegensatz dazu ernähren sich Tiere heterotroph: Sie sind auf energiereiche Nährstoffe angewiesen, die von anderen Lebewesen stammen (Pflanzen oder Tieren).

Interessanterweise haben sich während der Entwicklung von Organismen auf unserer Erde Tiere und Pflanzen zu neuen Kombinationsorganismen (Doppelorganismen) zusammengeschlossen, die dadurch sowohl pflanzliche als auch tierische Eigenschaften besitzen. Die beiden Partner des Zusammenlebens brin-

gen Eigenleistungen in das Zusammenleben ein und profitieren von den Leistungen des Partners. Diese Art des Zusammenlebens bezeichnet man als Symbiose. Durch die Vereinigung ist ein neuartiges Lebewesen mit erweiterten adaptiven Eigenschaften entstanden, das mehr leisten kann als die jeweiligen Untereinheiten können.

Zu den in der Evolution erfolgreichsten Doppelorganismen dieses Kombinationsbautyps gehören die riffbildenden Steinkorallen der Tropen und Subtropen. Die Korallen wurden durch die Aufnahme von Mikroalgen in ihren Körper funktionell photoautotroph. Dieser Evolutionsschritt war entscheidend für die energetische Versorgung der Steinkorallen in Lebensräumen mit einem geringen heterotrophen Nahrungsangebot (Nahrungsenergie-dichte) und damit für deren Erfolg seit mindestens 200 Millionen Jahren.

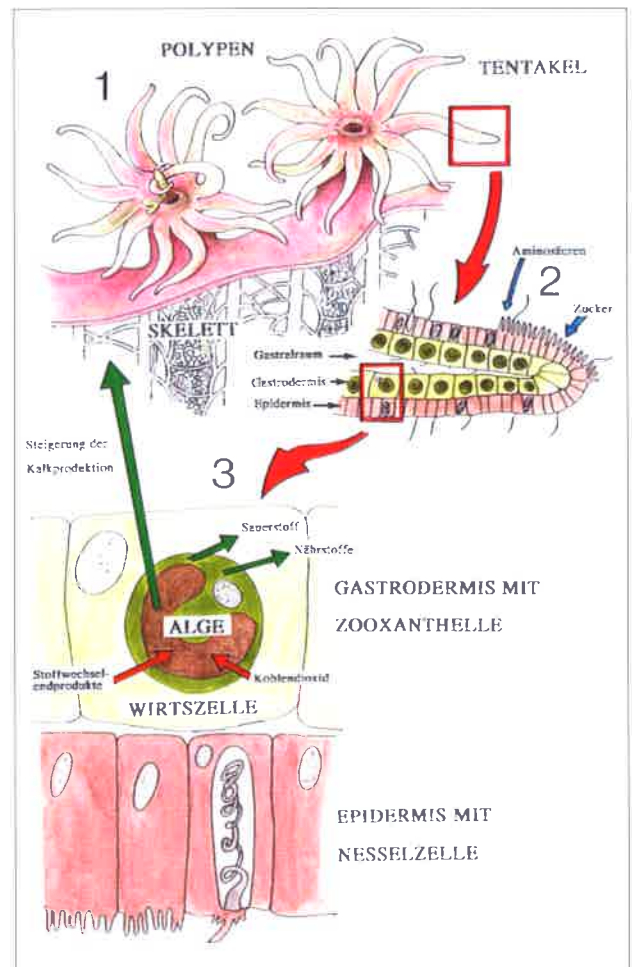


Abb. 1: Organisation und geweblicher Aufbau von Steinkorallen. Über die Möglichkeiten 1 - 3 können sich Korallen mit Nahrung versorgen: 1 = Beutefang (Plankton, organische Partikel). 2 = Aufnahme gelöster organischer Verbindungen (Zucker, Aminosäuren). 3 = Nutzung von Photoassimilaten der symbiontischen Algen (Zooxanthellen).

Grundzüge der Organisation von Steinkorallen

Riffbildende Steinkorallen sind aus bis zu einigen Tausend miteinander verwachsenen, genetisch identischen Einzeltieren (Polypen) aufgebaut (Abb. 1). Der Aufbau aus funktionsgleichen Untereinheiten bringt Vorteile mit sich. Dies äußert sich insbesondere in der integrierten Nährstoffversorgung innerhalb einer Kolonie und darin, daß Kolonien flexibler auf Veränderungen in der Umwelt reagieren. Freie oder freiwerdende Flächen können durch neugebildete Individuen umgehend besiedelt werden. Die Ausbildung von Kolonien macht es möglich, auch den freien Raum der Wassersäule zu erobern. Beschädigungen jedweder Art (mechanisch, durch Parasiten, durch Räuber) können durch neue Individuen beseitigt werden. Zu diesen Leistungen sind Einzelkorallen, die es neben kolonialen Arten auch gibt, nur in geringerem Umfang fähig. Der prinzipielle Bauplan von Steinkorallen ist einfach und ursprünglich und hat sich seit 550 Millionen Jahren in seinen Grundzügen bewährt.

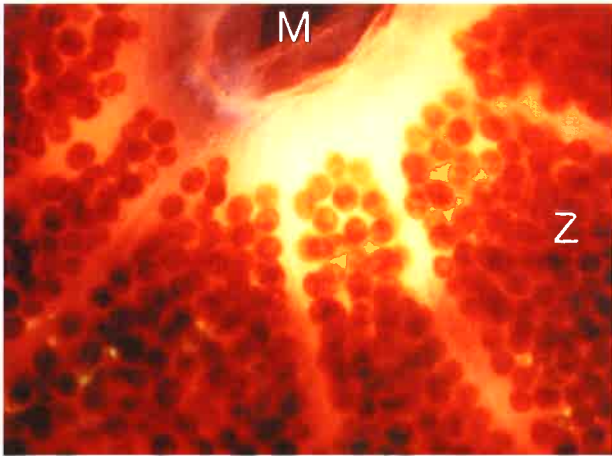


Abb. 2: In Zellen der Gastrodermis riffaufbauender Steinkorallen leben einzellige Mikroalgen, die Zooxanthellen. Ihre Anzahl kann, lichtabhängig, bis zu einige Millionen pro Quadratzentimeter Korallenoberfläche betragen. Durchmesser der Zooxanthellen (Z) 8 - 10 μm . Lichtmikroskopische Aufnahme.

Mundscheibe von *Stylocoeniella armata*;
M = Mundöffnung.

Die zentrale Körperhöhle (der Gastralraum) eines Einzelpolypen ist von einer Körperwand umgeben, die aus einer äußeren und einer inneren Gewebelage aufgebaut ist; dazwischen liegt eine fast zellfreie Schicht (Abb. 1). Den gleichen Aufbau haben auch die Körperareale zwischen den Polypen. In der äußeren Körperwand (der Epidermis) sind neben verschiedenen Zelltypen auch die Nesselzellen (= Cniden, = Nematocyten) lokalisiert, die diesem Tierstamm (Nesseltiere = Cnidaria) den Namen gaben. Sie werden zur Verteidigung und zum Beutefang eingesetzt. In vielen Zellen der inneren Körperwand (der Gastrodermis) leben einzellige Mikroalgen (8 - 12 μm im Durchmesser), die systematisch zu den Dinoflagellaten (Panzergeißler) gehören (Abb. 1 - 3). Sie liegen in membranumhüllten

Vakuolen im Cytoplasma der Wirtszelle (Abb. 3). Der Name der Mikroalgen - Zooxanthellen - bezieht sich auf deren braun-gelbe bis dunkelbraune Färbung und auf den Umstand, daß sie in Tieren leben. Die Färbung von Korallen geht z. T. auf die der Zooxanthellen zurück. Korallenarten mit Zooxanthellen werden als zooxanthellat bezeichnet, zooxanthellenfreie Arten als azooxanthellat (Schuhmacher & Zibrowius, 1985).

Mit molekularbiologischen Methoden konnte gezeigt werden, daß es sich bei den Zooxanthellen, die in verschiedenen Korallen-, Seeanemonen-, Muschel- und Einzellerarten leben, nicht um eine Art handelt, wie dies früher vermutet wurde, sondern um mehrere Arten.

Der Gastralraum ist durch Septen untergliedert. Dadurch wird die Stabilität erhöht und die innere Oberfläche vergrößert. Die Verdauung und die Nahrungsresorption werden dadurch verbessert. Der Gastralraum steht mit dem umgebenden Wasser über eine Körperöffnung in Verbindung. Die Gastralräume der Einzelpolypen einer Kolonie kommunizieren miteinander und bilden ein Gastrovaskularsystem, das mehrere Funktionen hat: 1) In ihm werden Beuteorganismen vorverdaut. Die Endverdauung findet innerhalb von Zellen der Gastrodermis statt. 2) Über das Gastrovaskularsystem wird die Nahrung innerhalb der Kolonie verteilt. 3) Das Wasser im Gastrovaskularsystem unterstützt die Sauerstoffversorgung und den Abtransport von Stoffwechselendprodukten. 4) Der flüssigkeitsgefüllte Gastralraum spielt als sogenanntes „Wasserskelett“ bei Such- und Fangbewegungen eine wichtige Rolle.

Um die Mundöffnung der meisten Korallenarten stehen Tentakel, die insbesondere beim Beutefang eingesetzt werden. Meist ist die gesamte Körperoberfläche dicht mit Cilien besetzt, die Nahrungspartikel zum Mund befördern oder Sedimentpartikel von der Oberfläche wegtransportieren (Abb. 6).

Die dem Kalkskelett zugewandte äußere Gewebeschicht (die Epidermis) scheidet dieses außerhalb des Körpers ab. Es ist aus aragonitischem Kalziumkarbonat aufgebaut. Die einzelnen Skelettkelche, auf denen die Polypen sitzen, unterscheiden sich bei den einzelnen Arten sehr stark in Größe und Gestalt. Es gibt Arten mit winzigen Polypen (1 mm im Durchmesser), z. B. bei den Hirschgeweihkorallen (*Acropora* sp.). Daneben kommen auch großpolypige Arten vor, so haben z. B. die Polypen der Becherkoralle (*Lobophyllia* sp.) einen Durchmesser von bis zu 15 cm. Die Größe der Polypen wurde früher mit der Größe der erbeuteten Nahrung in Beziehung gesetzt, eine derartige Korrelation besteht aber nicht.

Das lebende Gewebe einer Koralle, das das Skelett als hauchdünner Film überzieht (100 bis 200 μm dick), macht nur ca. 1% des Koloniegewichtes aus, in Ausnahmefällen kann es auch darüber liegen.

Die Wuchsformen von Kolonien verschiedener Korallenarten unterscheiden sich sehr stark in Größe und Gestalt. Die Ausprägung der individuellen Koloniestalt kann bei ein und derselben Art standortbedingt sehr verschieden ausfallen, das heißt die Koloniestalt ist bei vielen Korallenarten nicht streng festge-

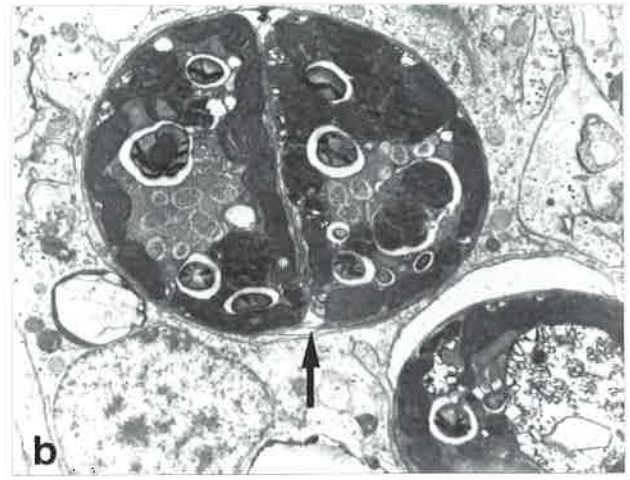
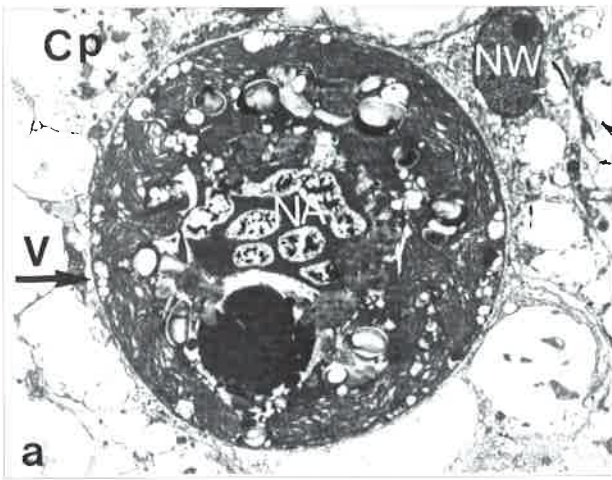


Abb. 3 a, b: Die Zooxanthellen (*Symbiodinium microadriaticum*) leben im Cytoplasma (Cp) ihrer Wirtskorallen. Sie liegen innerhalb einer Vakuole (V) und vermehren sich durch Teilung (Abb. 3 b). Durch den Besitz der symbiontischen Algen sind die Korallen funktionell photoautotroph. NM = Kern der Wirtszelle, NA = Kern der Zooxanthelle; Transmissionselektronenmikroskopische Aufnahmen.

legt. Ein Beispiel ist die Stachelkelchkoralle (*Echinopora* sp.), deren Skelette massig oder auch fingerförmig sein können. Wirksam bei der Modifikation sind Wasserbewegung und Wassertiefe, wobei der Überfaktor Wassertiefe verschiedene Teilfaktoren beinhaltet: Sonneneinstrahlung (Lichtintensität), Temperatur, Druck. Ferner verändert sich tiefenabhängig auch das Angebot an planktischer Nahrung.

Korallen mit symbiontischen Algen sind kein Einzelfall

Zusammenschlüsse von Mikroalgen und Vertretern verschiedenster Tierstämme zu Doppelorganismen mit erweiterten adaptiven Eigenschaften sind in aquatischen Lebensräumen keine Seltenheit. Der Zusammenschluß von Pflanzen und Tieren - und die daraus resultierende funktionelle Photoautotrophie - hat sich während der organismischen Evolution einige Male unabhängig voneinander wiederholt. Solche Partnerverflechtungen sind im Stamm der Nesseltiere besonders häufig (Korallen, Seeanemonen, Quallen, grüner Süßwasserpolyptyp). Daneben existieren auch Zusammenschlüsse von Mikroalgen mit Einzellern, Plattwürmern, Mollusken und Manteltieren.

Konkurrenz am Riff

Riffe der Tropen und Subtropen bieten Lebensraum für eine Vielzahl artverschiedener Organismen, die alle um ein beschränktes Raumangebot und um knappe Nahrungsressourcen konkurrieren. Die festgewachsenen Korallenkolonien sind beweglichen Arten im Nahrungswettbewerb unterlegen, weil sie - strömungsbedingt - völlig von der zufälligen Versorgung mit Nahrung abhängen. Die Kolonien wachsen gerichtet in die

vorherrschende Strömung hinein, dadurch können aus dem durchfließenden Wasser Nahrungspartikel effektiv herausgefangen werden. Da sich Korallen aber nicht nur wie Tiere, sondern auch wie Pflanzen ernähren, sind sie trotz des Handicaps der Sessilität sehr erfolgreich im Kampf ums Überleben in einem Lebensraum, in dem es von Spezialisten wimmelt.

Die verschiedenen Steinkorallenarten an einem Riff stehen nicht nur mit anderen Tierarten in Konkurrenz - die ähnliche ökologische Ansprüche haben - sondern auch untereinander.

Heute sind rund 1.000 Steinkorallenarten bekannt (fossil über 5.000 Arten); am Aufbau von Riffen sind weltweit ca. 550 - 600 Arten beteiligt, wovon rund 500 Arten Zooxanthellen besitzen.

Im Laufe ihrer Stammesgeschichte entwickelten die unterschiedlichen Steinkorallenarten ernährungsphysiologische Anpassungen. Durch Spezialisierung können einige Arten solche Nahrungskomponenten verwerten, die andere Arten nicht nutzen.

Die aktuelle Verbreitung der verschiedenen Korallenarten am Riff zeigt, daß diese im Laufe der Evolution ihre eigenen Nischen besetzten, wobei neben anderen ökologischen Faktoren auch die am Standort verfügbare Nahrung (Nahrungsenergiegedichte) eine Rolle spielte.

Wenn wir den aktuellen Standort einer bestimmten Steinkorallenart am Riff beurteilen, unterstellen wir, daß die dort herrschenden ökologischen Bedingungen optimal für die betreffende Art sind. Das Vorkommen kann aber auch nur Ausdruck dafür sein, daß die meisten Korallenarten ein weites ökologisches Toleranzspektrum haben. Einen Anhaltspunkt liefert die Larvalbiologie: Anhand des aktuellen Standortes kann nicht entschieden werden, ob dies eine aktive, also echte Wahl war, oder ob das Festsetzen der Larven ein zufälliges (stochastisches) Ereignis gewesen ist. Das heißt, von Tausenden oder Millionen von Larven, die sich völlig unkontrolliert irgendwo festsetzten und sich zu Gründerpolyptypen umwandelten, überlebten nur sehr wenige und wuchsen zu Kolonien heran.

Ernährungsmöglichkeiten zooxanthellater Steinkorallen

Sowohl für die Aufrechterhaltung sämtlicher Lebensprozesse, als auch für die Vorgänge, die zur Abschei-

derung des Kalkskelettes führen, benötigen Steinkorallen „Energie“, die sie in Form von Nahrung zu sich nehmen. Zooxanthellenhaltige Steinkorallen, und dies sind fast ausnahmslos die riffaufbauenden (= hermatypischen) Arten, nutzen zusätzlich Nährstoffe, die ihnen die Zooxanthellen liefern (siehe unten).

Steinkorallenarten, die am Aufbau tropischer Flachwasserriffe beteiligt sind, verfügen über bis zu drei Möglichkeiten sich mit Nahrung zu versorgen. Die Nahrungsquellen sind in Abbildung 1 schematisch zusammengefaßt.

Partikuläre Nahrung

In Fängen mit Planktonnetzen oder in Proben, die mit Wasserschöpfern am Riff genommen werden, findet sich ein artenreiches Angebot planktischer tierischer und pflanzlicher Organismen. Den größten Anteil am Zooplankton haben Kleinkrebse und deren Larven sowie Larven von Weichtieren, Ringelwürmern und Fischen. Energetische Abschätzungen lieferten Indizien dafür, daß das Angebot an Netzzooplankton nicht ausreicht, um sämtliche Korallen zu ernähren, d. h. die Nahrungsenergie-dichte ist zu gering. Tote organische Partikel unterschiedlichster Größe sind auch verfügbar und stammen von sich zersetzenden Pflanzen und Tieren, Exkrementen oder Häutungspanzern von Kleinkrebsen.

Neben den relativ großen Zooplanktonen bzw. organischen Partikeln gibt es eine Vielzahl kleinster Organismen und suspendierter organischer Partikel. Diese Nahrungskomponenten wurden in früheren Untersuchungen aus methodischen Gründen übersehen. Die Maschenweite der Planktonnetze oder die Porengröße von Filtern war zu groß und infolgedessen konnte ihre ernährungsphysiologische Bedeutung nicht berücksichtigt werden. Untersuchungen in den letzten zwei Jahrzehnten vermehrten die Hinweise, daß sowohl Einzeller und Bakterien als auch suspendierte organische Partikel von immenser Bedeutung im Nahrungsgefüge an Riffen sind (Sorokin, 1993).

Die bislang aufgelisteten Komponenten sind organischer Natur und sie sind daher von Steinkorallen prinzipiell als Nahrung nutzbar. Suspendierte mineralische Teilchen sind für die Ernährung der Steinkorallen nutzlos.

Die Konzentration suspendierter Partikel muß für ein gesundes Korallen- und Riffwachstum gering sein. Ist die Partikeldichte zu hoch, bildet sich auf den Korallen eine schädliche Sedimentschicht, die zum Absterben der Kolonien führen kann. Ästige Formen sind von der Sedimentation weniger betroffen als foliose oder massige Kolonien. Die meisten Steinkorallenarten verfügen über zusätzliche Reinigungsmechanismen: Durch Wasseraufnahme in das Gastrovascularsystem kann das Gewebe aufgebläht werden, wodurch die Partikel von der Oberfläche herunterrutschen. Sedimentierte Partikel werden von vielen Arten mit Hilfe von Cilien und/oder Schleim von der Oberfläche entfernt (siehe Beitrag Schuhmacher).

Die Fangarme von Steinkorallen sind mit giftgefüllten Nesselzellen gespickt. Dies legt den Schluß nahe, daß sie vornehmlich Zooplankton erbeuten und verwerten. Tatsächlich tun dies aber nicht alle Arten.

Planktische Kleinlebewesen (Netzzooplankton = Kleinkrebse, Larven von Weichtieren, Ringelwürmern etc.): Kommen die Plankter zufällig mit den Korallen in Kontakt, werden sie mit Hilfe von Toxinen erbeutet, die in den Nesselkapseln gespeichert sind. Nach der Gifteinjektion - das Ausschleudern der Nesselkapseln geschieht innerhalb von Bruchteilen einer tausendstel Sekunde - wird die Beute gelähmt und kann dann mit Hilfe der Tentakel und durch Cilientätigkeit dem Mund zugeführt und verschlungen werden.

Die meisten Steinkorallenarten fangen die Beute nachts. Dadurch wird die Wahrscheinlichkeit des Beuteerwerbs erhöht. 1) Zu dieser Zeit sind die tagaktiven Jäger, die „optisch“ jagen, inaktiv, und schnappen den Korallen die Beute nicht weg. 2) Die lebenden Beuteobjekte sind orientierungslos und können dem Fangapparat der Korallen nicht ausweichen. 3) Die nächtliche Beutefangaktivität hat noch einen zusätzlichen Vorteil: In der Nacht ist das Zooplanktonangebot am Riff deutlich höher, da viele Plankter erst im Schutz der Dunkelheit aus Verstecken oder dem Untergrund herauskommen. 4) Tagsüber ziehen sich die Polypen der meisten Steinkorallenarten in die schützenden Skelettkelche zurück, um sich vor Freßfeinden (Papageifische, Seesterne und Purpurschnecken) zu schützen.

Kleinstlebewesen und suspendierte organische Partikel: Bei dieser Nahrungskomponente handelt es sich um Bakterien, Einzeller (Flagellaten, Wurzelfüßer, Wimpertierchen) und um winzige organische Partikel. Häufig kann das tote organische Material (z. B. der Celluloseanteil) nicht direkt genutzt werden, da die nötigen Verdauungsenzyme fehlen. Verdaut werden stattdessen die Mikroorganismen, die auf diesen organischen Partikeln wachsen und sich dort auch vermehren. Das mikroskopisch kleine, suspendierte, partikuläre organische Material (lebend, tot) kann von den Korallen mit Hilfe von Schleim gefangen werden. Erst durch die Partikelanreicherung im Schleim wird diese Ernährungsweise energetisch relevant.

Gelöste Nährstoffe

Im Meerwasser sind eine Vielzahl organischer Substanzen nachweisbar, u. a. Zucker, Aminosäuren und Fettsäuren. Dieses gelöste organische Material kommt, bezogen auf einen Liter Meerwasser, nur in äußerst geringen Konzentrationen vor (nur einige tausendstel Gramm pro Liter). Die hohe Verdünnung bedeutet, daß diese Nahrungsquelle nur genutzt werden kann, wenn Mechanismen zur Gewinnung aus dem Wasser und zur Anreicherung im Körper vorhanden sind. Dank spezieller Transportsysteme, die in der äußeren Körperoberfläche lokalisiert sind, können Korallen diese Substanzen aufnehmen und als Energiequellen oder für das Wachstum verwerten. Bei den Transportsystemen handelt es sich um „Pumpen“, die Moleküle aus dem Meerwasser entgegen einem Konzentrationsgradienten in die Zellen hineintransportieren, wofür Energie benötigt wird. Die Aufnahmemechanismen für Aminosäuren oder Zucker bei Korallen sind mit jenen in unserem Körper vergleichbar, mit

deren Hilfe Zucker und Aminosäuren aus dem Darm ins Blut transportiert werden.

Die Aufnahme von Zuckern oder Aminosäuren aus dem Meerwasser durch Steinkorallen kann direkt am Riff aus methodischen Gründen nicht analysiert werden. Man muß daher die Aufnahme dieser Substanzen im Labor messen, um über deren ernährungsphysiologische Bedeutung urteilen zu können. Legt man die experimentell gewonnenen Aufnahmeleistungen (resorbierte Substanzmenge pro Zeitdauer) von Zuckern, Fettsäuren und Aminosäuren energetischen Berechnungen zugrunde, zeigt sich, daß mit den aufgenommenen Substanzen über 30% des Grundstoffwechsels gedeckt werden können (Schlichter, 1982, 1983).

Die Rolle symbiontischer Algen

Die Zooxanthellen leben in Zellen der inneren Körperwand (Gastrodermis). Ihre Anzahl pro cm² Korallenoberfläche schwankt stark (von einigen Hunderttausend bis zu zehn Millionen) und hängt von der Korallenart und der Strahlungsintensität ab (Abb. 2, 3).

Zwischen den Zooxanthellen und dem tierischen Gewebe existieren Material- und Energieflüsse (grüne und rote Pfeile in Abb. 1). Die Leistungen von Wirt und Algen ergänzen sich auf ideale Weise. Atmung und Photosynthese sind auf zellulärer Ebene kurzgeschlossen. Anorganische Nährstoffe (Kohlendioxid, Stickstoff- und Phosphorverbindungen), die im Stoffwechsel des Wirtes als Abfallprodukte anfallen (die Algen selbst produzieren bei der Atmung natürlich auch Kohlendioxid), können sofort wieder von den Algen zur Synthese organischer Verbindungen genutzt werden, d. h. der energieliefernde Abbau organischer Kohlenstoffverbindungen und die durch Sonnenenergie getriebene Neusynthese organischer Verbindungen verläuft nahezu verlustfrei innerhalb der Wirtszelle. Die Aufdeckung der Zusammenhänge ist durch den Einsatz radioaktiv markierter Substanzen (¹⁴C) möglich geworden. Die ineinander greifenden Prozesse stellen ein effektives Recyclingsystem dar. Diese intrazelluläre Nahrungskette ist von herkömmlichen Nahrungsketten völlig verschieden. Die einzelnen Glieder herkömmlicher aquatischer Nahrungsketten sind räumlich und funktionell getrennt: Das photoautotrophe Phytoplankton (die Primärproduzenten) wird von pflanzenessenden (herbivoren) Tieren (den Primärkonsumenten) genutzt, die ihrerseits Nahrung für Sekundärkonsumenten sind. Im Doppellebewesen Koralle ist dies nicht der Fall. Primärproduzenten - die Zooxanthellen - und Primärkonsument - der Wirt -, der gleichzeitig auch noch Sekundärkonsument ist, bilden ein Produktionskombinat mit erheblichen Vorteilen: Mineralische Nährstoffe verbleiben innerhalb der zooxanthellenhaltigen Wirtszellen und Verluste an Destruenten (Mineralisierer), die üblicherweise Teile von Nahrungsketten sind, entfallen völlig.

Wenn genügend Strahlungsenergie verfügbar ist, synthetisieren die Algen weit mehr an organischen Verbindungen als sie selbst brauchen. Die bereitgestellte Menge an Photoassimilaten kann so groß sein, daß die Korallen daraus ihren gesamten Energiebedarf abdecken können. Auf diesen Aspekt wird weiter unten genauer eingegangen.

Die Korallen nutzen die sie ernährenden Algen nur funktionell; die Algen selbst werden nicht verdaut. Die Korallen verwerten nur jene organischen Substanzen der Algen, die diese durch die Vakuolenmembranen hindurch ins Zellplasma abgeben. Dabei handelt es sich um Glycerol, Glucose, Aminosäuren und Fettsäuren, möglicherweise werden von den Algen auch Lipide durch Exocytose, d. h. in Vesikel verpackt, ins Wirtscytoplasma geschleust. Im übertragenen Sinne nutzen die Korallen die in ihnen lebenden Primärproduzenten auf die schonendste Weise, indem sie nur die „Milch“ der Kühe verwerten, die Kühe selbst aber nicht schlachten.

Die Analyse von fossilen Korallen lieferte Hinweise, daß sich Korallen und Zooxanthellen vor rund 200 Millionen Jahren zusammenschlossen (Stanley & Swart, 1995). Während dieser langen Coevolution fanden einerseits Anpassungen statt, die das Zusammenleben effektivierten, andererseits entstanden auch wechselseitige Abhängigkeiten. Trennt man die beiden Partner voneinander, lassen sich die Zooxanthellen züchten, d. h. die Zooxanthellen sind ohne den Wirt noch voll lebensfähig. Zooxanthellenfreie Wirte kümmern vor sich hin oder gehen zugrunde (Yonge, 1973). Die Wirte müssen also im Laufe der Coevolution mit den Algen bestimmte physiologische Fähigkeiten verloren haben.

Verglichen mit freilebenden einzelligen Algen leben die Zooxanthellen, was die Versorgung mit mineralischen Nährstoffen betrifft, unter günstigeren Bedingungen (siehe oben) und man sollte erwarten, daß sie sich im Wirt besser vermehren als in Kultur. Was man jedoch messen kann ist, 1) daß die Produktivität der Zooxanthellen im Wirt tatsächlich höher ist als unter Kulturbedingungen, und 2) daß die Algen im Wirt wider Erwarten eine geringere Vermehrungsrate haben. Die höhere Primärproduktion geht also nicht in die Vermehrung der Zooxanthellen ein, sondern kommt dem Wirt zugute. Dies bedeutet nichts anderes, als daß der Wirt den Stoffwechsel der Symbionten und den Export von Photoassimilaten ins Zellplasma kontrolliert. Bei diesen kontrollierenden „Wirtsfaktoren“ handelt es sich, wie neuere Untersuchungen zeigen, um ein Gemisch von Aminosäuren, das die Durchlässigkeit der Vakuolenmembranen für Photoassimilate erhöht (Gates et al., 1995). Die Population der symbiontischen Algen (nicht die individuelle Alge) „erkauft sich“ durch eine deutlich geringere Vermehrungsrate den arterhaltenden Schutz in dem mit Nesselzellen bewehrten Wirt.

Die Zooxanthellen in den Wirtszellen vermehren sich durch Teilung (Abb. 3 b). Trotz der Kontrolle der Teilung durch den Wirt würde die Aufnahmekapazität der Wirtszellen für Algen überschritten. Überschüssige Algen werden aus dem Cytoplasma ausgeschleust und ins Meer entlassen. Die Tatsache, daß die überzähligen und ebenso die gealterten Zooxanthellen von den Korallen nicht verdaut werden - die Abgabe ins Meer ist energetisch gesehen ein Luxus - ist noch weitgehend unverstanden.

Warum wurden von den Korallen gerade Dinoflagellaten als Partner gewählt und keine einzelligen Grünal-

gen oder Cyanobakterien, die als Symbionten in anderen Tierstämmen (Einzellern, Schwämmen, Manteltieren) vorkommen? Eine wichtige Voraussetzung könnte gewesen sein, daß sowohl der Zellstoffwechsel der Zooxanthellen als auch der des tierischen Wirts auf Lipiden basiert und sich die beiden Stoffwechsel aus diesem Grund problemlos biochemisch kurzschließen konnten, d. h. die biochemische Verständigung war problemlos, da sie „die gleiche Sprache sprechen“. Ein Zellstoffwechsel, bei dem Lipide von zentraler Bedeutung sind, ist für einzellige Algen ungewöhnlich, zeichnet aber gerade Dinoflagellaten aus.

Neben den Nährstoffen, die die Zooxanthellen ihren Wirten liefern, wird auch deren Versorgung mit Sauerstoff als Symbioseleistung angesehen. Eine starke photosynthetische Sauerstoffproduktion scheint aber keinesfalls ein Vorteil zu sein. Im Gegenteil, hohe Sauerstoffkonzentrationen (in Form von aggressiven Verbindungen) wirken auf den Wirt schädigend und diese besitzen spezielle Enzyme, um die toxischen Sauerstoffverbindungen zu eliminieren (Shick, 1991).

Neuere Untersuchungen sprechen dafür, daß die Zooxanthellen bei geringen Wasserbewegungen zu einem schnelleren Ausgleich des nächtlich entstandenen Sauerstoffdefizits beitragen. Da an Riffen jedoch das Wasser ständig in Bewegung ist, dürfte dieser Aspekt von untergeordneter Bedeutung sein.

Das nächtliche Entfalten der Polypen, das oben im Kontext mit dem Beuteerwerb diskutiert wurde, kann spekulativ auch mit der Sauerstoffversorgung in Zusammenhang gebracht werden. Tagsüber wird durch die Photosynthese der Algen so viel Sauerstoff im Gewebe produziert, daß dieser nicht aus dem umgebenden Wasser aufgenommen werden muß, im Gegenteil, Sauerstoff diffundiert aus dem Korallengewebe ins Wasser. In der Nacht hingegen muß der Sauerstoff aus dem Wasser ins Gewebe diffundieren, da in Dunkelheit Korallen und Algen Sauerstoff veratmen. Wenn nachts die Polypen entfaltet sind und dadurch von sauerstoffreichem Wasser umspült werden, ist die Sauerstoffversorgung mittels Diffusion erleichtert. Im sauerstoffreichen Wasser an Riffen scheint die Sauerstoffversorgung aber kein grundsätzliches Problem zu sein, insbesondere, wenn man sich in Erinnerung ruft, daß die Diffusionsstrecken im Korallengewebe max. nur 100 - 200 µm betragen.



Endolithische Algen - eine weitere pflanzliche Nahrungsquelle von Steinkorallen

Neben den Zooxanthellen können Steinkorallen eine weitere pflanzliche, d. h. photoautotrophe Nahrungsquelle nutzen: In den Skeletten sehr vieler Arten, ob mit oder ohne Zooxanthellen, leben filamentöse Grün- und Rotalgen (*Ostreobium quekettii*, *Porphyra* sp.) (Abb. 4). Zwischen diesen Bohralgen und dem Korallengewebe findet ein Stoffaustausch statt, vergleichbar mit dem, wie er für die Zooxanthellen beschrieben wurde. Der Nachweis eines Materialflusses gelang durch den Einsatz von radioaktiv markiertem Kohlenstoff (Schlichter et. al., 1995). Mittels dieser Markierung ließen sich Substanzen, die von den Algen stammen, im Korallengewebe nachweisen. Der Symbiosebeitrag der endolithischen Algen zum Gesamtstoffwechsel ist deutlich geringer als der der Zooxanthellen. Dies hängt vermutlich damit zusammen, daß der Zellstoffwechsel der filamentösen Algen mit dem der Wirte nicht so eng verzahnt ist und der Zellstoffwechsel der Grünalgen ein typischer Kohlenhydratstoffwechsel ist und kein Lipidstoffwechsel, wie er für Zooxanthellen charakteristisch ist. Die Membranen der Zellen beider Partner berühren sich nur, d. h. Materialflüsse sind nicht innerhalb einer Zelle kurzgeschlossen. Es liegen Verhältnisse vor, die mit den strukturellen und funktionellen Grundlagen bei Flechten vergleichbar sind. In dieser Symbiose haben sich (heterotrophe) Pilze und einzellige Grünalgen zusammengeschlossen.

Die Schwachlichtbedingungen im gewebebedeckten Skelett ermöglichen nur eine geringe Primärproduktion der Bohralgen, die ungefähr 7% der Produktivität der Zooxanthellen ausmacht. Wenn auch der energetische Beitrag der Bohralgen zum Stoffwechsel der Korallen quantitativ gering ist, sind sie im Kontext der Konservierung von Nährstoffen innerhalb des Riffökosystems von Bedeutung und ihre ökologische Funk-

Abb. 4 a, b: In den Skeletten vieler Steinkorallenarten leben bohrende Algen. 4 a: Das Skelett von *Mycedium elephantotus* ist von Gewebe bedeckt. 4 b: Nach der Entfernung des Gewebes wird die dichte Besiedlung des Skelettes mit der endolithischen Grünalgenart *Ostreobium quekettii* sichtbar. Durchmesser der Skelettkelche 8 - 10 mm.



tion ist mit der der Zooxanthellen vergleichbar (Schlichter et al., 1995, 1996). Die Nutzung von Photoassimilaten endolithischer Algen kann für zooxanthellenfreie Korallenarten eine zusätzliche Nahrungsquelle darstellen. Mit der dadurch zur Verfügung gestellten Energie können Engpässe in der Versorgung mit partikulärer Nahrung besser überstanden werden.

Die Beiträge der verschiedenen Nahrungsquellen zum Gesamtenergiebedarf der Symbiose

Dank der verschiedenen Ernährungsmöglichkeiten steht die energetische Versorgung zooxanthellater Steinkorallen auf stabilen Beinen. Eine der Ernährungsmöglichkeiten liefert zumindest so viel Energie, daß ein Überleben gesichert ist, d. h. eine Nahrungsquelle, über die dem Körper momentan wenig Energie zugeführt wird, z. B. Zooplankton, kann durch eine andere kompensiert werden.

Durch die Optimierung von Ernährungsstrategien kann auf andere völlig verzichtet werden. So gibt es eine Weichkorallenart (*Heteroxenia fuscescens*), die kein Zooplankton und keine organischen Partikel erbeutet und sich ausschließlich durch die Aufnahme gelöster organischer Verbindungen und von den Photosyntheseprodukten der Zooxanthellen ernährt (Schlichter, 1982, 1983).

Wie hoch der energetische Beitrag ist, den jede der Ernährungsmöglichkeiten zum Grundstoffwechsel des Doppelorganismus beisteuert, kann vorläufig nur abgeschätzt werden, da es methodisch sehr schwierig ist, an ein und derselben Art sämtliche Möglichkeiten der Ernährung exakt zu messen. Untersuchungen an 23 Steinkorallenarten am Großen Barriereriff lieferten folgende Richtwerte, deren Gültigkeit in hohem Maß von der Lichtverfügbarkeit am Standort abhängt: 20% durch die Verwertung partikulärer Nahrung, 10% durch die Aufnahme gelöster organischer Verbindungen und 70% durch die Nutzung der Assimilate der symbiotischen Algen (Sorokin, 1993).

Der Erfolg von Spezialisten: Die Nutzung mikroskopisch kleiner partikulärer Nahrung

Das Angebot an partikulärer Nahrung am Riff ist vielfältig und reicht von Bakterien bis zu größeren Zooplanktern; weiter gehören organische Partikel unterschiedlichster Größe dazu. Die jeweilige Menge (Quantität) der verschiedenen Komponenten (Nahrungsenergiegedichte) hängt sehr stark von örtlichen Gegebenheiten am Riff ab, z. B. von der Topographie, vom Relief, von der Windexposition und den daraus resultierenden hydrographischen Bedingungen.

Ein Schwerpunkt unserer mehrjährigen Untersuchungen im Golf von Aqaba war, strukturelle und physiologische Anpassungen von Steinkorallen aufzudecken, die es ihnen erlauben, bestimmte Komponenten des partikulären Nahrungsangebotes zu nutzen. Als Arbeitshypothese stellten wir uns die Frage: Gibt es Korrelationen zwischen Standort, der tiefenabhängigen Verfügbarkeit von Nahrung und den Beutefang-

strategien (Nahrungserwerbstrategien) von Steinkorallen?

In Abhängigkeit von der Tiefe ändert sich das Nahrungsangebot quantitativ und qualitativ. Die Primärproduktion der Planktonalgen findet in den oberen Wasserschichten statt, womit ein höheres Zooplanktonangebot korreliert. Mit zunehmender Tiefe nimmt das Angebot an Zooplankton ab und die ernährungsphysiologische Bedeutung von Einzellern, Bakterien und herabsinkendem totem organischem Material nimmt gegenläufig zu.

Innerhalb der Steinkorallen nutzen einige Arten nur ganz bestimmte Komponenten des heterogenen Angebotes an partikulärer Nahrung. Sie spezialisierten sich auf den Erwerb kleinster Partikel, die für aktive Jäger unattraktiv sind. Bei dieser Nahrungskomponente handelt es sich um Bakterien und Einzeller, oder um winzige organische Partikel. Der energeti-

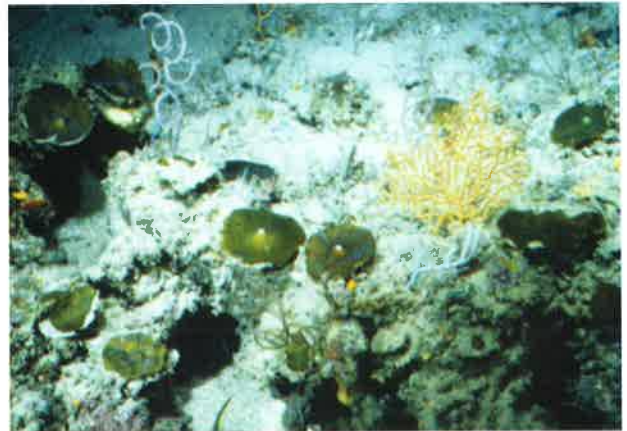


Abb. 5: Die zooxanthellenhaltige Art *Leptoseris fragilis* lebt in Tiefen zwischen 90 und 145 m. Diese tentakellose Art ist hervorragend an die dort herrschenden sehr geringen Lichtintensitäten und an die Nährstoffversorgung durch suspendierte Partikel angepaßt. Durchmesser der Korallen ca. 8 cm. Aufnahme aus dem Forschungstauchboot GEO.

sche und zeitliche Aufwand, solche Partikel zu erbeuten, ist für Jäger einerseits groß, andererseits ist der energetische Gewinn minimal.

Das Problem der Extraktion der Partikel aus dem Wasser und deren Anreicherung realisieren einzelne Korallenarten ganz unterschiedlich, und die Fang- und Anreicherungsmechanismen beruhen auf völlig verschiedenen Prinzipien.

Die zooxanthellenhaltige Korallenart *Leptoseris fragilis* lebt in Tiefen zwischen 90 und 145 m, also fernab der produktiven und planktonreichen Oberflächenschicht (Abb. 5). Die untertassenförmigen, tentakellosen Korallen erreichen einen Durchmesser von bis zu 8 cm. Sie halten die mundtragende Körperseite nach oben. Herabsinkende Partikel werden wie von einer Sedimentfalle (Kollektor) aufgefangen und dann entlang der Rinnen zwischen den Kalksepten mittels Cilien zum Mund befördert. Ein dichter Cilienbesatz im Schlund transportiert die Partikel weiter in die stark verzweigte Körperhöhle, in der sie wie von einem Fil-

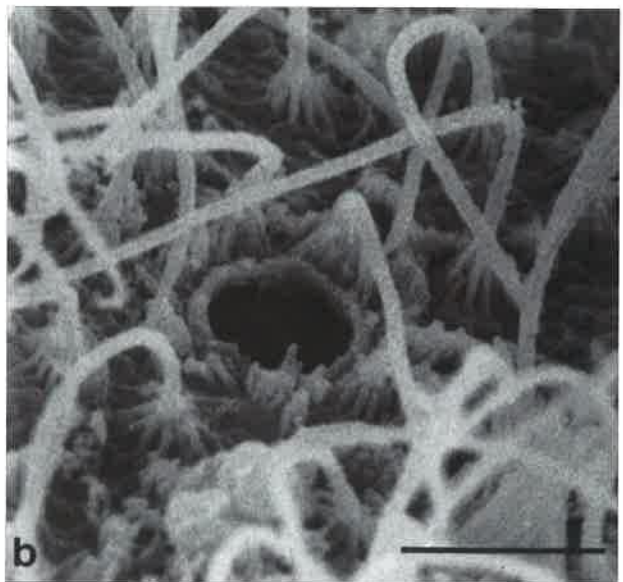
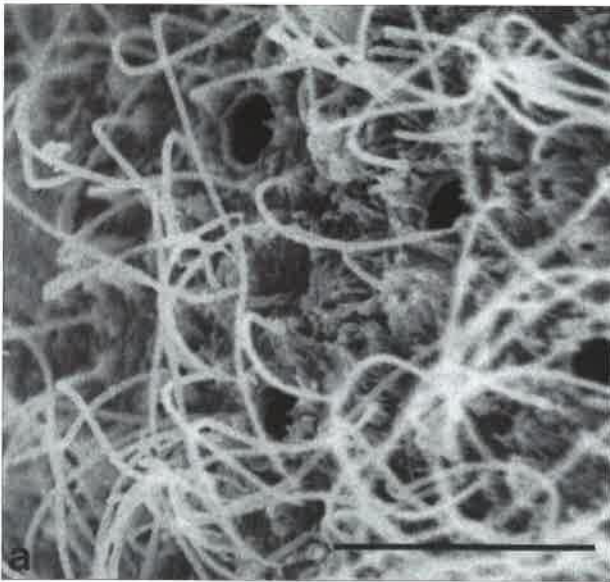


Abb. 6 a, b: Der Gastralraum von *Leptoseria fragilis* ist kein geschlossener Sack mit nur einer Öffnung, wie dies die Regel für Nesseltiere ist. Die dicht mit Cilien besetzte äußere Körperwand ist perforiert. Durch diese winzigen Öffnungen des Gastralraums tritt Wasser aus dem Körper, das durch die Mundöffnung eingestrudelt wurde. Nahrungspartikel werden im starkverzweigten Gastrovaskularsystem zurückgehalten.

Längenmarkierung in Abb. 6 a = 8,6 µm; in 6 b = 3,0 µm.

ter zurückgehalten werden. Das zusammen mit den Partikeln hereingestrudelte Wasser verläßt den Körper nicht durch die Mundöffnung, wie dies bei anderen Nesseltierarten die Regel ist, sondern durch winzige Poren in der äußeren Körperwand (Abb. 6). Dieses Durchflußsystem, bei dem aus einem selbsterzeugten Wasserstrom Partikel in einem fein verzweigten Gastrovaskularsystem zurückgehalten werden, bewirkt eine effektive Partikelanreicherung im Gastralraum, wodurch die Ernährungssituation verbessert wird. Da

Abb. 7: Kolonien der zooxanthellenhaltigen Art *Mycedium elephantotus* erreichen Durchmesser von mehr als 1 m. Der bevorzugte Lebensraum liegt in Tiefen zwischen 20 und 40 m. Diese tentakellose Art hat sich darauf spezialisiert, kleinste Lebewesen und organische Partikel mit Schleimnetzen zu erbeuten (siehe Abb. 8).



im Lebensraum dieser Korallenart sehr geringe Strömungen herrschen, kann nur der selbsterzeugte Wasserstrom zu einer Partikelanreicherung führen.

Die ebenfalls tentakellose Steinkorallenart *Mycedium elephantotus* (Pfaueaugenkoralle, Elefantenohrkoralle), die besonders häufig in Tiefen zwischen 20 und 40 m vorkommt, ist ein Schleimnetzfünger. Kolonien dieser Art sind aus fächerförmigen Skelettplatten aufgebaut, die schräg nach oben ins Wasser ragen (Abb. 7). Diese Platten stellen Strömungshindernisse dar und funktionieren wie Fliegenfänger. Im äußeren Gewebe (Epidermis) befinden sich zahllose Schleimzellen, die Oberfläche ist von einer dicken Schleimschicht bedeckt, und Cilien fehlen. Im Wasser suspendierte Partikel berühren die Oberfläche und werden „blitzschnell“ (innerhalb von ca. 1 Sekunde) in Schleim verpackt. Handelt es sich um mineralische Partikel, gleiten diese von den Platten herunter. Liegen organische Partikel vor (in den Experimenten wurde pulverisiertes Fischtrockenfutter verwendet), werden diese mit Schleimnetzen gefangen (Abb. 8). Die feinen Fäden der Netze lagern sich zu dickeren Einheiten zusammen, wodurch es zur Konzentrierung von Nahrungspartikeln kommt. Die nahrungspartikelhaltigen Aggregate rutschen auf den geeigneten Platten abwärts. Sie berühren dabei zufällig eine oder mehrere Mundöffnungen und werden dann verschlungen (Schlichter & Brendelberger, 1998).

Der Transport entlang der Korallenoberfläche erfolgt durch Schwerkraft, unterstützt durch „schwache“ Wasserbewegung. Bei stärkerer Wasserbewegung werden die partikelbeladenen Schleimfäden von der Oberfläche losgerissen und gehen als Nahrung verloren. Damit dies nicht geschieht und diese Art des Nahrungserwerbs effizient ist, so kann man argumentieren, kommen Standorte mit hoher Wasserenergie als Lebensraum nicht in Frage. Günstige Bedingungen herrschen in Wassertiefen ab ca. 15 m. Ihre Hauptverbreitung hat *M. elephantotus* zwischen 20 und 30 m, sie ist aber auch noch in Tiefen von 40 m sehr häufig und erreicht bei Aqaba immerhin noch 25% der Lebendbedeckung des Riffs.

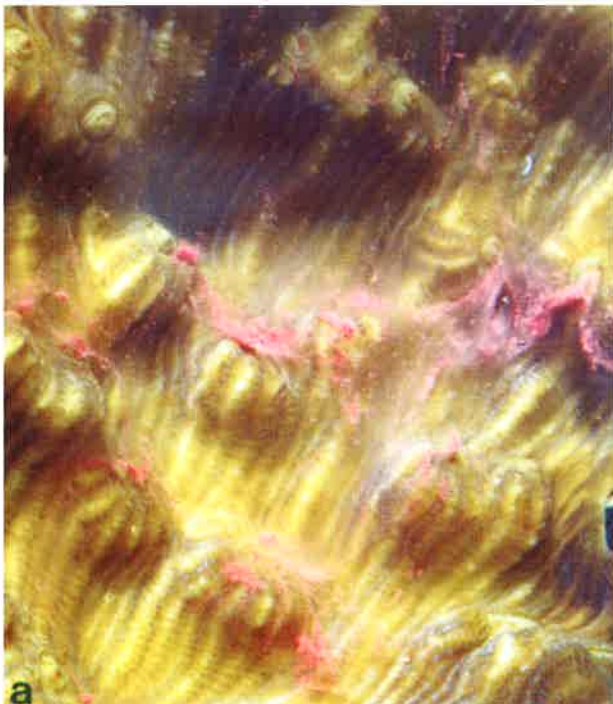
Für die aktuelle Verbreitung von *Mycedium elephantotus* ist, neben der Strömungsarmut im Lebensraum, ein erhöhtes Angebot an suspendiertem Material verantwortlich. Das höhere Partikelangebot geht darauf zurück, daß in Tiefen von ca. 15 bis 20 m (orbitale) Oberflächenwellen und laminare Tiefenströmungen aufeinandertreffen (Riedl, 1969; Roberts et al., 1975). Die von der Korallenoberfläche durch stärkere Wasserbewegung losgerissenen, mit Partikeln angereicherten Schleimnetze werden wiederum von Krebsen und Fischen als Nahrung genutzt (Benson & Muscatine, 1974).

Der Transport des schleimverpackten Futters in den Gastralraum hinein geschieht durch Cilien. Der Schlund hat einen sehr dichten Cilienbesatz, mit dessen Hilfe die „Schleimwürste“ - wie auf einem Förderband - in den Gastralraum transportiert werden. Die Futteraufnahme verläuft z. T. sehr „stürmisch“ und unkoordiniert, wie Abbildung 8 b zeigt: Verschiedene Mäuler versuchen gleichzeitig dieselbe „Schleimwurst“ zu verschlingen.

Die Beeinflussung der Photosynthese und deren Steigerung unter Schwachlichtbedingungen

Die Grundlagen der Partnerschaft von Zooxanthellen und Korallen wurden bereits dargestellt, ebenso das intrazelluläre Recycling von Nährstoffen. In den fol-

Abb. 8 a, b: Suspendierte Partikel werden von *Mycedium elephantotus* mit Schleimnetzen erbeutet. Abb. 8 a: Zu Beginn der experimentellen Fütterung. Abb. 8 b: Cilien im Schlund transportieren die mit Nahrungspartikeln angereicherten Schleimfäden in den Gastralraum. Durchmesser der Kelche 8 - 10 mm.



genden Kapiteln sollen photobiologische und energetische Aspekte genauer diskutiert werden.

Die Höhe des energetischen Betrages, den die Algen zum Stoffwechsel ihrer Wirte beisteuern, wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Drei sollen exemplarisch behandelt werden:

1. Die Menge transferierter Photoassimilate hängt von der Anzahl der symbiontischen Algen im Wirtsgewebe ab. Die photosynthetische Produktion der Zooxanthellen wiederum wird von Temperatur, Salinität und von der Strahlungsintensität beeinflusst. Die Sonneneinstrahlung in tropischen/subtropischen Gewässern direkt unter der Oberfläche ist häufig so stark, daß die Algen bzw. die ganzen Korallen geschädigt werden (auch durch den hohen UV B/C Anteil). Daher ist in seichten Riffarealen das Wachstum nicht optimal. Der Strahlungsfaktor, zusammen mit Temperaturanomalien, scheint für das „bleaching“ von Korallen verantwortlich zu sein, bei dem die Wirte ihre Zooxanthellen verlieren. Durch diesen „Ausbleichprozess“ kommt es zum Absterben von Korallen und zum Erliegen des Riffwachstums.

2. Ein weiterer äußerer Faktor, der die Photosynthese freilebender Algen und von Zooxanthellen beeinflusst, ist das Angebot an mineralischen Nährstoffen. Sie kommen in den oligotrophen Gewässern, in denen Korallen gedeihen, nur in sehr geringen Konzentrationen vor, so daß die Primärproduktion der Algen durch den Mangel an Nährsalzen (Stickstoff, Phosphat, Eisen) limitiert ist, obgleich Strahlungsenergie in Hülle und Fülle zur Verfügung steht. Die Versorgung mit mineralischen Nährstoffen der Zooxanthellen ist besser, da sie von den Stoffwechselprodukten ihrer Wirte profitieren.

3. Die Höhe des energetischen Beitrags der Zooxan-



thellen zum Wertsstoffwechsel wird entscheidend vom jeweiligen Energiebedarf der Wirtskorallenart bestimmt. Ist dieser gering, stellen die Photoassimilate einen beträchtlichen Anteil dar. Ist der Energiebedarf des Wirtes hoch, bei gleicher Produktivität der Zooxanthellen, fällt der Anteil weniger stark ins Gewicht.

Was leisten die Zooxanthellen tatsächlich ?

In den vergangenen Jahrzehnten wurden an vielen Korallenarten unterschiedlichster Wuchsform und Herkunftstiefe stoffwechselphysiologische Untersuchungen durchgeführt. Das Ziel war, an Hand der experimentell gewonnenen Daten zu berechnen, wie hoch der Beitrag der Primärproduktion der Zooxanthellen für den energetischen Gesamthaushalt des Symbiosesystems sein kann. Einfache, jedoch ungenaue energetische Abschätzungen kann man machen, indem man die durch Photosynthese in einer gewissen Zeiteinheit gewonnene Energie mit der gleichzeitig durch die Atmung verbrauchten Energie vergleicht. Beide Werte lassen sich in Respirationskammern messen. Der Energiegewinn steht in Beziehung zum abgegebenen Sauerstoff, der bei der Synthese reduzierter Kohlenstoffverbindungen entsteht. Der Energieverbrauch von Wirt und Algen korreliert mit dem Sauerstoff, der zur Oxidation der organischen Kohlenstoffverbindungen verbraucht wird. Beide Prozesse sind als Sauerstoffanstieg bzw. als Sauerstoffabnahme in den Respirationskammern meßbar. Genauere Berechnungen sind dann möglich, wenn mit der ¹⁴C-Tracermethode jene Menge an Photoassimilaten bestimmt wird, die tatsächlich von den Algen ans Wirtsgewebe geliefert wird.

Abhängig von der Artzugehörigkeit und der Wassertiefe wurden Werte berechnet, die zeigen, daß die Zooxanthellen zwischen 30% und 150% zum Energiebedarf ihrer Wirte beisteuern. Liegt dieser Wert über 100%, heißt dies, daß nicht nur der aktuelle Energiebedarf des Wirtes durch die Zooxanthellen völlig abgedeckt ist, sondern daß auch Nährstoffe für das Wachstum und die Fortpflanzung bereitgestellt werden können. Die Berechnungen machen wahrscheinlich, daß viele Korallenarten mit einem Vorkommen bis in Tiefen von 15 - 20 m ausschließlich von den Photoassimilaten ihrer Zooxanthellen leben könnten; ob sie es tatsächlich auch tun, ist bis heute aus methodischen Gründen nicht völlig geklärt. Ferner ist noch offen, ob die von den Zooxanthellen bereitgestellten Nährstoffe „vollwertig“ sind, oder ob von den Algen überwiegend „minderwertige“ Substanzen geliefert werden, die eine ausgeglichene Ernährung der Wirte nicht erlauben. Neben den quantitativen Aspekten beim Energie- und Materialfluß zwischen Algen und Wirt müssen daher in Zukunft auch vermehrt qualitative Aspekte berücksichtigt werden. Die partikuläre Nahrung scheint für symbiontische Korallenarten nicht vollwertig zu sein, da sie ohne Zooxanthellen nicht lange überleben; d. h. die Algen liefern ihren Wirten vermutlich nicht nur „Energie“, sondern auch lebenswichtige Substanzen. Das beschriebene Phänomen könnte allerdings ein rein quantitatives Problem sein: Die experimentell symbiontenfrei gemach-

ten Wirte verhungern schlichtweg, da das Angebot an partikulärer Nahrung nicht ausreicht, wie bereits oben erwähnt wurde.

Licht als begrenzender Umweltfaktor für zooxanthellale Steinkorallen

An Riffen nimmt die Individuen- und Artenhäufigkeit zooxanthellenhaltiger Steinkorallen mit der Wassertiefe ab. Im nördlichen Roten Meer gibt es bis in eine Tiefe von 30 m rund 130 Arten. In 50 - 60 m Tiefe sind es immer noch über 40 und in 100 - 110 m noch ca. 8 Arten, ab 110 m konnte nur noch eine einzige Art (*Leptoseris fragilis*) beobachtet werden (Fricke & Schuhmacher, 1983). Die geringer werdende Strahlung, an die man zunächst denkt, ist aber nicht der alleinige ökologisch wirksame Faktor, den man für diesen Rückgang verantwortlich machen kann. Der Druck, die Strömungsverhältnisse, die Beschaffenheit des Untergrundes, dessen Neigung und das Angebot an partikulärer Nahrung ändern sich ebenfalls tiefenabhängig. Der Temperatureinfluß auf die Photosynthese ist im Golf von Aqaba vernachlässigbar, da unterhalb von ca. 10 m bis in Tiefen von 1.600 m, eine konstante Temperatur von 21 - 22 °C herrscht (Klinker et al., 1978).

Ab einer gewissen Wassertiefe, exakter ab einer bestimmten Strahlungsintensität - da es auch im Flachwasser Schwachlichtstandorte gibt - reicht die durch die Photosynthese gewonnene Energie für die Selbstversorgung der Zooxanthellen nicht mehr aus, geschweige denn, daß die Symbionten überschüssige Photoassimilate an ihre Wirte abgeben könnten.

Legt man für energetische Abschätzungen jene Lichtintensität im Lebensraum zugrunde, bei der gerade noch eine geringe Überschußproduktion durch die Zooxanthellen stattfindet, ergibt sich im Golf von Aqaba während der Sommermonate die folgende Bilanz: Eine Korallenart in 20 m Wassertiefe produziert für 11 Stunden mehr Energie, als sie zur Deckung des Grundstoffwechsels benötigt, d. h. es bleibt Energie für Wachstum und Fortpflanzung übrig. In 40 m Tiefe schrumpft dieser Wert auf 40 Minuten zusammen, so daß die fehlende Energie über andere Nahrungsquellen herbeigeschafft werden muß.

Die Abhängigkeit der Wirte von den Zooxanthellen ist bei den verschiedenen Korallenarten unterschiedlich stark. Dies erklärt vermutlich die auffallenden Unterschiede in der Tiefenverbreitung verschiedener Arten (Kühlmann, 1983). Manche Arten aus der Gruppe der Hirschgeweihkorallen kommen nur bis in 10 m Tiefe vor, während andere Arten noch in größeren Tiefen existieren, oder erst dort ihre Hauptverbreitung haben, wie beispielhaft für *Leptoseris fragilis* und *Mycedium elephantotus* gezeigt wurde.

Den Tiefenweltrekord unter den zooxanthellaten Steinkorallenarten hält *Leptoseris fragilis*, die im Roten Meer noch in einer Tiefe von 145 m von Hans Fricke mit seinem Tauchboot GEO entdeckt wurde. Steinkorallen ohne symbiontische Algen dringen bis in 6.000 m Tiefe vor.

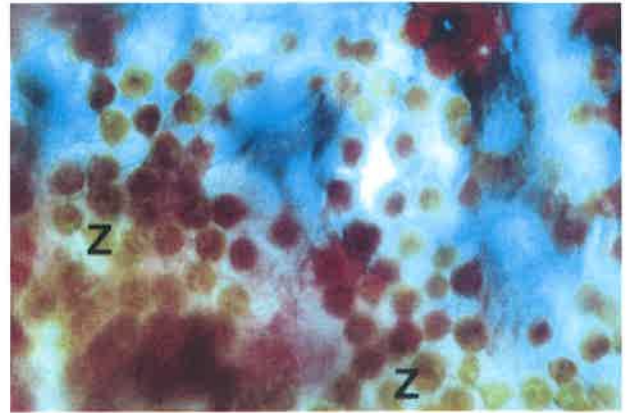
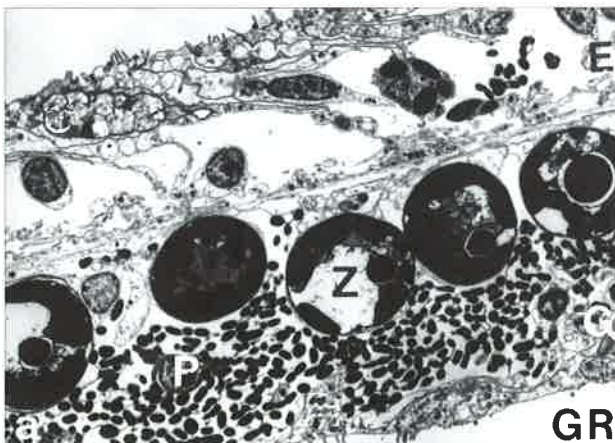


Abb. 9: Mit Sauerstoffmeßkammern, die außen am Forschungstauchboot GEO montiert waren, konnte im Lebensraum die Photosynthese der Zooxanthellen in *Leptoseris fragilis* gemessen werden (Aufnahme aus dem Forschungstauchboot GEO).

Das außergewöhnliche Tiefenvorkommen von *L. fragilis* ließ vermuten, daß diese Korallenart über spezielle Anpassungen verfügt, die Photosynthese und damit die Symbiose unter diesen extremen Lichtbedingungen ermöglicht.

Zunächst denkt man bei Photoanpassungen an Spezialisierungen der Algen, die es ihnen erlauben, auch bei sehr geringen Strahlungsintensitäten noch Photosynthese zu betreiben. Im Lebensraum von *L. fragilis* ist im Sommer nur 0,5 - 1% der Oberflächenstrahlung zum Sonnenhöchststand verfügbar. Aber nicht nur die Strahlungsintensität ändert sich mit der Tiefe, sondern auch die spektrale Zusammensetzung der Strahlung.

Abb. 10 a, b: In der Gastrodermis (G) von *Leptoseris fragilis* liegen die Zooxanthellen (Z) auf fluoreszierenden Pigmentgrana (P), die zu Chromatophoren der Wirtskoralle gehören (vergl. Abb. 11). Die pigmentgefüllten Grana verbessern durch Reflexion, Streuung und Lichttransformation die Photosynthese der Zooxanthellen. Abb. 10 a: Transmissionsmikroskopische Aufnahme. Abb. 10 b: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme. GR = Gastralraum; E = Epidermis. Längenmarkierung in b: 3,0 µm.

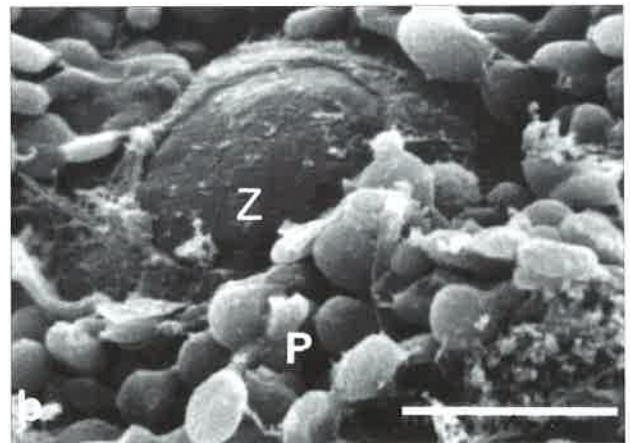


Ab. 11: Wenn man ein Gewebepräparat von *Leptoseris fragilis* mit kurzwelligem Licht (390 nm) bestrahlt, fluoreszieren die Zooxanthellen (Z) rötlich und die Pigmente in den Chromatophoren bläulich (Hintergrundfärbung). Fluoreszenzmikroskopische Aufnahme.

Kurze Wellenlängen, d. h. blaue und violette Spektralanteile herrschen vor, langwelliges Licht fehlt hier völlig.

Mit Respirationsmeßkammern, mit deren Hilfe der Sauerstoffverbrauch bei der Atmung und die Sauerstoffproduktion bei der Photosynthese gemessen werden konnten, gelang der Nachweis, daß die Zooxanthellen in *L. fragilis* tatsächlich Photosynthese betreiben und während der Sommermonate auch eine geringe Überproduktion an energiereichen Verbindungen erwirtschaften, die dem Wirt zugute kommen (Abb. 9). Das Prinzip der Meßmethode wurde oben beschrieben. Die Messungen wurden im Lebensraum von *L. fragilis* mit dem Tauchboot GEO durchgeführt, an dem außen die Meßkammern installiert waren und die vom Bootsinnern mit einem Manipulator bedient werden konnten.

Die auffälligste Anpassung der Zooxanthellen an die geringen Strahlungsintensitäten ist, daß ihr Gehalt an Pigmenten (Chlorophyll a und Chl c₂) pro Algenzelle fünf- bis achtmal höher ist als in Zooxanthellen, die aus Flachwasserkorallen stammen. Der hohe Pigmentgehalt macht die Absorption und die an-



schließende Nutzung geringer Strahlungsintensitäten möglich.

Bis zur Entdeckung von *L. fragilis* war man bei der Schwachlichtanpassung zooxanthellater Korallenarten immer davon ausgegangen, daß zur Anpassung nur die Zooxanthellen fähig sind. Eine Ausnahme dieser „Regel“ brachten ultrastrukturelle und photobiologische Untersuchungen an *L. fragilis* (Schlichter et al., 1985; Schlichter & Fricke, 1991). Eine bis dahin völlig unbekannt Symbioseleistung des Wirtes für die Zooxanthellen konnte entdeckt werden: Der Wirt versorgt die Symbionten mit Licht, wodurch die Photosynthese verbessert wird.

In der Gastrodermis von *L. fragilis* liegen die Zooxanthellen einlagig auf Pigmentkörnern, die zu Chromatophorenzellen des Wirtes gehören (Abb. 10). Die Einlagigkeit der Algen verhindert eine wechselseitige Beschattung. Die Pigmentkörner (ca. 0,5 - 1 µm im Durchmesser) und die darin lokalisierten Pigmente (Zoochrome) verbessern die Lichtversorgung der Zooxanthellen durch folgende physikalische Tricks: Durch Reflexion und Streuung der Strahlung an den Pigmentkörnern wird die Wahrscheinlichkeit erhöht, daß Strahlung, die nicht direkt von den Zooxanthellen absorbiert wurde, „im zweiten Anlauf“ doch noch photosynthetisch genutzt werden kann.

Betrachtet man das Korallengewebe in einem Fluoreszenzmikroskop, ergibt sich das in Abbildung 11 dargestellte Bild. Die Zooxanthellen fluoreszieren rötlich und die tierischen Pigmente hellblau. Diese Fluoreszenz ergibt sich nur, wenn man das Gewebepreparat mit violettem Licht bestrahlt. Diese Strahlungsqualität kommt im Lebensraum von *L. fragilis* vor, sie kann aber von den Pigmenten der Zooxanthellen für die Photosynthese nur schlecht genutzt werden. Die tierischen Pigmente hingegen absorbieren die kurzwellige violette Strahlung und emittieren längerwellige blaue Strahlung, die photosynthetisch sehr wirksam ist. Durch diese Lichttransformation von kurz nach lang wird kein Licht zusätzlich erzeugt, sondern vorhandenes „wertloses Licht“ in „wertvolles Licht“ umgewandelt, mit dem Photosynthese betrieben werden kann.

Diese Mechanismen (Reflexion, Streuung, Lichttransformation) zur Verbesserung des Lichtangebots für die Zooxanthellen sind, wie spätere Untersuchungen zeigten, kein Einzelfall. Die Untersuchung von 78 Steinkorallenarten im Flachwasser (bis 40 m) ergab, daß 13 weitere Arten, die wie *L. fragilis* zu den Agariciidae gehören, ebenfalls über Chromatophorenzellen verfügen (Schlichter et al., 1994). Die fluoreszierenden Arten sind bereits früher als Anzeiger für Schwachlichtstandorte bekannt gewesen; zu ihnen gehören aber auch schnellwüchsige Pionierarten.

Auch im Flachwasser bringen die oben beschriebenen Mechanismen zur Verbesserung der Lichtausbeute Vorteile: Dadurch können Schwachlichtstandorte besiedelt werden und die Beschattung durch schnellwüchsige Arten kann besser toleriert werden. Chromatophorenhaltige Korallen können also, im Gegen-

satz zu den Arten ohne Chromatophorensystem, in den Morgenstunden bereits früher und intensiver und am Abend entsprechend länger Photosynthese betreiben. Der tägliche photoautotrophe Beitrag der Zooxanthellen ist bei diesen Arten gesteigert.

Bei den fluoreszierenden Pigmenten der Korallen handelt es sich mit großer Wahrscheinlichkeit um Pterine, deren Struktur zur Zeit analysiert wird.

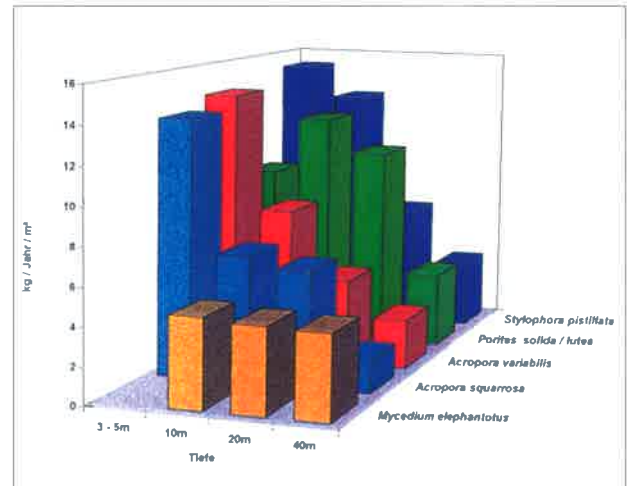
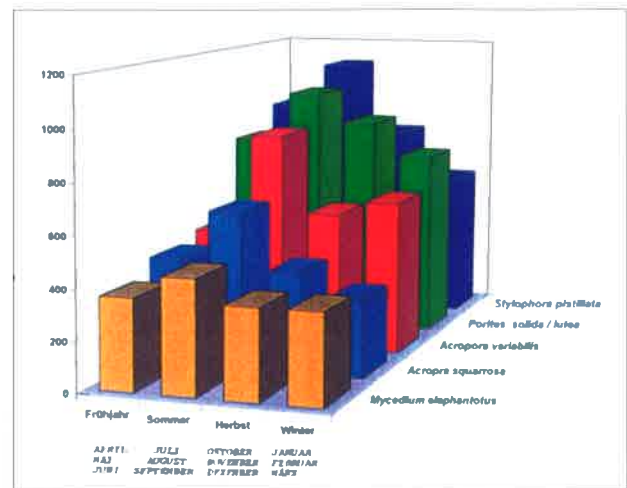


Abb. 12: Die jährliche, artspezifische Kalkproduktion verschiedener Steinkorallenarten im Golf von Aqaba (29°30'N) in Abhängigkeit von der Wassertiefe. Jede Säule repräsentiert den Mittelwert aus mindestens 30 Einzelmessungen.

Abb. 13: Die artspezifische Kalkproduktion verschiedener Steinkorallenarten im Jahresgang. Der Kurvenverlauf der Kalkproduktion korreliert mit dem Lichtangebot, das während der Sommermonate am höchsten ist. Jede Säule repräsentiert den Mittelwert aus mindestens zehn Einzelmessungen.



Karbonatproduktion und Skelettbildung

Durch die ungeschlechtliche Bildung neuer Polypen wachsen Korallenkolonien zu beeindruckender Größe heran. Durchmesser von 7 m und ein Alter von 500 Jahren sind keine Seltenheit. Der Großteil der Kolonien erreicht aber eher Durchmesser von einigen Dezimetern und ein Alter von einigen Jahrzehnten.

Dem Skelettwachstum geht immer eine Vermehrung des kalkproduzierenden Körpergewebes voraus. Beide Prozesse benötigen Energie, die aus einer der vorgestellten Nahrungsquellen stammt.

Korallenkolonien wachsen, indem bestehende Skelettbereiche durch Auflagerung von Kalziumkarbonat dicker werden. Die Größenzunahme der Kolonien geschieht peripher. Durch terminales (lineares) Wachstum werden Äste verlängert oder neue gebildet. Auch bei anderen Wuchsformen geschieht die Kolonievergrößerung in den äußeren Bezirken. Die Stabilität der Skelette ist von der artspezifischen Wuchsform weitgehend unabhängig.

Bestimmt man in regelmäßigen Abständen die Gewichtszunahme einer Kolonie, kann daraus die in einer bestimmten Zeitdauer produzierte Kalziumkarbonatmenge berechnet werden. Die Gewichtszunahme von Steinkorallen liegt art- und tiefenabhängig im Golf von Aqaba zwischen 3 und 15 kg pro m² Kolonieoberfläche und Jahr (Schlichter et al., 1996). Aus Abbildung 12 geht klar hervor, daß sich die Kalkproduktionsraten verschiedener Arten in der gleichen Wassertiefe unterscheiden und daß mit zunehmender Wassertiefe von der gleichen Art weniger Kalk produziert wird. Man muß sich aber darüber im Klaren sein, daß sich mit zunehmender Wassertiefe, wie bereits erwähnt, nicht nur die Lichtbedingungen ändern, sondern auch andere ökologisch wirksame Faktoren. Im Golf von Aqaba war in 40 m Wassertiefe die Karbonatproduktion, verglichen mit der in 5 - 10 m, um ca. 75% reduziert. Dies hängt maßgeblich mit der geringer werdenden Sonneneinstrahlung in größeren Tiefen zusammen und der daraus resultierenden geringeren Primärproduktion der Zooxanthellen. Denselben Effekt der Zooxanthellen kann man nachweisen, wenn man den Tagesgang der Kalkproduktion bestimmt. Sie ist tagsüber bis zu 20 mal größer als nachts. Eine kausale Erklärung dieses Unterschiedes macht nach wie vor Schwierigkeiten, obgleich das Phänomen schon jahrzehntelang bekannt ist.

Die Lichtwirkung, d. h. die Beeinflussung der Kalkproduktion durch die Photosynthese der Zooxanthellen, findet auch eine Bestätigung in der erwähnten Tiefenabhängigkeit und in der Saisonalität der Karbonatproduktion, die in Abbildung 13 dargestellt ist. Im Golf von Aqaba (29° 30' N) gibt es einen ausgeprägten Tages- und Jahresgang der Sonneneinstrahlung. Die Intensität der Strahlung und die Sonnenscheindauer ist während der Wintermonate geringer, verglichen zu den Sommermonaten. Dieser Saisonalität der Strahlung folgt in auffälliger Weise die Karbonatproduktion. Die Temperatur hat im Golf von Aqaba, wenn überhaupt, nur in den oberen 10 m Einfluß auf die Biokalkifikation, da - wie bereits erwähnt - ab 10 m Tiefe bis

in 1.600 m eine gleichbleibende Temperatur von 20 bis 22 °C herrscht. Im Oberflächenwasser gibt es Schwankungen im Jahresgang, die in 10 m ca. 2 °C und in 2 - 3 m Tiefe kurzzeitig auch 4 - 6 °C erreichen. Salinitätsänderungen, die sich auf die Karbonatproduktion auswirken könnten, gibt es im Roten Meer nicht; der Salzgehalt liegt stets gleichbleibend bei 40,5 - 41‰.



Abb. 14: Das lineare Wachstum von Steinkorallen läßt sich durch Anfärbung ermitteln. Eine Kolonie von *Mycedium elephantotus* wurde am Riff in einer Farblösung für 10 Stunden inkubiert. Dies entspricht dem rotgefärbten Skelettbereich (Pfeil). Kalk, der nach der Farbmarkierung von dem Korallengewebe abgeschieden wurde, ist weiß, d. h. diese Kolonie ist in zwei Jahren in 40 m Tiefe 36 mm gewachsen.

Das Längenwachstum ist bei verschiedenen Steinkorallenarten sehr unterschiedlich und reicht bei ästigen Formen im Roten Meer von 7 mm bis 16 mm pro Jahr; in der Literatur finden sich auch Werte von 265 mm (Abb. 14). Massige, halbkugelige Formen haben ein geringeres Längenwachstum (Schlichter et al., 1996).

Die Beeinflussung der Karbonatproduktion durch die Zooxanthellen

Das Exoskelett ist aus Kalziumkarbonat aufgebaut und die notwendigen Bausteine dafür, die Kalziumionen und Karbonationen sind gelöst im Meerwasser vorhanden. Die Leistung der Steinkorallen besteht darin, daß sie die physikalisch/chemischen Bedingungen so verändern, daß die gelösten Ionen angereichert werden, aus der Lösung ausfallen und daß sich Aragonitkristalle bilden. Auf Einzelheiten der chemischen Reaktionen kann hier nicht eingegangen werden. Ein Hinweis, daß die Biokalkifikation ihre eigenen Regeln hat, obwohl die dabei ablaufenden Prozesse jenen gleichen, wenn sich Kalziumkarbonat in der unbelebten Natur bildet, muß gemacht werden: Ehe es zur Bildung des Aragonitskeletts kommt, werden vom epidermalen Gewebe (der äußeren Gewebeschicht)

Schleimschubstanzen abgegeben, an denen die Ausfällung der Kalkkristalle erfolgt, d. h. die von den Korallen produzierten Schleimschubstanzen spielen die entscheidende Rolle bei der biogenen Kristallbildung und dem Skelettwachstum.

Bei Überlegungen, mit denen der verstärkende Einfluß der Zooxanthellen auf die Karbonatabscheidung erklärt werden könnte, muß ein vielfach abgesicherter Befund berücksichtigt werden. Das Wachstum buschiger oder baumartiger Korallenkolonien unterscheidet sich in den verschiedenen Regionen ein und derselben Kolonie ganz wesentlich. Terminale Äste wachsen bis zu 40 mal schneller als laterale.

Heute werden verschiedene Hypothesen diskutiert, durch welche Prozesse die Zooxanthellen Einfluß auf die Karbonatproduktion nehmen:

Der Entzugs- oder Verbrauchshypothese liegt der oben erwähnte Befund zugrunde, daß tagsüber die Kalkabscheidung deutlich höher ist als in Dunkelheit. Durch den photosynthetischen Entzug (Verbrauch) von Kohlendioxid durch die Zooxanthellen steigt der pH-Wert im Gewebe bzw. in der Flüssigkeit des Gastrovaskularsystems. Der pH-Anstieg wirkt sich verstärkend auf die Abscheidung von Kalziumkarbonat aus, da dieses im basischen Bereich nicht in Lösung bleibt und ausfällt (Goreau, 1959). Sinngemäß trifft diese Argumentation auch für den Verbrauch von Phosphat- und Ammoniumionen zu. Beides sind Bausteine, die die Zooxanthellen zur Synthese von Proteinen und energiereichen Phosphaten, Lipiden etc. brauchen. Sind Phosphat und Ammonium im Meerwasser vorhanden, wirken sie als „Kristallgifte“, d. h. die Bildung von Aragonitkristallen ist gestört. Werden Phosphat und Ammonium durch die Zooxanthellen tagsüber verbraucht, ist die Karbonatproduktion erhöht.

Die soeben vorgestellten Effekte der Zooxanthellen würden die Steigerung der Karbonatproduktion durch die Photosynthese plausibel machen. Es gibt, und dies soll nicht verschwiegen werden, allerdings auch experimentelle Befunde, die den beschriebenen Wirkmechanismus nicht unterstützen. Ein wichtiger Einwand ist die Tatsache, daß in den Endstücken (Spitzen) von Korallenästen, also dort wo die höchste Karbonatproduktion geschieht, im Gewebe der Korallen keine Zooxanthellen vorhanden sind.

Daraus leiten andere Forscher die Hypothese ab, daß der stimulierende Effekt der Zooxanthellen auf anderen Mechanismen beruht. Eine Gruppe argumentiert, daß durch die Lieferung von Photoassimilaten den Korallen vermehrt Energie für die Kalkproduktion zur Verfügung steht: Die Energie könnte z. B. für den Transport von Ionen durch Zellmembranen mit Hilfe von Ionenpumpen eingesetzt werden, oder für die Synthese von Enzymen, die für die Karbonatabscheidung benötigt werden. Andere Forschergruppen sind der Meinung, daß die Zooxanthellen vermehrt Substanzen liefern, die der Wirt zur Synthese dieser Schleimschubstanzen braucht, die für den ersten Schritt bei der biogenen Kalzifizierung benötigt werden. Auch die beiden letztgenannten Erklärungsversuche stehen

mit der Tatsache in Einklang, daß tagsüber die Kalkproduktionsraten höher sind als nachts.

Untersuchungen an azooxanthellaten Steinkorallen haben in neuester Zeit zusätzliche Verwirrung in die Hypothesenbildung gebracht. Die erwähnten Untersuchungen lieferten experimentelle Beweise, daß auch tropische Steinkorallen ohne Zooxanthellen Karbonat in vergleichbarer Menge abscheiden, wie dies zooxanthellate Arten tun (Marshall, 1996). Diese Ergebnisse werden von etablierten Korallenforschern jedoch sehr stark angezweifelt.

Vor der Küste Norwegens kommen in 200 bis 600 m Wassertiefe und bei Temperaturen von 3 °C, große Korallenbänke vor, die fast ausschließlich von zwei azooxanthellaten Steinkorallenarten (*Lophelia pertusa*, *Madrepora oculata*) aufgebaut werden. Ferner gab und gibt es Formationen aus „Biokalk“, an deren Aufbau Steinkorallen nicht oder unmaßgeblich beteiligt sind: Mikrobenriffe, Algenriffe, Wurmriffe oder in früheren Erdzeitaltern Rudisten- und Brachiopodenriffe (siehe Beitrag Schuhmacher in diesem Band). Insofern kann nicht von einem gesetzmäßigen Zusammenhang von Riffbildung und zooxanthellaten Steinkorallen ausgegangen werden. Vielmehr scheint es so zu sein, daß es unter bestimmten ökologischen Voraussetzungen zur biogenen Riffbildung kommen kann, wobei die Kalkproduzenten aber verschiedenartig sein können.

Der evolutive Erfolg der heutigen zooxanthellaten, kolonialen Steinkorallenarten in tropischen und subtropischen Flachwasserriffen zeigt sich an deren dominierenden Stellung. Im jahrmillionenlangen Kampf ums Dasein konkurrierten sie die zooxanthellenfreien Arten nahezu vollständig aus. An Riffen gibt es nur einige Dutzend zooxanthellenfreie Arten und deren Karbonatproduktion fällt für das Riffwachstum nicht ins Gewicht.

Das Erfolgsrezept der zooxanthellaten Steinkorallen

Welche Fähigkeiten bzw. Eigenschaften waren bzw. sind das Erfolgsrezept der zooxanthellenhaltigen, kolonialen Steinkorallen, die am Aufbau von Riffen in warmen und seichten Meeresregionen beteiligt sind?

Der anpassungsfähige Bauplan von Steinkorallen bewährt sich in seinen Grundzügen seit wenigstens 550 Millionen Jahren. Die Kolonialität, d. h. der Aufbau aus funktionsgleichen Untereinheiten, brachte Vorteile im Vergleich zur individuellen Existenz. Durch die Vereinigung von Korallen und Dinoflagellaten vor rund 200 Millionen Jahren entstand ein Doppelorganismus mit neuen, adaptiven Eigenschaften. Die intrazelluläre Kopplung des heterotrophen Stoffwechsels der Korallen mit dem photoautotrophen der Symbionten (Kopplung von Atmung und Photosynthese) ließ die Steinkorallen zu den „perfektesten Tieren“ werden. Die Verbindung war ideal, da der Zellstoffwechsel beider Partner auf Lipiden basiert. Dabei erwies sich die Verknüpfung nicht nur energetisch (ernährungsphysiologisch) als „Renner“. Die symbiontischen Algen

befähigen die Korallen auch zu verstärkter Karbonatproduktion, d. h. zu einem schnelleren Wachstum, was sie zum Auskonkurrieren zooxanthellenfreier Arten befähigte. Die funktionelle Photoautotrophie und das intrazelluläre Materialrecycling machten die Korallen, bei ausreichender Strahlung, ernährungsphysiologisch weitgehend unabhängig. Dies war bei der Eroberung warmer, oligotropher Gewässer mit einem nur geringen Zooplanktonangebot (geringer Nahrungsenergiegedichte) der entscheidende Vorteil.

Die energetische Versorgung des Systems „Koralle“ ist durch die verschiedenen Ernährungsstrategien extrem krisensicher. Die funktionelle Photoautotrophie ist der Hauptpfeiler der Energieversorgung, aber auch die Nutzung gelöster organischer Verbindungen und die Spezialisierung auf bestimmte Komponenten des partikulären Nahrungsangebots tragen erheblich zu einem stabilen Ernährungsmanagement des Gesamtsystems bei.

Danksagung:

Die Untersuchungen im Golf von Aqaba, an der Marine Science Station Aqaba, Jordanien, wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unterstützt (Schl 115/8-1 bis 8-4). Frau H. Kampmann und Herrn L. M. Kuhrau, die die Untersuchungen im Freiwasser durchführten, danke ich für ihren engagierten Einsatz.

Thanks are due to all members of the Marine Science Station Aqaba (Jordan), in particular to the director Prof. Dr. A. Abu-Hilal.

Literatur:

- Benson, A. A. & L. Muscatine (1974): Wax in coral mucus: energy transfer from corals to reef fishes. *Limnol. Oceanogr.*, 19: 810 - 814.
- Fricke, H. W. & H. Schuhmacher (1983): The depth limit of Red Sea stony corals: an ecophysiological problem. *P. S. Z. N. I.: Mar. Ecol.*, 4: 163 - 194.
- Gates, R. D., O. Hoegh-Guldberg, M. J. McFall-Nigai, K. Y. Bil & L. Muscatine (1995): Free amino acids exhibit anthozoan „host factor“ activity: They induce the release of photosynthate from symbiotic dinoflagellates in vitro. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 92: 7430 - 7434.
- Goreau, T. F. (1959): The physiology of skeleton formation in corals: I. A method for measuring the rate of calcium deposition by corals under different conditions. *Biol. Bull.*, 116: 59 - 75.
- Klinker, J., Z. Reiss, C. Kropach, I. Levanon, H. Harpaz & Y. Shapiro (1978): Nutrients and biomass distribution in the Gulf of Aqaba (Elat), Red Sea. *Mar. Biol.*, 45: 53 - 64.
- Kühlmann, D. H. H. (1983): Composition and ecology of deep-water coral associations. *Helgoländer wiss. Meeresunters.*, 36: 183 - 204.
- Marshall, A. T. (1996): Calcification in hermatypic and ahermatypic corals. *Science*, 271: 637 - 639.
- Riedl, R. (1969): Marinbiologische Aspekte der Wasserbewegung. *Mar. Biol.*, 4: 62 - 78.
- Roberts, H. H., P. M. Stephen & J. N. Suhayda (1975): Physical processes in a fringing reef system. *J. Mar. Res.*, 23: 233 - 260.
- Schlichter, D. (1982): Epidermal nutrition of the alcyonarian *Heteroxenia fuscescens* (Ehrb.): absorption of dissolved organic material and lost endogenous photosynthates. *Oecologia*, 53: 40 - 49.
- Schlichter, D. (1983): Ernährungsstrategien von Nesseltieren. *Verh. Ges. Ökol. (Mainz 1981)* X: 591 - 603.
- Schlichter, D., A. Svoboda & B. P. Kremer: (1983): Functional autotrophy of *Heteroxenia fuscescens* (Anthozoa, Alcyonaria): carbon assimilation and translocation of photosynthates from symbionts to host. *Mar. Biol.*, 78: 29 - 38.
- Schlichter, D., W. Weber & H. W. Fricke (1985): A chromatophore system in the hermatypic, deep-water coral *Leptoseris fragilis* (Anthozoa: Hexacorallia). *Mar. Biol.*, 89: 143 - 147.
- Schlichter, D. & H. W. Fricke (1991): Mechanisms of amplification of photosynthetically active radiation in the symbiotic deep-water coral *Leptoseris fragilis*. *Hydrobiologia*, 216/217: 389 - 394.
- Schlichter, D., U. Meier & H. W. Fricke (1994): Improvement of photosynthesis in zooxanthellate corals by autofluorescent chromatophores. *Oecologia*, 99: 124-131
- Schlichter, D., D. Zscharnack & H. Krisch (1995): Transfer of photoassimilates from endolithic algae to coral tissue. *Naturwissenschaften*, 82: 561 - 564
- Schlichter, D., S. Conrady, H. Kampmann, A. Klüter, H. Krisch, L. M. Kuhrau & B. Zscharnack (1996): Carbonate production of scleractinians in dependence upon the availability of food and the trophic potential of endolithic algae. In: *Global and regional controls on biogenic sedimentation. I. Reef evolution. Research reports. Reiter, J., Neuweiler, F. & Gunkel, F. (Eds). Göttinger Arb. Geol. Paläont.*, Sb2: 111 - 118.
- Schlichter, D., H. Kampmann & S. Conrady (1997): Trophic potential and photoecology of endolithic algae living within coral skeletons. *P. S. Z. N.: Mar. Ecol.*, 18: 299 - 317.
- Schlichter, D. & H. Brendelberger (1998): Plasticity of the scleractinian body plan: functional morphology and trophic specialization of *Mycedium elephantotus* (PALLAS, 1766). *Facies* (im Druck)
- Schuhmacher, H. & H. Zibrowius (1985): What is hermatypic? *Coral Reefs*, 4: 1 - 9.
- Shick, M. (1991): *A functional biology of sea anemones*. Chapman and Hall. 395 S.
- Sorokin, Y. I. (1993): *Coral reef ecology*. Springer, 465 S.
- Stanley, G. D. Jr. & P. K. Swart (1995): Evolution of the coral-zooxanthellae symbiosis during the Triassic: a geochemical approach. *Paleobiology*, 21: 179 - 199.
- Yonge, C. M. (1973): Coral reef project. Papers in memory of Dr. Thomas F. Goreau. The nature of reef building (hermatypic) corals. *Bull. mar. Sci.*, 23: 1 - 15.



Abb. 1: Kahle Felsen an Land kontrastieren mit der reichen Unterwasserwelt im Korallenriff von Aqaba, Jordanien, am nord-östlichen Ausläufer des Roten Meeres. Im Hintergrund Hafenanlagen und rechts die begrünte Meeresforschungsstation.

Das Riff als Planktonfilter

C. Richter

Die Menge und Vielfalt an Lebensformen in einem tropischen Riff ist überwältigend, besonders im Roten Meer, wo karge Felswüsten an Land nichts von dem Reichtum unter Wasser erahnen lassen (Abb. 1). Für den Meeresforscher ist die außerordentliche Entwicklung marinen Lebens im Korallenriff nicht minder faszinierend, steht sie doch im krassen Widerspruch zu der fast sprichwörtlichen Nährstoffarmut der sie umgebenden Gewässer. Die aufgrund ihrer Plankton-Armut kristallklaren und tiefblauen tropischen Meere gehören mit Primärproduktionsraten von durchschnittlich nur $0,2 \text{ g Kohlenstoff pro Quadratmeter und Tag (C m}^{-2} \text{ d}^{-1})$ zu den „Wüsten“ der Ozeane (Kinsey, 1985). Korallenriffe hingegen warten mit zehnbis hundertfach höheren Werten auf (Lewis, 1977; Kinsey, 1983) und stellen in Analogie hierzu „Oasen“ dar (Odum, 1971). Tatsächlich gehören sie zu den produktivsten, arten- und biomassereichsten marinen Lebensgemeinschaften überhaupt. Die gelösten anorganischen Nährstoffe, vor allem Stickstoff- und Phosphorverbindungen, die als „Dünger“ die Grundlage pflanzlichen Wachstums im ersten Glied der Nahrungskette stellen, stehen demgegenüber nur in Spuren zur Verfügung, oft an der unteren Nachweisgrenze

der analytischen Methoden (D'Elia, 1988). Wie aber ist auf einer solch dünnen Nährstoff-Grundlage eine derart üppige Entfaltung marinen Lebens möglich? Dies ist eine der Kernfragen, die im „Red Sea Program (RSP)“ und im jordanisch-deutschen „Aqaba-Projekt“ von israelischen, ägyptischen, jordanischen, palästinensischen und deutschen Wissenschaftlern und Studenten fach- und länderübergreifend erforscht werden (s. Beitrag Hempel in diesem Band).

Eine wichtige Rolle spielt hier die sehr effiziente Nutzung der knappen Ressourcen, wobei kurze Wege und Recycling die Verluste von Nährstoffen aus dem Riff in das umgebende Wasser gering halten. Exemplarisch hierfür ist die Symbiose zwischen den Korallen und den ihnen innewohnenden Mikroalgen (Zooxanthellen), die aufgrund der räumlichen Verschmelzung der Partner einen optimalen Austausch von Nährstoffen und Photosynthese-Produkten innerhalb der einzelnen Koralle ermöglicht (siehe Beitrag Schlichter in diesem Band). Auch auf dem Niveau von Populationen läßt sich ein enger Stoffkreislauf zwischen Produzenten und Konsumenten beobachten: nahezu ebensoviele Nährstoffe wie von den endo-

symbiontischen und auf oder im Korallenkalk lebenden (epi- und endolithischen) Algen photosynthetisch gebunden werden, werden ihnen über den kleinen Stoffkreislauf durch Weidegänger, Räuber, usw. wieder zurückgeführt. Ausgeglichene Produktion : Respirations-Verhältnisse ($P/R \approx 1$) lassen das Korallenriff in seiner Gesamtheit als weitgehend autonomes - d. h. von der Zufuhr riffexterner (allochthoner) Materials unabhängiges - System erscheinen (Sargent & Austin, 1949; Odum & Odum, 1955).

Allerdings entspricht diese idealisierte Vorstellung einer auf regenerierten Nährstoffen (z. B. Ammonium) basierenden Klimax-Gemeinschaft nicht ganz der Realität, denn bei genauerem Hinsehen werden an verschiedenen Stellen - lokal wie über die Zeit - „Lecks“ sichtbar, über die dem Riff gelöste Nährstoffe an das durch Brandung und Strömung stark bewegte Wasser verloren gehen (Webb et al., 1975). So finden sich im Lee von Riffen oftmals höhere Nährstoffkonzentrationen als auf der strömungszugewandten Seite (D'Elia, 1988), wobei die Verluste paradoxerweise unter oligotrophen Bedingungen besonders groß zu sein scheinen (Erez et al., 1993) - also gerade dann, wenn die schwierige Nährstofflage eine besonders starke Rückhalte-Effizienz erfordern würde.

Um einem „Ausbluten“ der lebenswichtigen Nährstoffe entgegenzuwirken, müssen die Nährstoff-Verluste durch einen Zustrom allochthoner Materials kompensiert werden. Als mögliche Importwege für neue Nährstoffe (z. B. Nitrat) ins Korallenriff werden der Auftrieb nährstoffreichen Wassers aus der Tiefe, der Eintrag von Fluß- und Grundwasser von der Seite (Wolanski, 1994), vor allem aber die Fixierung atmosphärischen Stickstoffs durch Blaualgen (Wiebe et al., 1975) diskutiert. Offenbar geht aber das meiste des so neu gewonnenen Stickstoffs durch bakterielle Vorgänge (Denitrifizierung) wieder verloren, so daß die Gesamtbilanz an gelösten Nährstoffen für das Riff ausgeglichen oder negativ zu sein scheint (Smith, 1984).

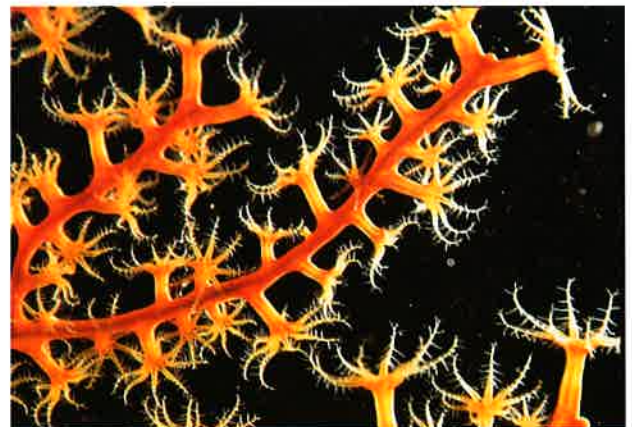
Abb. 2: Korallenriffe mit ihrer komplexen dreidimensionalen Struktur bieten eine große Oberfläche für Austauschprozesse mit dem umgebenden Wasser.

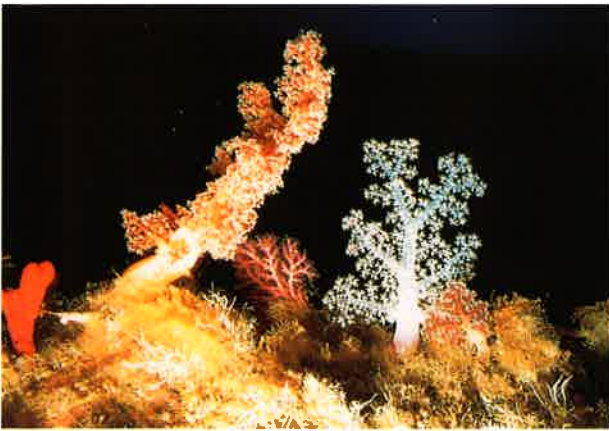


Der lebenswichtige Stickstoff und Phosphor liegen aber auch in organisch gebundener partikulärer Form vor. Diese meist mikroskopisch kleinen Schwebstoffe (Seston: lebendes Plankton und unbelebter Detritus) kommen - wie die bereits erwähnte große Transparenz der Riffgewässer beweist - ebenfalls nur in sehr geringen Konzentrationen vor und erscheinen damit als eine auf den ersten Blick wenig ergiebige Nahrungsquelle. Bei näherer Betrachtung ist aber weniger die Dichte als der Volumentransport von Schwebstoffen für die Frage der allochthonen Nahrungsversorgung entscheidend. Denn bei hinreichend starkem Wasseraustausch mit dem umgebenden Meer kann selbst bei nur geringen Sestondichten eine ausreichende Versorgung des Korallenriffs mit partikulärem organischen Stickstoff und Phosphor gewährleistet sein. Voraussetzung hierfür ist, daß das Riff-System ein guter Filter ist.

In der Tat deuten die morphologischen Merkmale der Korallenriffe mit ihrer reich gegliederten Oberfläche und die besonderen Anpassungen der Rifforganismen auf eine hohe Fängigkeit der Riffoberfläche hin (Abb. 2, 3). Viele Suspensionsfresser weisen eine hohe „slenderness ratio“ auf (Abelson et al., 1993), d. h. sie sind länger als breit und erheben sich so über das Substrat, wo sie stärker umströmt werden (Abb. 4). Auch planktonfressende Fische (Abb. 5) stehen in Schwärmen auf der strömungszugewandten Seite des Riffs als lebende „Wände von Mäulern“ (Hammer et al., 1988), die im anströmenden Wasser gierig nach allem Freißbaren schnappen. Die zumeist tagaktiven visuellen Räuber ziehen sich bei Sonnenuntergang in die schützenden Löcher und Spalten des Riffs zurück und überlassen das Feld den Korallen, die in der Nacht ihre Polypen entfalten (Abb. 6) und das Riff mit einem dichten Teppich von Myriaden nesselkapselbewehrter Tentakel bedecken. Untersuchungen in verschiedenen Meeresgebieten zeigten, daß Korallen und Fische zwischen 20 % und 80 % des anströmenden tierischen Planktons über dem Riff wegfressen, Riffe können damit sehr effiziente Zooplankton-Fallen

Abb. 3: Eine große Anzahl von Rifforganismen zeigt vielfältige speziellen Anpassungen für den Planktonfang. Die Nesselkapseln in den gefiederten Tentakeln vieler Octocorallia enthalten hochspezialisierte Harpunen zum Festhalten und Lähmen von Zooplankton.





sein (Glynn, 1973; Johannes & Gerber, 1974; Hamner et al., 1988). Die Spuren intensiver Freßaktivität sind oftmals als regelrechte „Plankton-Löcher“ im Lee solcher Plankton-Fallen zu erkennen (Genin et al., 1994).

Glynn wies bereits 1973 darauf hin, daß neben dem Zooplankton auch sehr viel kleinere einzellige Algen (Phytoplankton) über dem Riff zurückgehalten werden - und warf damit die schwierige Frage auf, welche Gruppe von Konsumenten hierfür verantwortlich sein könnte. Denn es war klar, daß die Mikroalgen aufgrund ihrer geringen Größe und Masse für planktivore Fische und Korallen unerkant bleiben, daß also nur strudelnde Organismen als Phytoplankton-Fresser in Frage kommen. Strudler wie Muscheln, Schwämme und Seescheiden sind zwar durchaus regelmäßig auf dem Riff anzutreffen, kommen aber - anders als etwa in Muschelbänken höherer Breiten - so gut wie nie in Massen vor. Wie aber wären die beobachteten Phytoplankton-Zehrungen über dem Riff dann zu erklären? Das Problem vergrößerte sich noch durch die - nach Einführung moderner epifluoreszenzmikroskopischer und durchflußzytometrischer Methoden gewonnene - Erkenntnis, daß der überwiegende Anteil des tropischen Phytoplanktons aus sehr kleinen, teilweise nur Bakteriengröße erreichenden Zellen besteht, die allein ca. 80% der Gesamtmasse des pflanzlichen und tierischen Planktons ausmachen (Ducklow, 1990). Neuere Untersuchungen aus dem Großen Barriereriff zeigen, daß selbst diese winzigen, nur tausendstel Millimeter messenden Picoplankter effektiv vom Korallenriff zurückgehalten werden und zu einem Eintrag allochthoner Nahrung ins Riff beitragen, der der Netto-Primärproduktion im Riff an Größe vergleichbar ist (Ayukai, 1995).

Das „Phytoplankton-Paradox“ über dem Korallenriff nährte Spekulationen über mögliche physikalisch-chemische Ursachen, etwa das Verfangen von Plankton in Schleimen, die von Rifforganismen ins Wasser abgegeben werden (Crossland, 1987; Coffroth, 1988). Dann traten mit der überraschenden Entdeckung einer vegetarischen *Dendronephthya* (Abb. 7) die häufigen Weichkorallen (s. Beitrag Reinicke in diesem Band) als mögliche Phytoplanktonzehrter ins Rampen-

Abb. 4: Passive Suspensionsfresser im Korallenriff weisen oftmals aufrechte und verzweigte Körperformen auf und bieten eine große Angriffsfläche für die vorbeitreibenden Nahrungspartikel.

Abb. 5: Schwärme planktonfressender Fische bilden Wände von Mäulern über dem Korallenriff. Vor Aqaba dominieren Fahnenbarsche (*Pseudanthias taeniatus*) und Demosellefische (*Neopomacentrus miryae*).

Abb. 6: Vor allem nachts entfalten sich die Korallenpolypen. Hier die azooxanthellate *Dendrophyllia* sp.

Abb. 7: Die Weichkoralle *Dendronephthya* sp. überraschte die Fachwelt mit ihrer für Korallen ungewöhnlichen vegetarischen Kost. Im Hintergrund ein großer Schwarm zooplanktonfressender Fische.

licht (Fabricius et al., 1995). Die Ergebnisse mußten aber wieder relativiert werden (Fabricius et al., 1996), und neue Untersuchungen aus dem Golf von Aqaba zeigen, daß *Dendronephthya* wahrscheinlich nur lokale Bedeutung als Phytoplanktonfänger hat (Yahel et al., im Druck).

Die lange ergebnislose Suche auf dem Riff vor Augen entschlossen wir uns am Zentrum für Marine Tropenökologie, die bislang unerforschten Riffspalten und -löcher in Augenschein zu nehmen. Eine eigens hierfür entwickelte endoskopische Unterwasser-Kamera, die „CaveCam“ (Wunsch & Richter, 1998) ermöglichte zum ersten Male, in das enge Lückensystem vorzudringen (Abb. 8) und wie mit einer Magensonde das Riffinnere zu erkunden. Die Bilder, die uns

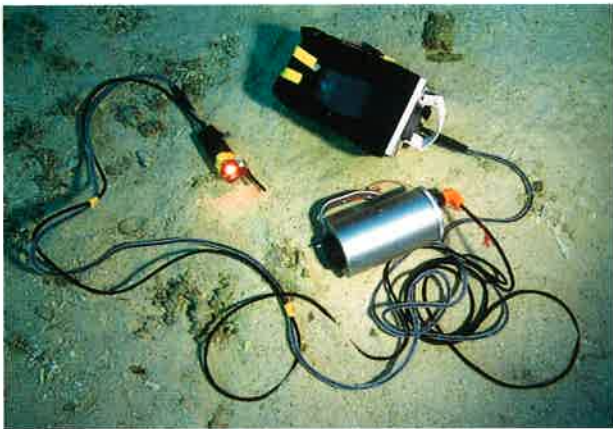


Abb. 8: Die endoskopische CaveCam ermöglicht den Einblick in die Lebewelt der engen Riffspalten. Der kleine mit Abstandhalter und Lampe ausgestattete Kamerakopf kann bis zu 3,5 m in das Riff eingeführt werden. Die hochauflösenden Bilder können über die Steuer- und Videoeinheit mit LCD-Monitor auf Hi8-Videoband aufgezeichnet werden.

die nur 25 mm im Querschnitt messende Kamera lieferte, übertrafen unsere Erwartungen: in einem schier endlosen Labyrinth dunkler Gänge und Spalten fanden wir eine einzigartige, von festsitzenden krustenförmigen und koloniebildenden Tieren dominierte Schattengemeinschaft, die in einer von außen nicht zu ahnenden Dichte und Vielfalt die Höhlenwände bedeckte (Abb. 9). Aus über 50 Stunden Videomaterial wissen wir inzwischen, daß neben Rotalgen vor allem kryptische Filtrierer in großen Dichten auftreten, allen voran Schwämme, Seescheiden und Moostierchen. Aufgrund des ungleich höheren Bedeckungsgrades und der mindestens doppelt so großen Oberfläche (Ginsburg, 1983) schätzen wir, daß in dem unter der Riffoberfläche verborgenen Lückensystem zehntausend- bis hundertfach höhere Strudler-Biomassen auftreten als auf dem Riff. Sollte die Ursache der Plankton-Löcher über dem Korallenriff in den Rifflöchern liegen?

Mit Spritzen und Schläuchen bewaffnet rückten wir den Riffspalten zu Leibe (Abb. 10) und fanden tatsächlich Phytoplanktonzehrungen, die die über dem Riff gemessenen bei weitem übertrafen! Bis zu 85% des einströmenden Phytoplanktons wird im Riff-

körper zurückgehalten (Richter & Wunsch, in Vorb.), der damit, einem Schwamm-Superorganismus vergleichbar, kleine und kleinste Partikel aus dem stetig durchströmenden Wasser herausfiltert. Damit scheint der Planktonfilter Riff in drei Stufen zu funktionieren (Abb. 11):

- Den Vorfilter bilden die genannten Fische und Korallen, die gewissermaßen mit grober Maschenweite vor und über dem Riff die größeren tierischen Planktonorganismen herausfangen. Die Freßaktivität scheint hierbei sowohl von äußeren Faktoren wie Licht, Strömung und Planktondichte als auch von endogenen Rhythmen abzuhängen, wie laufende Untersuchungen innerhalb des RSP und des Aqaba Projektes zeigen. Tagsüber dominieren die visuell überlegenen zoo-



Abb. 9: Das Lückensystem im Riffkörper bietet einen großen Siedlungsraum für kryptische Organismen. Anders als auf dem lichtdurchfluteten Riff dominieren in den dunklen Spalten heterotrophe Formen, vor allem Suspensionsfresser.

planktivoren Fische, im Schutze der Dunkelheit die wirbellosen Tentakelfänger.

- Die unmittelbar auf und großenteils im Substrat lebenden Strudler und Schleimnetzfünger - wie Polychaeten, Wurmschnecken, Bohrmuscheln oder Bohrschwämme - seihen ein großes Größenspektrum von Partikeln heraus. Die Schleimnetzfünger scheinen hierbei eher opportunistisch vorzugehen und neben Phytoplankton auch das nachts aus dem Riff aufsteigende demerse Zooplankton abzufangen, wie laufende Untersuchungen aus dem Aqaba Projekt zeigen.

- Die kryptischen Strudler in den Höhlen schließlich übernehmen als Mikrofilter die Endreinigung des Wassers im Riff. Sie besiedeln - von außen nicht sichtbar - in großen Dichten die Stollen und Spalten des Riffgefüges und sind vermutlich maßgeblich für die Picoplanktonzehrungen über dem Riff verantwortlich.

Es liegt auf der Hand, daß dieses fein aufeinander abgestimmte System empfindlich auf Veränderungen in der Menge und Zusammensetzung der eingetragenen Schwebstoffe reagiert. Unsere Daten aus Eilat - am

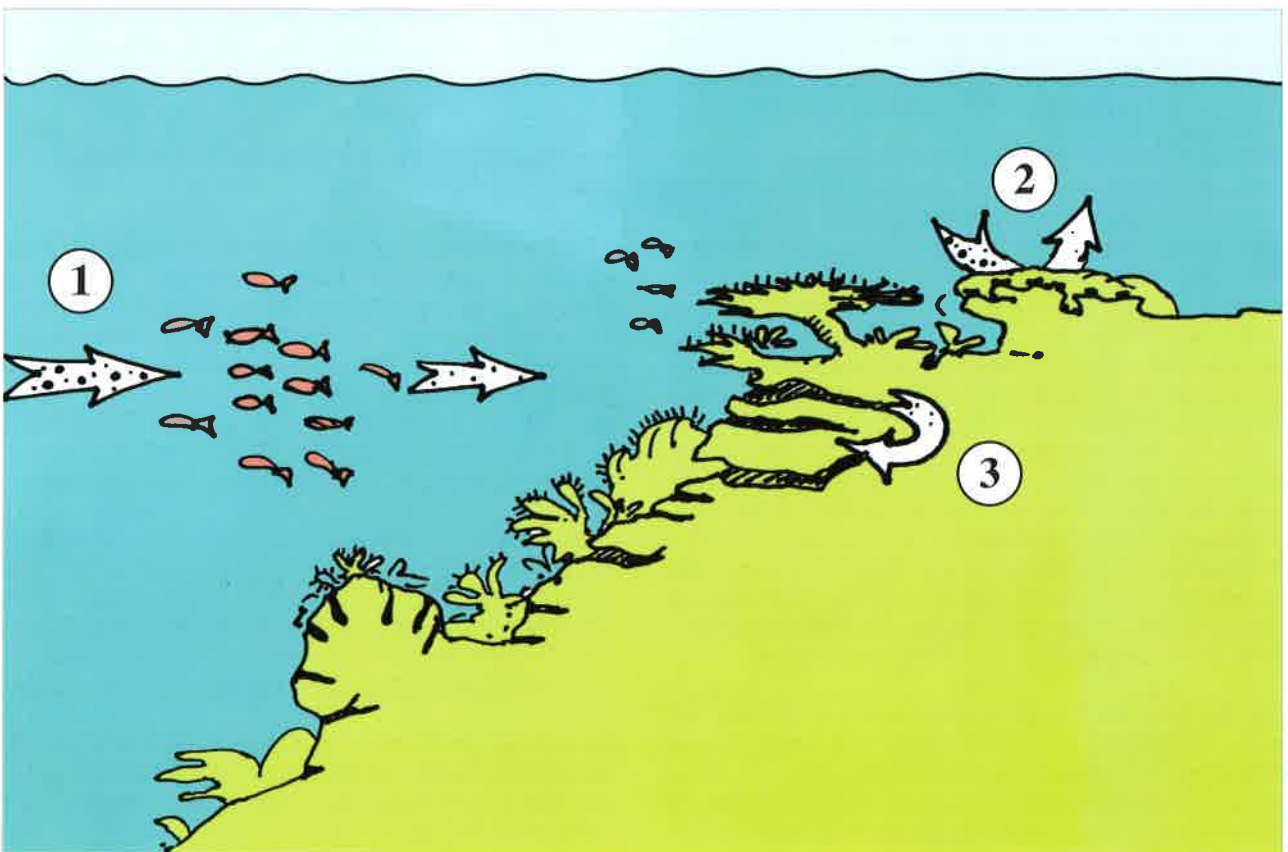


Abb. 10: Die Mitarbeiterin Iris Kötter und der Autor bei der Entnahme von Wasserproben aus den Spalten eines isolierten Riffpfeilers bei Ras Burka, Ägypten.

anthropogenen Einflüssen unterworfenen Nordende des Golfs von Aqaba - zeigen, daß kryptische Strudler ihre Filteraktivität bei hohen Phytoplanktonkonzentrationen einstellen, die dritte Stufe des genannten Filtersystems in einer Blütsituation also regelrecht „verstopfen“ kann. Ungewöhnliche Phytoplankton-Sommerblüten scheinen im Golf von Aqaba in den letzten Jahren zugenommen zu haben, wie Kollegen aus Israel und Ägypten übereinstimmend berichten. Es besteht berechtigter Anlaß zur Sorge, daß sie im Zusammenhang stehen mit der rasanten Entwicklung des Tourismus und dem damit verbundenen Eintrag gelöster und suspendierter Schadstoffe in diese ökologisch äußerst sensible Meeresregion. Um Veränderungen der Meeresumwelt frühzeitig feststellen zu können, wird gegenwärtig unter starker internationaler Beteiligung ein regionales Beobachtungsnetz aufgebaut, zu dem auch die Bundesregierung über das RSP beiträgt.

Kryptische Filtrierer könnten sich dabei - neben ihrer wichtigen Rolle im Stoffhaushalt des Riffes - als nützliche Bioindikatoren erweisen. Es ist denkbar, daß eine allgemeine Zunahme der Bakterien und Pico-Algen durch Eutrophierung eine Verschiebung in der Kryptofauna-Zusammensetzung nach sich zieht, weil oppor-

Abb. 11: Stark vereinfachtes konzeptionelles Schema des Planktonfilters Riff: tagaktive Fische und nachtaktive Korallen fangen das große Zooplankton vor und direkt über dem Riffkörper (1), inkrustierende und bohrende Strudler und Schleimnetz-Fänger Phyto- und Zooplankton verschiedener Größen (2), kryptische Strudler im Lückensystem des Riffkörpers kleinste Partikel aus dem Wasser (3).



tunistische schnellwüchsige Formen die an die extreme Planktonarmut angepaßten, mutmaßlich langsamwüchsigen Formen verdrängen. Die hochvernetzten kryptischen Gemeinschaften (Buss & Jackson, 1979) machen solche Veränderungen möglicherweise sichtbar, bevor sie im Wasser selbst z. B. in erhöhten Planktondichten, meßbar werden. Mit der am ZMT entwickelten CaveCam steht das technische Rüstzeug für ein kostengünstiges und schonendes Kryptofauna-Monitoring zur Verfügung.

Danksagung

Die vorgestellten Arbeiten des „Red Sea Program“ und Aqaba Projektes wurden aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (Projekt 03F0151A) gefördert. Ich danke Mark Wunsch für die schönen Unterwasser-Aufnahmen und Prof. Dr. Gotthilf Hempel für seine Anregungen und Verbesserungen.

Literatur:

- Abelson, A., T. Miloh & Y. Loya (1993): Flow patterns induced by substrata and body morphologies of benthic organisms, and their roles in determining availability of food particles. *Limnol. Oceanogr.*, 38: 1116 - 1124.
- Ayukai, T. (1995): Retention of phytoplankton and planktonic microbes on coral reefs within the Great Barrier Reef, Australia. *Coral Reefs*, 14: 141 - 147.
- Buss, L. W. & J. B. C. Jackson (1979): Competitive networks: nontransitive relationships in cryptic coral reef environments. *Am. Nat.*, 113: 223 - 234.
- Coffroth, M. A. (1988): The function and fate of mucous sheets produced by reef coelenterates. *Proceedings 6th International Coral Reef Symposium, Australia*: 15 - 20.
- Crossland, C. J. (1987): In situ release of mucus and DOC-lipid from the corals *Acropora variabilis* and *Stylophora ptilata* in different light regimes. *Coral Reefs*, 6: 35 - 42.
- D'Elia, C. F. (1988): The cycling of essential elements in coral reefs. In: Pomeroy, L. R. und J. J. Alberts (Eds) *Concepts of ecosystem ecology*. Springer, New York: 195 - 230.
- Erez, J., B. Lazar, A. Genin, Z. Dubinsky, D. Lorian, T. Korpel, D. Iluz, A. Lagziel, P. Falkowski & C. Wirick (1993): Plankton is a major source of nutrients in coral reef ecosystems. *Proceedings 7th International Coral Reef Symposium, Guam*, 1: 345.
- Ducklow, H. W. (1990): The biomass, production and fate of bacteria in coral reefs. In: Dubinsky, Z. (Ed.): *Coral Reefs*. Elsevier Science Publishing, New York: 265 - 289.
- Fabricius, K. E., Y. Benayahu & A. Genin (1995): Herbivory in asymbiotic soft corals. *Science*, 268: 90 - 92.
- Fabricius, K. E., Y. Benayahu, G. Yahel & A. Genin (1996): Herbivory in soft corals: correction. *Science*, 273: 293.
- Genin, A., C. Greene, L. Haury, P. Wiebe, G. Gal, S. Kaartvedt, E. Meir, C. Fey & J. Dawson (1994): Zooplankton patch dynamics: Daily gap formation over abrupt topography. *Deep-Sea Res.*, 41: 941 - 951.
- Ginsburg, R. N. (1983): Geological and biological roles of cavities in coral reefs. In: Barnes, D. J. (Ed.): *Perspectives on coral reefs*. Australian Institute of Marine Sciences, Townsville: 148 - 153.
- Glynn, P. W. (1973): Ecology of a Caribbean coral reef, the *Porites* reef flat biotope. Part II. Plankton community with evidence for depletion. *Mar. Biol.*, 22: 1 - 22.
- Hamner, W. M., M. S. Jones, J. H. Carleton, I. R. Hauri & D. M. Williams (1988): Zooplankton, zooplanktivorous fish, and water currents on a windward reef face: Great Barrier Reef, Australia. *Bull. Mar. Sci.*, 42: 459 - 479.
- Johannes, R. E. & R. Gerber (1974): Import and export of net plankton by an Eniwetok coral reef community. *Proceedings of the 2nd International Coral Reef Symposium. The Great Barrier Reef Committee, Brisbane*: 97 - 104.
- Kinsey, D. W. (1983): Standards of performance in coral reef primary production and carbon turnover. In: Barnes, D. J. (Ed.): *Perspectives on coral reefs*. Australian Institute of Marine Sciences, Townsville: 209 - 218.
- Kinsey, D. W. (1985): Metabolism, calcification and carbon production I. System level studies. *Proceedings of the 5th International Coral Reef Symposium, Tahiti*: 505 - 526.
- Lewis, J. B. (1977): Processes of organic production on coral reefs. *Biological Reviews*, 52: 305 - 347.
- Odum, E. P. (1971): *Fundamentals of ecology*. W. B. Saunders, London, 574 S.
- Odum, H. T. & E. P. Odum (1955): Trophic structure and productivity of a windward coral reef community on Eniwetok Atoll. *Ecol. Monogr.*, 25: 291 - 320.
- Sargent, M. C. & T. S. Austin (1949): Organic productivity of an atoll. *Trans. Am. Geophys. Union*, 30: 245 - 249.
- Smith, S. V. (1984): Phosphorous versus nitrogen limitation in the marine environment. *Limnol. Oceanogr.*, 29: 1149 - 1160.
- Webb, K. L., W. D. DuPaul, W. Wiebe, W. Scottle & R. E. Johannes (1975): Enewetak (Eniwetok) Atoll: Aspects of the nitrogen cycle on a coral reef. *Limnol. Oceanogr.*, 20: 198 - 210.
- Wiebe, W. J., R. E. Johannes & K. L. Webb (1975): Nitrogen fixation in a coral reef community. *Science*, 188: 257 - 259.
- Wolanski, E. (1994): *Physical oceanographic processes of the Great Barrier Reef*. CRC Press, Boca Raton, 194 S.
- Wunsch, M. & C. Richter (1998): The CaveCam - an underwater endoscopic videosystem for the exploration of cryptic habitats. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 169: 277 - 282.
- Yahel, G., A. F. Post, K. E. Fabricius, D. Marie, D. Vaultot & A. Genin (im Druck): Phytoplankton distribution and grazing near coral reefs. *Limnol. Oceanogr.*

Die Weichkorallen im Riff

G. B. Reinicke

Einführung

Tropische Korallenriffe, aufgebaut von ungezählten Generationen von Steinkorallen, bilden den Lebensraum der artenreichsten Organismengemeinschaften der Meere unseres Planeten. Als dünne „lebende Rinde“ überziehen die „Blumentiere“ (Anthozoa) zusammen mit anderen festsitzenden Besiedlern (z. B. Algen, Schwämme, Synascidien, Moostierchen) die Jahrtausende alten Kalkbänke aus den abgestorbenen Skeletten der „Baumeister am Meeresgrund“. Im Laufe der Evolution dieser Lebensgemeinschaften seit dem Tertiär hat eine unübersehbare Vielfalt sekundärer Besiedler die entstandenen Habitate erobert. Ihre Wechselbeziehungen und funktionalen Zusammenhänge kennzeichnen heute die komplexesten Ökosysteme unserer Meere.

Tabelle: Systematik der Unterklasse Octocorallia (Coelenterata: Anthozoa; verändert nach Bayer, 1981).

Unterklasse:	Octocorallia
Ordnung:	Pennatulacea
Ordnung:	Coenothecalia
Familie:	Helioporidae
Ordnung:	Alcyonacea
U.-Ordnung:	Stolonifera
Familie:	Cornulariidae
Familie:	Clavulariidae
Familie:	Tubiporidae
Familie:	Coelogorgiidae u. a.
U.-Ordnung:	Alcyoniina
Familie:	Alcyoniidae
Familie:	Nephtheidae
Familie:	Nidaliidae
Familie:	Xeniidae u. a.
U.-Ordnung:	Gorgoniina
(Scleraxonia)	
Familie:	Briareidae
Familie:	Anthothelidae
Familie:	Corallidae u. a.
(Holaxonia)	
Familie:	Plexauridae
Familie:	Gorgoniidae
Familie:	Ellisellidae u. a.

Zusammen mit den Steinkorallen (Hexacorallia, Scleractinia) stellen die achtstrahligen Korallen (Octocorallia) die auffälligsten und häufigsten Mitglieder der festsitzenden benthischen Riffgemeinschaften dar. Ihre Kolonien bestehen z. T. aus Tausenden von Einzeltieren (Polypen), die aus einem gemeinsamen Körper durch partielle Teilung hervorgegangen und gewachsen sind. Gemeinsames Merkmal aller Oktokorallen sind Polypen, die immer mit acht gefiederten Tentakeln ausgestattet sind. Die sehr heterogene Gruppe (vgl. Tabelle, nach Bayer, 1981) umfaßt dabei so unterschiedliche Organismen wie die Seefedern (Pennatulacea, Abb. 1), die Blaue Koralle *Heliopora caerulea* (Coenothecalia, Abb. 2) und die rote Orgelkoralle *Tubipora musica* (Abb. 3). Während jedoch die Seefedern mit etwa 220 Arten ausschließlich lockere Sedimentböden von der flachen tropischen Küstenlagune bis in die arktische und antarktische Tiefsee besiedeln (Williams, 1995), gehören *Heliopora* und *Tubipora*, sowie die unübersehbare Vielfalt der „Leder- und Hornkorallen“ (Alcyonacea) zu den regelmäßigen Bewohnern der Korallenriffe im Indo-Pazifik.

Die Alcyonacea sind die weitaus artenreichste Gruppe der Oktokorallen, und wurden in den klassischen Darstellungen, z. B. von W. Kükenthal, in die Alcyonaria (Lederkorallen) und die Gorgonaria (Hornkorallen) unterschieden. Die systematische Klassifikation richtete sich dabei nach den Kolonieförmigkeiten und der Ausstattung mit kleinen, kalkigen Skelettelementen (Skleriten), deren reiche Formenvielfalt die wichtigsten Kriterien für die Unterscheidung der Arten liefert. Die heute bekannten Vertreter der Gruppen zeigen jedoch so kontinuierliche Abwandlungen und Übergänge in der Merkmalsausprägung, daß eine systematische Trennung der beiden Taxa, wie auch der Stolonifera, nicht mehr begründet werden kann. Die Gruppenbezeichnungen innerhalb der Alcyonacea (Stolonifera, Alcyoniina und Gorgoniina, sowie Scleraxonia, Holaxonia) werden im folgenden Text zur besseren Übersicht verwendet, ihnen kommt jedoch keine phylogenetisch-systematische Bedeutung zu. Der Begriff „Weichkorallen“ entspricht der früheren Gruppe Alcyonaria (s. o.) und faßt die Stolonifera und Alcyoniina zusammen.

In der Grundkonstruktion bestehen Weichkorallenkolonien aus einer Vielzahl von Polypen, deren vereinigte Magenräume in einer unterschiedlich mächtig ausgebildeten Gewebemasse, dem Coenenchym eingebettet sind. Der wassergefüllte Hohlraum wird durch Muskelfasern in Form gespannt gehalten. Die im Gewebe eingelagerten Sklerite (z. B. Plättchen, Nadeln, Stäbchen, Spindeln, Keulen) verfestigen die Form, versteifen mechanisch beanspruchte Bereiche und stabilisieren die Aufrichtung der Kolonien. Das Spektrum morphologisch konstruktiver Anordnungen reicht von wenigen, locker im Gewebe verteilten Einzelkleriten über funktional differenzierte und z. T. komplex angeordnete Skleritarmaturen bei den Weichkorallen



Abb. 1: Seefeder (*Virgularia* sp.) im grobsandigen Sedimentboden eines Vorriffhanges auf Mindoro, Philippinen.



Abb. 2: Das Skelett der Blauen Koralle (*Heliopora caerulea*) hat innen eine tiefblaue Färbung. Wie bei den meisten Steinkorallen besteht es aus Aragonit, im Gegensatz zu den calcitischen Skelettelementen der anderen Oktokorallen (ohne Pennatulacea). Die Blaue Koralle bildet z. T. über mehrere m² ausgedehnte Bestände in oberen Riffhangbereichen im Indischen Ozean, aber auch größere Fleckenriffe in Rückriff-Lagunen.

Abb. 3: Die durch horizontale Querböden verbundenen Kalkröhren der Orgelkoralle (*Tubipora musica*) sind durch eingelagerte organische Farbstoffe purpurrot gefärbt. Die 8-strahligen Polypen können bei Störungen vollständig in die Röhren zurückgezogen werden.



bis hin zu unterschiedlich kompakten, z. T. hornigen oder sekundär verkalkten Skelettachsen. Die Form des inneren Achsenskelettes zur Stabilisierung ist bei den Gorgoniina (Scleraxonia und Holaxonia) verstärkt ausgeprägt und zum erfolgreichen Bauprinzip der meisten Arten geworden (ausführliche Übersicht z. B. in Grasshoff, 1981).

Besonders bei den Weichkorallen hat die variable Kombinationsmöglichkeit hydrostatischer Stabilisierung der Gewebe mit der Ausbildung modularer Skleritanordnungen die Evolution einer großen Vielfalt von Konstruktionsformen hervorgebracht, die aufgrund fehlender oder relativ statischer Skelettkonstruktionen bei anderen Gruppen nicht möglich war (z. B. Actiniaria, Scleractinia). Diese konstruktive Plastizität ermöglichte eine ökologische Diversifizierung im Hinblick auch auf die Lebensstrategien, die die Weichkorallen zu erfolgreichen Konkurrenten in den benthischen Siedlergemeinschaften der Korallenriffe werden ließ. In Riffen des tropischen Indopazifiks stellen sie mit wenigstens 1.000 beschriebenen Arten regelmäßig Anteile von 5 - 30 % (z. T. > 50 %) der Gemeinschaften in der „lebenden Rinde“ (Abb. 4). Sie fehlen jedoch weitgehend in den Riffgebieten des tropischen Atlantiks (Karibik), wo Arten der Gorgoniidae, Plexauridae, Ellisellidae (Holaxonia) sowie der Anthothelidae und Briareidae (Scleraxonia) z. T. beachtliche Anteile an den Riffgemeinschaften erreichen (Abb. 5). Aufgrund des relativ jungen erdgeschichtlichen Alters hat sich in der atlantischen Riffregion nur ein kleines Artenspektrum von etwa 100 Arten der Alcyonacea entwickelt, von denen sieben der Gattung *Telestoa* (Stolonifera) und nur drei den Alcyoniina zugeordnet werden (Bayer, 1961).

Aufrechtstehen ohne massives Skelett

Weichkorallen (Stolonifera und Alcyoniina) scheiden keine massiven Hartskelette ab. Viele Arten wachsen daher niedrig, als membran- oder krustenartiger Überzug auf dem Substrat (Abb. 6). Ausgehend von dieser urtümlichen Organisationsstufe, haben sich Teile der Kolonien mit zunehmender Größe und vermutlich im Zusammenhang mit den Funktionen des Nahrungserwerbs aufgerichtet (Entstehung der Zooxanthellen-Symbiose bzw. Filterfänger). Die erforderliche Stabilisierung der teilweise großen Kolonien erfolgte primär durch den hydrostatischen Innendruck der gemeinsamen wassergefüllten Kanalsysteme der Kolonien. Durch den Wimpernschlag der Flimmerrinne (Siphonoglyphe) im Mundkanal der Polypen werden die Kanalsysteme der Kolonien aktiv mit Wasser gefüllt. Die vollständige Kontraktion der Kolonien mit Hilfe von Längsmuskulatur im Bereich der Mesenterien führt zu einer Reduktion um 60 - 90 % des Volumens der expandierten Kolonien. Der Antagonismus des hydrostatischen Druckes und der Muskulatur hält die weitgehend hohlen Koloniekörper aufgespannt.

Die zusätzliche Ausbildung von spezialisierten Stützelementen (Skleriten) zeigt sehr vielfältige Differenzierungen, deren ausführliche Darstellung den Rahmen dieses Beitrages bei weitem sprengen würde. Die im



Abb. 4: Ausschnitt einer Riffgemeinschaft in 8 - 10 m Tiefe in der Bucht des Riff-Schutzgebietes auf Apo-Insel vor der Küste von Negros Oriental (Philippinen). Weichkorallen der Gattungen *Sarcophyton*, *Lobophytum*, *Sinularia*, *Nephthea*, *Cespitularia* bedecken den größten Teil des Riffareals. Nur wenige Steinkorallen behaupten hier ihren Platz (massiv rund: *Galaxea fascicularis*, links und Mitte rechts; kräftig, verzweigt: *Acropora cf. palifera*, links und Mitte; Weite des Bildausschnittes: 3 - 4 m, August 1996).

Abb. 5 (unten links): Ausschnitt einer Riffgemeinschaft in 8 - 10 m Tiefe in den karibischen Riffen um San Blas (Panama, Juli 1996).

Abb. 6 (unten rechts): Verschiedene Weichkorallen unterschiedlicher Kolonieform: Membranös (oben und Mitte links, indet.), aufrecht buschig (rechts, *Xenia*, spec. nov.), aufrecht verzweigt (*Stereonephthea unicolor*, unten). Chagos Archipel (Indischer Ozean, März 1996).



Gewebe gebildeten Sklerite organisieren und stabilisieren die Aufrichtung der Kolonien, vergleichbar etwa einem wassergefüllten Gummihandschuh, dessen Form durch „Korsettstäbchen“ gestützt wird (Abb. 7). Diese funktionale Einbindung der Sklerite hat bei vielen Formen zur Ausbildung von komplexen Anordnungen geführt, die die Expansion und Retraktion von Polypen mechanisch organisieren und damit energetisch unterstützen. In der Schnittdarstellung eines Polypen (Abb. 8) ist die Verlagerung der Skleritanordnung beim Entfalten eines Polypen von *Paracis caecilia* (Holaxonia: Plexauridae) zu erkennen.

Die Evolution der Skleritausstattungen verschiedener Teilgruppen der Weich- und Hornkorallen hat, obwohl ihnen oft ähnliche funktionale Anforderungen zugrunde liegen, sehr unterschiedliche Skleritstrukturen und Anordnungen hervorgebracht. Die Arten der Xenidae verfügen dabei über kleine, meist gleichförmige Plätt-



chen oder Stäbchen unterschiedlicher Mikrostrukturen (Abb. 9), die in Bereichen stärkerer mechanischer Beanspruchung gehäuft auftreten (z. B. Polypenbasis, Außenseiten der Tentakel, Verzweigungsbereiche; Reinicke, 1997). Demgegenüber bilden z. B. die Arten von *Dendronephthya* unterschiedlich komplexe Anordnungen von Stützarmaturen aus, um die einzelnen Polypenkelche zu tragen und zu stabilisieren (Abb. 11). Abbildung 10 zeigt als Stereofotografie die komplexe Skleritarmatur eines Polypen von *Astromuricea polyclados* (Holaxonia, Plexauridae).

Der Kampf um Platz im Licht

Die Mehrzahl der Weichkorallenarten in den Riffen des Indopazifiks lebt, wie die meisten Steinkorallen, in Symbiose mit einzelligen Algen, den sog. „Zooxanthellen“ (*Symbiodinium* sp., Dinophyceae). Diese tragen mit ihren Photosyntheseprodukten zur Ernährung der Kolonien bei, in vielen Fällen stellen sie anscheinend die entscheidende Nahrungsquelle der Korallen dar. Der Lichtbedarf dieser „Pflanzen“ führt dazu, daß Weichkorallen besonders auf Korallenfelsflächen im gut durchlichteten flachen Wasser und im oberen Bereich der Riffhänge anzutreffen sind. Um die verfügbaren Flächen müssen sie jedoch mit anderen lichtbedürftigen Siedlern wie Algen und Steinkorallen konkurrieren. Weiterhin bedrohen Fraßfeinde wie Fische,



Abb. 7: Ausschnitt einer Kolonie *Dendronephthya* sp. mit Skelettnadeln im Koloniegewebe (Aqaba, Rotes Meer, Dezember 1989).

Schnecken oder Seesterne die weichgewebigen Tiere. Ohne die Bewaffnung mit wirksamen Nesselzellen und ohne den Schutz eines harten Skelettes müssen sich Weichkorallen durch andere Spezialisierungen behaupten. Der begrenzte Aufwand für die Skelettbildung stellt dabei möglicherweise Stoffwechsel-Ressourcen für schnelleres somatisches Wachstum bereit (Fabricius et al., 1995).

Eine Reihe von interaktiven Mechanismen zwischen Korallen wie auch andere biologische und physikalische Faktoren sind verantwortlich für die kontinuierliche Verfügbarkeit besiedelbarer freier Areale auf Riffhängen (s. u.). Der Widerspruch intensivster Konkur-

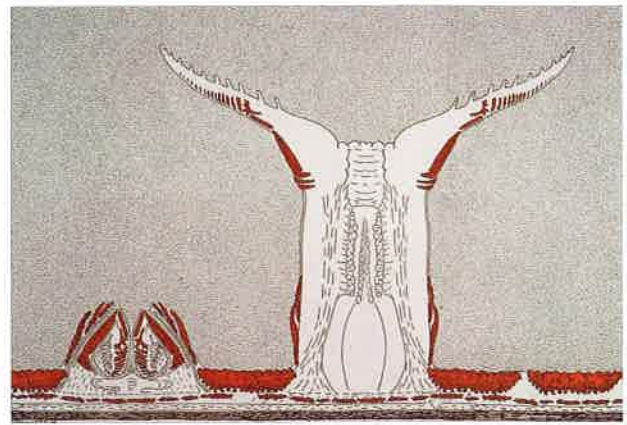


Abb. 8: Grafische Darstellung der funktionalen Organisation der Sklerite (orange) beim Entfalten der Polypen von *Paracis caecilia* (Grafik mit freundlicher Genehmigung von M. Grasshoff, Senckenbergmuseum Frankfurt/M.).

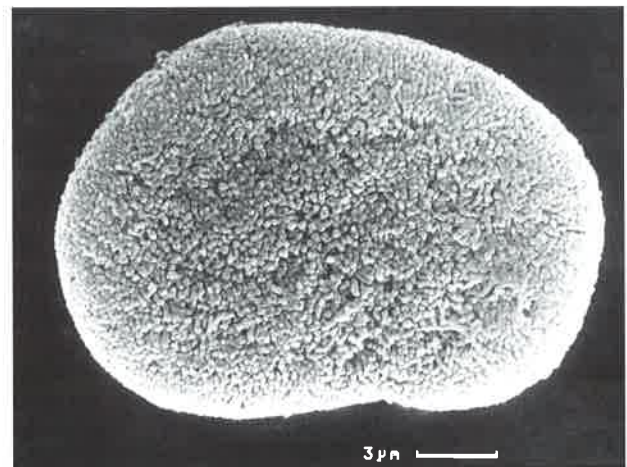
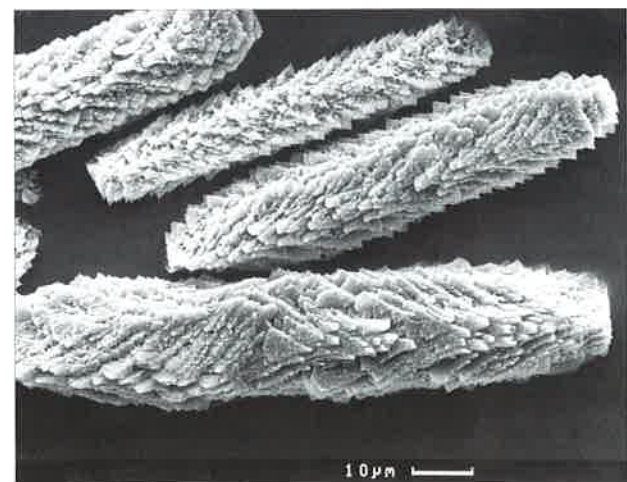


Abb. 9 (oben und unten): Sklerite der Xeniiidae: *Xenia umbellata* (oben) und *Anthelia glauca* (unten). Die Sklerite der von Lamarck (1871) beschriebenen Gattungen zeigen auffällige Unterschiede in der Mikrostruktur. Die „Mikro-Ästchen“ (micro branchlets) der Sklerite bilden sich nach Kawaguti (1969) anscheinend durch Kalkablagerungen im endoplasmatischen Retikulum der Skleroblasten-Zellen, die im Ektoderm der Polypenwand entstehen. Der Bildungsmodus der *Anthelia*-Sklerite ist noch nicht bekannt.



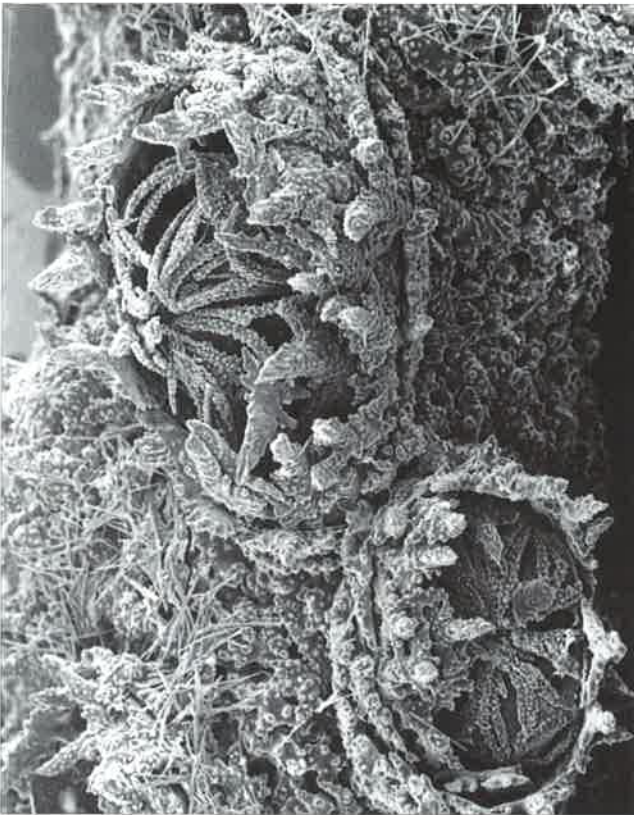


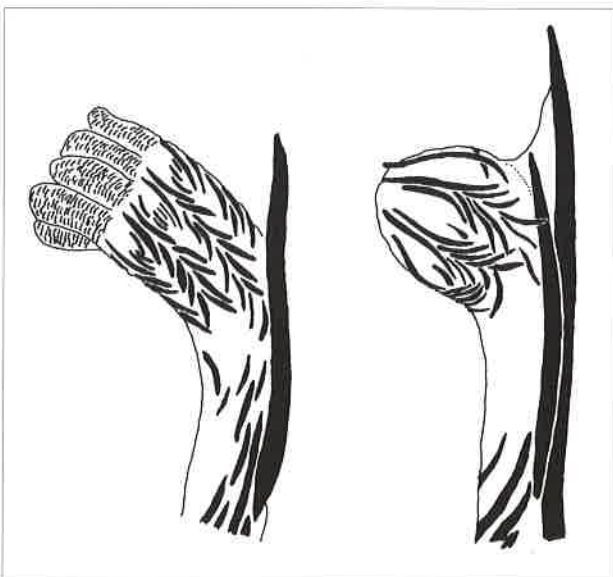
Abb. 10: Stereoscanfotos (M. Grasshoff) der Skleritarmaturen in Polypen von *Astromuricea polyclados*. Stereoeffekt durch „Fernblick“: Parallelstellung der Blickachsen beider Augen - Übungssache ! (Vergrößerung etwa 53 x)

den (Sheppard, 1985). Zudem werden diese Bereiche durch weidende Seeigel und Fische kontrolliert (vgl. nachfolgenden Beitrag: Bioerosion), und umgelagerte Lockersedimente eröffnen immer wieder geeignete Substratareale zur Besiedlung.

renz um gut beleuchteten Siedlungsplatz bei gleichzeitig erheblichen Anteilen freier Areale resultiert aus den gegenseitigen Wechselwirkungen benachbarter Kolonien, die eine sogenannte „Aura“ der Korallen bil-

Viele Weichkorallen scheinen lokal vergleichsweise schnelle Besiedler neuer Freiräume im dynamischen Mosaik der lebenden Korallenbedeckung zu sein. Die sexuelle Fortpflanzung und Planula-Larven ermöglichen die Verbreitung über größere Distanzen. Hohe Raten vegetativer Fortpflanzung machen viele Arten zu erfolgreichen Erstbesiedlern, wenn einmal Gründungskolonien einen Standort erreicht haben (z. B. Benayahu & Loya, 1985). Die Abschnürung von embryonalen Ablegern (z. B. bei *Sarcophyton* sp., *Dendronephthya hemprichi*, Dahan & Benayahu, 1997), die Bildung von Ausläufern (*Cespitularia*, *Efflatounaria*, Dinesen, 1985) oder Kolonienteilung mit anschließender Resorption der Verbindung erlauben die schnelle Eroberung von Platz im Licht z. B. bei *Alcyonium* cf. *rudyi* (McFadden, 1991) und Arten von *Xenia* und *Heteroxenia*. Bei den bäumchen-förmigen Kolonien von *Heteroxenia ghardaensis* im Roten Meer ist zu beobachten, daß sich Kolonienstiele oder -äste seitlich dem Substrat anheften. Dabei wird entweder ein neuer Koloniestamm neben der Ausgangskolonie gebildet oder der ehemalige Koloniefuß resorbiert (Reinicke, 1995). Auch Bruchstücke oder durch Brandung abgerissene Koloniefragmente können sich oft dem Substrat wieder anheften und so Tochterkolonien regenerieren (z. B. *Litophyton viridis*, Tursch & Tursch, 1982). Diese vegetativen Ausbreitungsmodi können zu ausgeprägter Monopolisierung durch einzelne oder wenige Arten und lokal zur Ausbildung charakteristischer Weichkorallen-dominiertes Artenassoziationen über

Abb. 11: Beispiele der Skleritarmaturen in Polypen von *Dendronephthya repens* (links) und *D. mutabilis* (rechts), verändert nach Bayer et al., 1983).



hunderte von m² beitragen (z. B. Benayahu & Loya, 1977, Reinicke & van Ofwegen, im Druck). Seitlich-randlicher Zuwachs ist der vorherrschende Ausbreitungsmodus stolonialer und membranöser Kolonien der Arten von *Clavularia*, *Parerythropodium*, *Symphodium*, *Anthelia*, wie auch der krustig wachsenden Formen von *Sinularia*, *Lobophyton* und *Capnella*.

Im Laufe ihrer Evolution haben Weichkorallen ein weites Spektrum sekundärer Stoffwechselprodukte mit vielfältigen allelopathischen, antibiotischen oder fraßgiftigen Wirkungen entwickelt (ausführliche Übersichten in Sammarco & Coll, 1988, 1992). Nach erfolgreicher Ansiedlung behaupten sie ihren Platz gegen aggressive Konkurrenten, können andere Opportunisten in ihrer direkten Nachbarschaft verdrängen und die Ansiedlung von weiteren Larven unterbinden. Durch die Freisetzung kleiner Mengen allelopathischer Wirkstoffe entsteht ein chemisches Mikromilieu in der direkten Nachbarschaft der Kolonien. Dieses erstreckt sich z. B. im Bereich ausgedehnter Kolonienrasen von *Xenia puertogalerae* (Atrigenio & Alino, 1996) oder in Richtung der Wasserströmung über die Kolonien hinaus und hemmt z. B. die Embryonalentwicklung und Ansiedlung von Steinkorallenlarven (z. B. bei *Sinularia flexibilis*, Aceret et al., 1995). Allelopathische Wechselwirkungen mit Steinkorallen können Gewebenekrosen (meist bei den Weichkorallen), aber auch Beeinträchtigungen des Stoffwechsels der Steinkorallen verursachen. Experimentelle Beobachtungen zeigten lokales Absterben von Steinkorallen durch nahe stehende Kolonien von *Xenia viridis*, *Lobophyton pauciflorum*, *Sinularia* sp., *Sarcophyton ehrenbergi* und *Capnella* sp. (Maida et al., 1995, Sammarco et al., 1983). Stresseffekte wie gesteigerte Respirationsraten und Reduktion der symbiontischen Photosyntheseraten, möglicherweise durch die Entkopplung der oxidativen Phosphorylierung, wurden bei *Acropora formosa* und *Porites andrewsi* nachgewiesen (Webb & Coll, 1983). Weiterhin wurde die aktive Erhaltung von

Abb 12: Ausschnitt einer Korallengemeinschaft am SW-Riffhang des Sanganeb-Atolls (Rotes Meer). Die leewärtige Riffterrasse in ca. 15 - 20 m Tiefe ist durch regelmäßige Sedimenteinträge gekennzeichnet, die über das Riff transportiert werden. Arten der Xenidiidae (*Anthelia glauca*, *Xenia obscuronata*, *X. macrospiculata*, aber auch *Sinularia* sp.) besetzen diesen Bereich (April 1991).



Zwischenräumen zu aggressiven Nachbarn durch seitliches Beugen, sogar langsame Wanderung durch Verlagerung der Anheftungsfläche von *Nephthea brassica*-Kolonien beobachtet (LaBarre & Coll 1983). In einem Freilandexperiment im Roten Meer behaupteten sich Steinkorallen der Arten *Acropora variabilis*, *Pocillopora damicornis*, *Stylophora pistillata* und *Galaxea fascicularis* über wenigstens vier Jahre im Bereich eines Kolonierasens von *Xenia macrospiculata* (Xenidiidae). Die Steinkorallen wurden bis an den Bereich ihrer ausgestreckten, mit Nesselzellen bewehrten Tentakel eingeschlossen, wurden aber nicht erkennbar beeinträchtigt oder beschädigt (Reinicke, 1995).

Allgemein hängt das Ergebnis konkurrierender Interaktionen vor allem von den jeweils beteiligten Partnern ab. In einer Untersuchung über 100 Arten konnte Dai (1990) eine Konkurrenzhierarchie zusammenstellen, in der Weichkorallen im mittleren bis unteren Bereich einer fünfstufigen Aggressivitätsskala rangierten. Die häufigsten Arten erlitten schwere Gewebenekrosen bei Kontakt mit Steinkorallen, aber Überwachsen, Einhaltung eines Abstands, langsame Wanderung und Verbreitung durch Ausläufer oder Fragmentierung erwiesen sich als langfristig erfolgreiche Strategien (Alino et al., 1992).

Verteilung von Weichkorallen im Riff

Die Korallenriffe des Indo-Pazifiks sind - im Gegensatz zu den karibischen Riffen - durch einen hohen Anteil von Weichkorallen in den Gemeinschaften der Riffsiedler charakterisiert. In bestimmten Habitaten stellen sie lokal über die Hälfte der lebenden Bodenbedeckung. Dennoch, vor allem aufgrund der taxonomischen Schwierigkeiten, liegt heute erst eine geringe Anzahl von Arbeiten vor, die die Verteilung von Weichkorallengemeinschaften untersucht (z. B. Dinesen, 1983, Fabricius, 1995, Reinicke & Schuhmacher,

Abb. 13: Ausschnitt einer Weichkorallen-dominierten Gemeinschaft am Westhang des Salomons-Atolls (ca. 12 bis 15 m, Chagos-Archipel, Indischer Ozean). Der obere Riffhang wird neben Steinkorallen (*Porites*, *Pocillopora*, *Acropora*) von ausgedehnten Kolonien von *Sinularia* sp., und *Lobophyton* sp. besiedelt; im Vordergrund stehen vereinzelte Kolonien von *Xenia* sp. und *Nephthea* sp.





Abb. 14: Ausschnitt einer Korallengemeinschaft am tiefen Osthang des Sanganeb-Atolls im Roten Meer (Sudan). Bei nur noch geringen Lichtintensitäten dominieren hier Plankton filternde Arten wie die Schleierbäumchen (*Dendronephthya* sp., April 1991).



Abb. 15: Riffbauende Weichkorallen. Die Art *Sinularia leptocladus* (Alcyoniidae) baut im Roten Meer dauerhafte Riffstrukturen auf. Durch Zementierung der Sklerite in der Koloniebasis bildet sich ein Sockel, auf dem der lebende Teil der Kolonie nach oben wächst. Am Übergang des lebenden Gewebes zu dem massiven Skelett sind die einzelnen Sklerite der äußeren Gewebeschichten zu erkennen.

1996) und nur wenige dieser Studien arbeiten auf dem Artniveau, z. B. Tursch & Tursch (1982) aus Papua New Guinea, Dai (1991) aus Taiwan und Reinicke (1995) aus dem Roten Meer. Eine kleine Zahl von Untersuchungen zur Verteilung von Gorgoniina-Gemeinschaften liegt ebenfalls vor, z. B. von Goh & Chou (1994) aus Singapur, und von Muzik (1982) und Lasker & Coffroth (1983) aus der Karibik (Belize), wo Arten der Gorgoniina auch in flachen Bereichen der oberen Riffhänge hohe Anteile an der benthischen Besiedlung erreichen (Abb. 5).

Eine Analyse der Verteilung von Weichkorallen im zentralen Großen Barriere Riff (Australien) wurde kürzlich von Fabricius (1997) vorgelegt. Ihre Studie umfaßt neben Aspekten der physikalischen Umweltbedingungen die Verfügbarkeit freier Substratflächen vor dem Hintergrund von Ausbrüchen des Dornenkronen-See-stars (*Acanthaster planci*) in den 70er und 80er Jahren. Die Untersuchung belegt die Abhängigkeit der Weichkorallen-Verteilung (mit ca. 5 % Bedeckung auf geeigneten Substratarealen) von vorherrschenden physikalischen Bedingungen, besonders Wellenexposition und Lichtintensität. Darüber hinaus zeigte sich, daß unterschiedliche ökologische Anforderungen eine größere Bedeutung für die spezifische Verteilung haben als durch Konkurrenz bedingte Beeinträchtigungen. Unterschiede zwischen *Acanthaster*-beeinflussten und -nicht beeinflussten Riffen zeigten sich nicht, im Gegensatz zu signifikanten Unterschieden in der Bedeckung mit Makroalgen. Eine Zunahme von Weichkorallen nach katastrophalen oder episodischen Verlusten der Steinkorallen wurde nicht festgestellt.

In Riffen des Roten Meeres kommt es demgegenüber in bestimmten Habitaten zu lokal hohen Anteilen von Weichkorallen in den benthischen Gemeinschaften - besonders von Arten der Xenidiidae, die ausgedehnte Kolonierasen bilden können. Sie erscheinen häufig als Pionierformen auf Arealen, die regelmäßigen störenden Einflüssen unterliegen (Geröllrinnen, Bereiche der

Sedimentaufwirbelung am Fuß von Riffhängen), und können diese z. T. dauerhaft besetzt halten (e. g. Mergner & Schuhmacher, 1985, vgl. Abb. 12). Dabei kommen ihnen vermutlich hohe Raten der vegetativen Bestandsregeneration zugute.

Einzelne Riffhabitats in den Küstensaumriffen entlang der jordanischen Küste südlich von Aqaba (nördliches Rotes Meer) zeigten Anfang der 90er Jahre Anteile von 20 - 70 (!) % Xenidiidae (*Xenia* sp., *Anthelia glauca*, *Heteroxenia ghardaqensis*) in den benthischen Gemeinschaften, mit einer Zonierung der vorherrschenden Arten über den Tiefenbereich von 5 - 40 m Tiefe. Die Anteile freier Kalkfelsareale und der Weichkorallenbedeckung am Gesamtareal lagen jeweils bei 30 bis 35 %. Die relativen Anteile der Steinkorallen nahmen von 12 - 39 % mit der Tiefe zu. Schwankungen der relativen Anteile der Weichkorallen wurden über zwei Jahre untersucht (1990 - 1992). Im Tiefenbereich von 10 - 30 m erreichten die Schwankungen etwa den vierfachen Wert der Steinkorallenfluktuation und entsprachen umgekehrt den Schwankungen der unbesiedelten Areale (Reinicke 1995). Demnach scheinen die in den untersuchten Habitats vorherrschenden Arten der Xenidiidae in der Lage zu sein, von vorhandenen Beständen ausgehend, relativ schnell freie Areale zu okkupieren, ohne diese allerdings in jedem Fall über längere Zeiträume besetzt zu halten. Demgegenüber zeigten die Gemeinschaften der Steinkorallen geringere Bestandsdynamik. Ihre relative Abundanz in den untersuchten Riffabschnitten zeigte einen deutlichen Anstieg mit zunehmender Tiefe, sowie eine Abnahme der Bestandsschwankungen.

Auch Gattungen der Alcyoniidae (*Sinularia*, *Lobophytum*) erreichen hohe Flächenanteile in Riffhabitats. In flachen (8 - 12 m) luvwärtigen Riffhängen am Salomons Atoll (Chagos Archipel, Indischer Ozean) bedecken sie ausgedehnte Areale, zusammen mit vereinzelt Steinkorallen-Kolonien (Abb. 13). Mit zunehmender Tiefe nimmt die Häufigkeit lichtbedürftiger Ar-

ten ab. Wir finden im tieferen Riffhang (ab 25 - 30 m) Artengemeinschaften, die auf dem Substrat membranartig ausgebreitete Kolonien bilden (Schwachlichtanpassung) oder als aufrechte, fächerförmige Kolonieförmungen auf die Filtration von Nahrungspartikeln aus der Wasserströmung spezialisiert sind. So besiedeln auch die farbenprächtigen zooxanthellenfreien „Schleierbäumchen“ (Arten von *Dendronephthya*, *Scleronephthya*) Schattenstandorte und tiefere Riffbereiche (Abb. 14).

„Riffbremser“ und „Riffbauer“

Zum Aufbau der Korallenriffbänke tragen Weichkorallen wenig bei. Nach dem Absterben der Kolonien werden die Sklerite frei, verfüllen Hohlräume im Riffgerüst oder werden als Sediment von der Strömung in tiefere Ablagerungsräume transportiert. Zudem werden Ansiedlung und Wachstum hermatypischer Steinkorallen im Bereich ausgedehnter Weichkorallenbestände z. T. langfristig verhindert. Insbesondere Arten der Gattungen *Sinularia*, *Lobophytum* und *Cladiella* bilden flache, ausgedehnte Polsterflächen, die wenigstens über Jahrzehnte langsam wachsen (Fabricius 1995). Gleichzeitig wird aber auch der Abbau von Riffsubstanz durch bohrende Organismen unterbunden (Abb. 13). Die Riffentwicklung kommt in den entsprechenden Bereichen zum Stillstand: Es findet weder Riffzuwachs durch Kalkbildung, noch Rifferosion statt. Für die Dynamik von Riffaufbau und -erosion kommt den Weichkorallen, wie auch anderen Siedlern (z. B. Schwämme, Ascidien) somit eine retardierende, Schwankungen ausgleichende Funktion zu.

Eine Ausnahme bilden einige Arten der Gattung *Sinularia*, deren Sklerite an der Koloniebasis sekundär durch Aragonit-Zement zu einer festen Masse von Spikulit „verbacken“ (Abb. 15) und so harte Kalkgerüste bilden (u. a. Cary 1931, Schuhmacher 1997). Diese nach oben strebenden Strukturen tragen zum dreidimensionalen Aufbau des Riffkörpers bei und schaffen Hartsubstratgrundlagen für nachfolgende Siedler. In bestimmten Riffhabitaten im Roten Meer können diese Arten Anteile von 10 - 15 % an der lebenden Bodenbedeckung erreichen (Abb. 16).

Untermieter in Weichkorallen

Weichkorallen schützen sich durch ihre Sklerite (VanAlstyne et al., 1992) und die Bildung von Bitterstoffen gegen Räuberfraß. Durch fortlaufende Abgabe kleiner Mengen allelopathischer Substanzen in der direkten Umgebung der Kolonien vermeiden sie unerwünschten Konkurrenten und Fraßfeinden den Aufenthalt oder Genuß. Die meisten Fischarten meiden diese scheinbar leicht zugängliche Nahrungsquelle, nur eine Handvoll frißt regelmäßig an Weichkorallen (Pomacentridae, Chaetodontidae, Coll et al., 1982, Alino et al., 1988). Einer Reihe von wirbellosen Arten ist es demgegenüber gelungen, sich mit den chemischen Mikromilieus zu arrangieren, ja sogar ihren Schutz zu nutzen und sich so hochspezialisierte Nischen zu erschließen. So werden z. B. die Ober-



16. *Sinularia leptoclados* (Alcyoniidae) bildet z. T. meterhohe Kalkstrukturen, die in abgestorbenen Bereichen neue Besiedlungsunterlagen für andere Riffbewohner liefern.

flächen von *Dendronephthya*-Kolonien von einer eigenen Fauna von Mikroorganismen bewohnt (z. B. Cilienten), die wiederum Nahrung für größere Weidegänger bieten (Abb. 17). Sessile Rippenquallen (Ctenophora) halten häufig ihre beiden langen Tentakel von *Sarcophyton*-Kolonien aus in die langsame Strömung. Kleine Krabben leben im Gewirr der weichen Äste verzweigter *Xenia*-Arten und verstecken sich bei Störungen in Taschen der Kolonieoberflächen, die sie selbst „falten“ und mit den Hinterbeinen festhalten, wie z. B. *Caphyra polita* und *C. laevis* (Decapoda, Portunidae). Auch *Pteragogus cryptus* (Labridae), eine Lippfischart im Roten Meer, scheint den Schutz des chemischen Mikromilieus im Bereich von *Xenia*-Kolonien zu nutzen, um sich vor Räubern zu verstecken und ernährt sich vermutlich auch von der oberflächlichen Mikrofauna.

Nicht immer wirkt dieser Schutz ohne Einschränkung. Die parasitische Nacktschnecke *Phyllodesmium hyalinum* (Nudibranchia, Aeolidiacea) lebt auf Kolonien von *Heteroxenia fuscescens* (Xeniidae). Die Tiere stecken mit ihrem Körper in anscheinend selbst gefressenen Höhlungen im Capitulum der Kolonien und sind nur

Abb. 17: Schlangenseesterne (Ophiuroidea) auf *Dendronephthya* sp.





Abb. 18: Parasitische Nacktschnecken (*Phyllodesmium hyalinum*) auf *Heteroxenia fuscescens*, eine häufig anzutreffende Gemeinschaft im Roten Meer.

dem geübten Auge anhand ihrer Rückenanhänge zwischen den Polypententakeln der Koralle erkennbar (Abb. 18). Das massenhafte Auftreten eines Borstenwurms (*Syllis onkylochaeta*, Polychaeta) wurde in einem Riff-Aquarium zeitweilig zu einer ernststen Bedrohung der im Becken gehaltenen *Xenia*-Arten. Auch *Acanthaster planci* vermag Xeniid-Kolonien zu fresen (Aquarienbeobachtung).

Weichkorallen, die in großer Formenvielfalt die verschiedenen Habitate in Korallenriffen besiedeln, bieten demnach ihrerseits eine Lebensgrundlage für eine Reihe hoch spezialisierter Sekundärbesiedler, die für ihre Existenz die Weichkorallen nutzen oder sogar auf sie angewiesen sind.

Ausblick

Weichkorallen sind mit z. T. artenreicher Fauna in fast allen benthischen marinen Hartbodengemeinschaften vertreten. Die morphologische Plastizität der Koloniekonstruktionen ermöglicht dabei eine ökologische Vielfalt, die sich in der Verbreitung einer artenreichen Fauna von tropischen Flachwassergebieten bis in arktische und antarktische Tiefseegebiete widerspiegelt. Nach Merkmalen der Lebensstrategien (Morphologie und Wachstum, Fortpflanzung und Verbreitung,

Ernährung, Konkurrenzverhalten, Lebensdauer) lassen sich dabei unterschiedliche Formtypen unterscheiden, die funktional unterschiedlichen ökologischen Bedingungen der besiedelten Habitate entsprechen. Folgende Typen sind zu unterscheiden (nach Reinicke & Schuhmacher 1996):

I. Dynamische Opportunisten, die durch die Bildung von Ausläufern (runner), schnelle vegetative Ausbreitung, häufig klonale Populationsstrukturen und relativ geringes Alter gekennzeichnet sind. Vorkommen oft in monospezifischen Clustern, keine deutlich aggressive Konkurrenz (z. B. *Xenia* sp., *Heteroxenia ghardsensis*, *Cespitularia* sp., *Lemnalia* sp., *Nephtea* sp.);

II. Membranöse „Kriecher“: Langsame Ausbreitung niedriger, membranöser und stolonialer Kolonienformen von mittlerer bis längerer Lebensdauer, Konkurrenz als allelopathisch induzierte Distanz-Reaktion (z. B. *Clavularia* sp., *Cornularia* sp., *Parerythropodium* sp., *Symphodium* sp., *Anthelia* sp., *Briareum* sp.);

III. Langlebige Bodendecker: Langsam wachsende, polsterförmige Kolonien ausgedehnter horizontaler Flächenbedeckung, Konkurrenz als allelopathisch induzierte Distanz-Reaktion (viele *Sinularia*-Arten, *Lobophytum* sp., *Cladiella* sp.);

IV. K-Strategen: Relativ langsam wachsende, kleine bis große, aufgerichtet stehende, langlebige Einzelkolonien, die keine ausgedehnten Flächen besetzen, jedoch z. T. durch vegetative Knospung in monospezifischen Clustern anzutreffen sind, Konkurrenz v.a. als allelopathisch induzierte Distanz-Reaktion (z. B. *Alcyonium* sp., *Sinularia flexibilis*, *Sarcophyton* sp., *Heteroxenia fuscescens*);

V. Aufrecht buschige Formen: verzweigte oder fächerförmige Kolonien, ausgeprägtes Wachstum in die dritte Raumdimension:

- primär zooxanthellate, lichtabhängige Formen (z. B. *Litophyton* sp., *Nephtea* sp.);
- primär filtrierende, prinzipiell lichtunabhängige Formen (z. B. *Dendronephthya* sp., *Stereonephthya* sp., *Siphonogorgia* sp., sowie die meisten Gorgoniina);

VI. Hermatypische Weichkorallen: Riffgerüst bauende, sehr langlebige Formen, aufrechte Kolonien auf selbstgebildeter Basis (z. B. *Sinularia leptoclados* und *S. minima*).

In vielen Fällen lassen sich Arten nicht eindeutig einem Formtyp zuordnen. Die angegebenen Strategien stellen vielmehr das Spektrum der möglichen Entwicklungstendenzen dar, die in unterschiedlichen Kombinationen bei den verschiedenen Gruppen der Weichkorallen beobachtbar sind. Die systematische Analyse der Strategien bietet vielversprechende Möglichkeiten, Hinweise zum Verständnis von Evolutionsmechanismen, von Adaptation und Speziation bei Weichkorallen zu erarbeiten. Sie ermöglichen ein detaillierteres Verständnis der funktionalen Einbindung von Weichkorallen in die dynamischen Strukturen von Hartbodengemeinschaften, nicht nur in Korallenriffen.

Literatur:

- Aceret, T. L., P.W. Sammarco & J. C. Coll (1995): Effects of diterpenes derived from the soft coral *Sinularia flexibilis* on the eggs, sperm and embryos of the scleractinian corals *Montipora digitata* and *Acropora tenuis*. Mar. Biol., 122: 317 - 323.
- Alino, P. M., P. W. Sammarco & J. C. Coll (1988): Studies of the feeding preferences of *Chaetodon melanotus* (Pisces) for soft corals (Coelenterata, Octocorallia). Proc. 6th Int. Coral Reef Symp., Townville (Australia), 3: 31 - 35.
- Alino, P. M., P. W. Sammarco & J. C. Coll (1992): Competitive strategies in soft corals (Coelenterata, Octocorallia). IV. Environmentally induced reversals in competitive superiority. Mar. Ecol. Progr. Ser., 81: 129 - 145.
- Atrigeno, M. P. & P. M. Alino (1996): Effects of the soft coral *Xenia puertogalerae* on the recruitment of scleractinian corals. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 203: 179 - 189.
- Bayer, F. M. (1961): The shallow-water Octocorallia of the West-Indian region. Studies on the Fauna of Curacao and other Caribbean Islands, 22: 1 - 373.
- Bayer, F. M. (1981): Key to the genera of Octocorallia exclusive of Pennatulacea (Coelenterata: Anthozoa) with diagnosis of new taxa. Proc. of the Biol. Soc. Wash., 94, 3: 902 - 947.
- Bayer, F. M., M. Grasshoff & J. Verseveldt (1983): Illustrated trilingual glossary of the morphological and anatomical terms applied in Octocorallia. E. J. Brill & Dr. W. Backhuys, Leiden: 75 S.
- Benayahu, Y. & Y. Loya (1977): Space partitioning by stony corals, soft corals and benthic algae on the coral reefs of the northern Gulf of Eilat (Red Sea). Helgol. wiss. Meeresunters., 30: 362 - 382.
- Benayahu, Y. & Y. Loya (1985): Settlement and recruitment of a soft coral: Why is *Xenia macrospiculata* a successful colonizer? Bull. Mar. Sci., 36, 1: 177 - 188.
- Cary, L. R. (1931): Studies on the coral reefs of Tutuila, American Samoa with special reference to the Alcyonaria. - Papers from Tortugas Laboratory of Carnegie Institution of Washington, XXVII: 55 - 98, pls. 1 - 7.
- Coll, J. C., S. La Barre, P. W. Sammarco, W.T. Williams & G. J. Bakus (1982): Chemical defences in soft corals (Coelenterata: Octocorallia) of the Great Barrier Reef: A study of comparative toxicities. Mar. Ecol. Progr. Ser., 8: 271 - 278.
- Dahan, M. & Y. Benayahu (1997): Clonal propagation by the azooxanthellate octocoral *Dendronephthya hemprichi*. Coral Reefs 16, 1: 5 - 12.
- Dai, C.-F. (1990): Interspecific competition in Taiwanese corals with special reference to interactions between alcyonaceans and scleractinians. Mar. Ecol. Progr. Ser., 60: 291 - 297.
- Dai, C.-F. (1991): Distribution and adaptive strategies of alcyonacean corals in Nanwan Bay, Taiwan. Hydrobiologia, 216, 6: 241 - 246.
- Dinesen, Z. D. (1983): Patterns in the distribution of soft corals across the Great Barrier Reef. Coral Reefs 1: 229 - 236.
- Dinesen, Z. D. (1985): Aspects of the life history of a stolon-bearing species of *Efflatounaria* (Octocorallia: Xenidiidae). Proc. 5th Int. Coral Reef Congress, Tahiti, 1985, 6: 89 - 94.
- Fabricius, K. E. (1995): Slow population turnover in the soft coral genera *Sinularia* and *Sarcophyton* in mid- and outer-shelf reefs of the Great Barrier Reef. Mar. Ecol. Progr. Ser., 126: 145 - 152.
- Fabricius, K. E. (1997): Soft coral abundance on the central Great Barrier Reef: effects of *Acanthaster planci*, space availability and aspects of the physical environment. Coral Reefs, 16: 159 - 167.
- Fabricius, K. E., Y. Benayahu & A. Genin (1995): Herbivory in asymbiotic soft corals. Science, 268: 90 - 92.
- Goh, N. K. C. & L. M. Chou (1994): Distribution and biodiversity of Singapore gorgonians (sub-class Octocorallia) - a preliminary study. Hydrobiologia, 285: 101 - 109.
- Grasshoff, M. (1981): Polypen und Kolonien der Blumentiere (Anthozoa). II. Die achtstrahligen Korallen (Octocorallia). Natur und Museum, 111, 2: 29 - 45.
- Kawaguti, S. (1969): Electron microscopy on a soft coral, *Heteroxenia elisabethae* Kölliker. Biol. J. Oklahoma Univ., 15, 1/2: 25 - 35.
- La Barre, S. & J. C. Coll (1983): Movement in soft corals: A growth interaction between *Nephthea brassica* (Coelenterata: Octocorallia) and *Acropora hyacinthina* (Coelenterata: Scleractinia). Mar. Biol., 72: 119 - 124.
- Lasker, H. R. & M. A. Coffroth (1983): Octocoral distributions at Carrie Bow Cay, Belize. Mar. Ecol. Progr. Ser., 13: 21 - 28.
- Maida, M., P. W. Sammarco & J. C. Coll (1995): Effects of soft corals on scleractinian recruitment. I: Directional allelopathy and inhibition of settlement. Mar. Ecol. Progr. Ser., 121, 1-3: 191 - 202.
- Mergner, H. & H. Schuhmacher (1985): Quantitative Analyse von Korallengemeinschaften des Sanganeb-Atolls (mittleres Rotes Meer). I. Die Besiedlungsstruktur hydrodynamisch unterschiedlich exponierter Außen- und Innenriffe. Helgol. Meeresunters., 39: 375 - 417.
- Muzik, K. (1982): Octocoral (Cnidaria) from Carrie Bow Cay, Belize. In: K. Rützler, I. G. MacIntyre (Eds.) The Atlantic barrier reef ecosystem at Carrie Bow Cay, Belize. I. Structure and communities. Smithsonian Inst. Press, Washington, DC: 303 - 310.
- Reinicke, G. B. (1995): Xenidiidae des Roten Meeres (Octocorallia, Alcyonacea) - Beiträge zur Systematik und Ökologie (Aspects of Systematics and Ecology of Xenidiidae (Octocorallia, Alcyonacea) in the Red Sea). Essener Ökol. Schr., 6: 1 - 168.
- Reinicke, G. B. (1997): Xenidiidae (Coelenterata: Octocorallia) of the Red Sea, with descriptions of six new species of *Xenia*. Fauna of Saudi Arabia, 16: 5 - 62.
- Reinicke, G. B. & H. Schuhmacher (1996): Significance of different traits of soft coral assemblages (Octocorallia, Alcyoniina) in benthic reef communities of the Red Sea. Göttinger Arb. Geol. Paläont., Sb2: 77 - 84.
- Reinicke, G. B. & L. P. van Ofwegen (im Druck): Shallow-water Alcyonacea (Octocorallia) of the Chagos-Archipelago (Indian Ocean). I. A case study of species assemblages and their distribution. In: Sheppard, C. et al. (Eds.) Scientific Results of the Joint British American Expedition to the Chagos-Archipelago 1996.
- Sammarco, P. W., J. C. Coll, S. La Barre & B. Willis (1983): Competitive strategies of soft corals (Coelenterata: Octocorallia): allelopathic effects on selected scleractinian corals. Coral Reefs, 1: 173 - 178.
- Sammarco, P. W. & J. C. Coll (1988): The chemical ecology of alcyonarian corals - Coelenterata: Octocorallia. In: Scheuer, P. J. (Ed.): Bioorganic Marine Chemistry, Vol. 2: 87 - 115.
- Sammarco, P. W. & J. C. Coll (1992): Chemical adaptations in the Octocorallia: evolutionary considerations (Review). Mar. Ecol. Progr. Ser., 88: 93 - 104.
- Schuhmacher, H. (1997): Soft corals as reef builders. Proc. 8th Int. Coral Reef Symp., Panama 1996, Vol. 1: 499 - 502.
- Sheppard, C. R. C. (1985): Unoccupied substrate in the central Great Barrier Reef: role of coral interactions. Mar. Ecol. Progr. Ser., 25: 259 - 268.
- Tursch, B. & A. Tursch (1982): The soft-coral community on a sheltered Reef Quadrat at Laing Island (Papua New Guinea). Mar. Biol. 68, 321 - 332.
- Van Alstyne, K. L., C. R. Wylie, V. J. Paul & K. Meyer (1992): Antipredator defence in tropical Pacific soft corals: (Coelenterata: Alcyonacea): I. Sclerites as defences against generalist carnivorous fishes. Biol. Bull., 182: 231 - 240.
- Williams, G. C. (1995): Living genera of the seapens (Coelenterata: Octocorallia: Pennatulacea) - illustrated key and synopses. Zool. J. Linn. Soc. London, 113: 93 - 140.
- Webb, L. & J. C. Coll (1982): Effects of coral terpenes on scleractinian coral photosynthesis and respiration. Toxicol. Suppl. 3: 485 - 488.

Bioerosion - Riffgestaltung mit Säure und Meißel

P. van Treec

Tropische Korallenriffe werden oft verglichen mit blühenden Gärten und gelten als Sinnbilder üppigen Lebens. Die „Regenwälder des Meeres“ haben in der Tat dort, wo die natürlichen Bedingungen, und vor allem auch der Mensch, dies zulassen, eines der artenreichsten Biotope unseres Planeten hervorgebracht. In Bezug auf Stämme und Klassen weisen Korallenriffe bei weitem die höchste Diversität aller marinen Lebensräume auf. Angesichts der Fülle des Lebens mag es befremdlich anmuten, in der Vielfalt des Korallenriffes das Ergebnis eines komplexen Wechselspieles zwischen aufbauenden und abbauenden Kräften zu erkennen. Tatsächlich ist ein wohlbalanciertes Verhältnis dieser beiden antagonistischen Prozesse kennzeichnend für intakte Riffe. Neumann (1966) prägte den Begriff der Bioerosion für alle organismeninduzierten Prozesse, die Karbonatstrukturen angreifen und grenzte damit die Bioerosion klar von abiotischen Einflüssen ab. Riffe sind gemäß der biologischen Riffdefinition selbstwachsende Strukturen (Schuhmacher, 1982). Solange der Zuwachs an Gerüstwerk gegenüber dem Abbau durch Bioerosion die Oberhand behält, fällt dieser Vorgang als natürlicher Teil der Riffdynamik dem Laien gar nicht auf. Während also Steinkorallen und andere Kalkbildner das Gerüstwerk und damit die Masse des Riffkörpers vermehren, ist eine fast ebenso artenreiche Gruppe

von Organismen damit beschäftigt, durch Abraspeln, Abbürsten oder Bohren, Teile dieses Kalkgerüsts wieder zu erodieren (Ginsburg, 1983, Glynn, 1996).

„ ... ein Teil von jener Kraft, die stets das Böse will und doch das Gute schafft“

J. W. Goethe, Faust, der Tragödie erster Teil

Man würde dem Prozess der Bioerosion sicher nicht gerecht, sähe man in ihm lediglich eine zerstörerische Kraft, denn im Zuge dieses Prozesses werden einige wichtige Aufgaben erfüllt. Bioerosion gestaltet die Rifflandschaft und produziert dabei Korallenschutt, Sand und Feinsediment. Die Verfüllung des Lückensystems zwischen den Korallenstöcken und damit die Konsolidierung des Riffkörpers wäre ohne die Verfügbarkeit von zerkleinertem Kalkmaterial nicht vorstellbar (Dullo et al., 1995). Die Tätigkeit von Bioerodierern erschließt neuen, besiedelbaren Raum durch das Anlegen von Bohrgängen innerhalb des Korallenfelsens und schafft damit neue Besiedlungslücken.

Es wird angenommen, daß die Biomasse und Anzahl der Organismen, die als Bioerodierer im Kalk des Riffkörpers leben, die der „Oberflächenbewohner“ erreichen oder sogar übertreffen kann (Grassle, 1973).

Die Gilde der Bioerodierer und ihre Werkzeuge

So vielfältig die „Motive“ in den Kalk vorzudringen sind, so verschieden sind die Organismen, die als Bioerodierer tätig sind und auch ihre Methoden.

„These Holothuriae, the fish, the numourous burrowing shells, and nereidous worms, which perforate every block of dead coral, must be very efficient agents in producing the fine white mud which lies at the bottom and on the shores of the lagoon.“

(Charles Darwin, April 1836, Voyage of the Beagle)

Die meisten Mikrobohrer im Sinne von Golubic et al. (1975), nämlich Cyanobakterien, Algen (Chlorophyta



Abb. 1: Der Feuerschwamm *Latrunculia* siedelt auf einem Granitstein, der wahrscheinlich einmal als Ankerersatz von Fischern ins Riff vor Aqaba (Jordanien, Rotes Meer) geworfen wurde. Es ist sehr schwer vorstellbar, daß der Stein in dieser instabilen Lage auf dem Untergrund fest zementiert wurde. Viel wahrscheinlicher ist, daß der Stein auf ebenem Grund fest zementierte. Durch starke Erosion des weichen Kalkgesteins der Umgebung blieb der harte Granit auf einer Art Säule stehen, deren Abtragung er verhinderte. Seine Lagehöhe von 30 – 40 cm über der heutigen Riffoberfläche zeigt somit indirekt das ursprüngliche Niveau der Riffoberfläche zum Zeitpunkt der Einbringung. Aus dieser Beobachtung kann auf ein Vorherrschen erosiver, retardierender Prozesse in diesen Riffbereichen geschlossen werden.

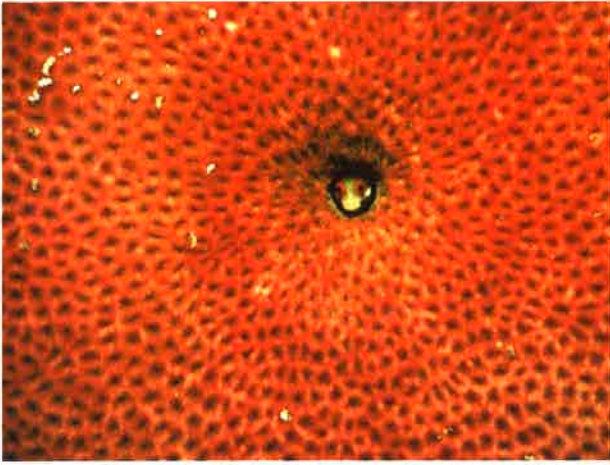


Abb. 2: Eine Grundel (*Acanthemblemaria* sp.) hat die von einer Bohrmuschel (vielleicht *Lithophaga*) gebohrte Höhle innerhalb einer lebenden Koralle (*Siderastrea* sp.) bezogen. In diesem Fall profitiert ein Sekundärbesiedler von der Bohrtätigkeit der Muschel.

und Rhodophyta) und Pilze (Kendrick et al., 1982), sowie die Bohrschwämme, verbringen den größten Teil ihrer Lebenszyklen innerhalb ihrer selbstgebohrten Gänge im Kalksubstrat (Endolithen). Diese internen Bioerodierer oder „echten Bohrer“ werden den Weidegängern (Gastropoden, Echinodermen und Knochenfische) gegenübergestellt, die die Kalkkörper der Riffe von außen her angreifen und daher als externe Bioerodierer bezeichnet werden (Glynn, 1996). Manche der externen Bioerodierer, wie zum Beispiel die Papageifische (Scaridae), ernähren sich wiederum von internen Bioerodierern, den endolithischen Bohralgen (Bellwood & Choat; 1990, Bruggemann, 1995).

Interne Bioerodierer, Bohrer

Bohrende Cyanobacteria und Pilze (Fungi imperfecti, Deuteromycota) waren wahrscheinlich die Erfinder der

Abb. 3: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Bohrgänge von Mikrobohrem im Kalksubstrat. Bohralgen und Pilze haben ein Karbonatsubstrat völlig durchdrungen.

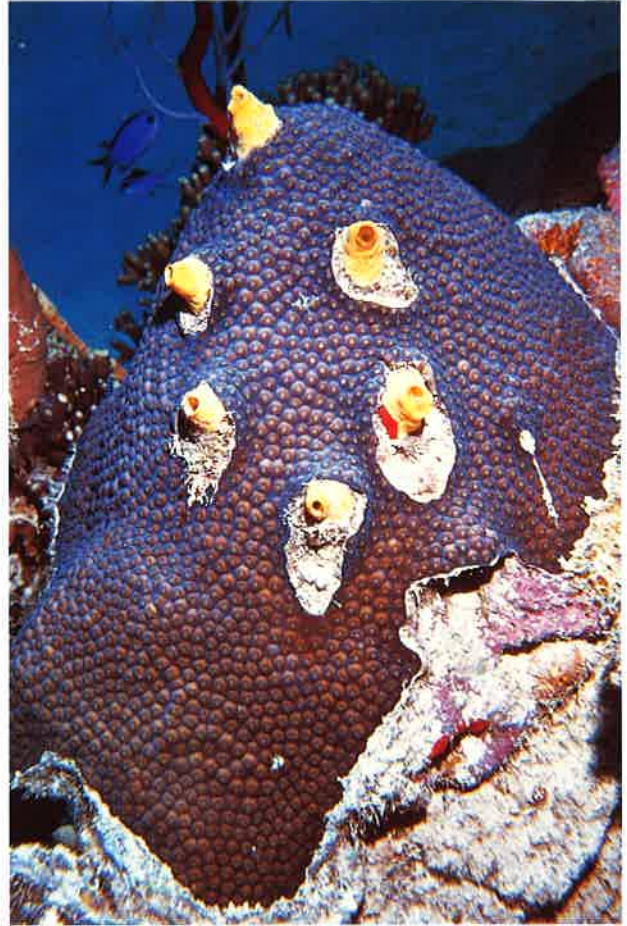


Abb. 4: Der Bohrschwamm *Siphonodictyon* hat eine Korallenkolonie besiedelt. Die Anwesenheit des Schwammes ist gut am orangefarbenen Schwammgewebe rund um die Oscula zu erkennen.

kryptischen Lebensweise im Kalk. Mit Hilfe von Säuren und Enzymen gelang es den Urahnen der heutigen Endolithen, die Kalkskelette ihrer Wirtsorganismen anzuätzen und so in diesen neuen Siedlungsraum einzudringen. Bohrgänge von Blaualgen (Cyanobacteria) konnten bereits in 1,7 Milliarden Jahre alten Versteinerungen präkambrischer Algenriffe nachgewiesen werden (Vogel, 1993). Geschützt durch den sie umgebenden Kalkkörper führen sie ein Leben im Verborgenen. Viele der Algen dringen nur wenige Millimeterbruchteile unter die Oberfläche (Radtke, 1993; Vogel et al., 1995).

Das durch den Kalk hindurchscheinende Sonnenlicht genügt diesen Spezialisten (z. B. *Ostreobium*), um sich nach Pflanzenart via Photosynthese zu ernähren (siehe Beitrag Schlichter in diesem Band). Korallenskelette können derart dicht von *Ostreobium* besiedelt sein, daß nach dem Entfernen des Korallengewebes ein charakteristisches grünes *Ostreobium*band im darunterliegenden Korallenskelett sichtbar wird. Bohrende Pilze als heterotrophe Organismen nutzen hingegen die Spuren organischen Materials in den Kalkskeletten mariner Organismen als Nahrungsgrundlage (Kendrick et al., 1982).



Abb. 5: Schematisierte Darstellung der Ätzmethode von Bohrschwamm-Amoebocyten (Querschnitt):

- a: Die Amoebocyte wandert durch das Schwammgewebe zum Kalksubstrat und lagert sich an den Kalk an.
- b: Die Amoebocyte bildet Filopodien aus. Diese Zellausläufer sondern Säuren ab, die den Kalk in unmittelbarer Umgebung der Filopodien auflösen.
- c: Die Filopodien dringen tiefer in den Kalk ein und streben wieder aufeinander zu.
- d: Die Filopodien umfließen den Kalkchip, fusionieren und inkorporieren ihn so in die Zelle.
- e: Die Amoebocyte wird zusammen mit dem Kalkchip abtransportiert und vom Schwamm ausgeschieden.

Die wohl effektivste Art der Bioerosion betreiben bohrende Schwämme der Gattungen *Cliona*, *Anthosigmella*, *Spheciospongia* sowie *Siphonodictyon*. Obwohl von außen fast nicht sichtbar, bewohnen Bohrschwämme das Innere fast aller Kalksubstrate im Meer. Clionide Schwämme, benannt nach der Gattung *Cliona*, gehören zu den erfolgreichsten und verbreitetsten Bohrorganismen weltweit. Aufgrund ihrer Bohrweise können diese Schwämme im speziell angelegten Experiment bis zu 23 kg Kalk pro m² und Jahr erodieren (vgl. Rützler & Rieger, 1973). Spezielle, innerhalb des Schwammgewebes frei bewegliche Zellen (Amoebocyten) legen sich eng an den Kalk an. An ihren Rändern bilden sie feine Fortsätze, sogenannte Filopodien, aus, die den Kalk lokal sehr begrenzt in der Art eines Kernlochbohrers wegätzen (Abb. 5). Die Filopodien arbeiten sich durch den Kalk hindurch wieder aufeinander zu. Indem sie sich treffen und fusionieren, hat die Zelle einen Kalkpartikel umflossen, damit herausgeschnitten und in sich aufgenommen. Zu-

Abb. 6: Bohrgänge von *Lithophaga* (= Steinfresser) im Skelett einer Kolonie *Porites* sp. Die Larven der bohrenden Muschel setzen sich zwischen den Korallenpolypen fest.

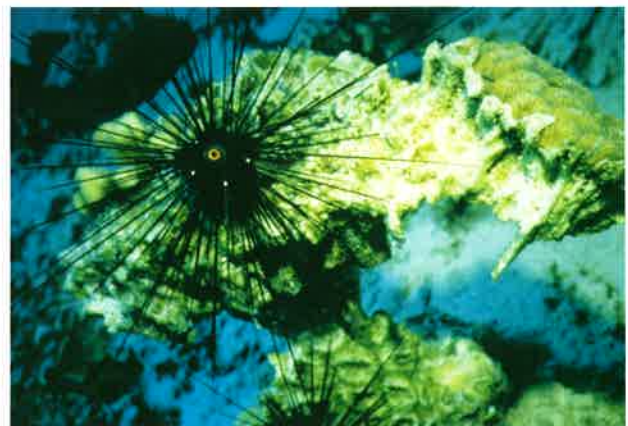


letzt wird die gesamte Zelle mit dem in ihr enthaltenen Kalkkörnchen abtransportiert und ausgeschieden. Lediglich 2 - 3 % des Kalkes müssen weggeätzt werden, der Rest wird als Kalkpartikel entfernt. Diese durch clionide Schwämme produzierten Kalkpartikel stellen bis zu 40 % der Feinsedimente in Karibischen und Pazifischen Riffen.

Die Kalk-Chips der Bohrschwämme sind artspezifisch geformt. Ihr Nachweis in fossilen Sedimenten läßt Rückschlüsse auf die Zusammensetzung der damaligen Schwammfauna zu, obwohl von dem eigentlichen Schwammkörper oft nichts in der fossilen Überlieferung zu finden ist.

Wenngleich die meisten internen Bioerodierer, abgesehen von den Schwämmen, zu den Mikrobohrern zählen, sind doch auch einige größere Formen höherer Organismen zu bohrender Lebensweise übergegangen. Bekannte Beispiele finden sich bei den Muscheln (*Bivalvia*). Die Bohrmuscheln der Gattung *Lithophaga* bohren in einer Mischtechnik aus Ätzung und mechanischem Abrieb. Schon als Larve dringt die Muschel in den Kalk ein (Abb. 6). Dies gelingt jedoch nur, wenn das Korallengewebe an der betreffenden Stelle verletzt ist. Während die Wirtskoralle weiterwächst, vergrößert die Bohrmuschel ihre Wohnhöhle nach Bedarf. Von außen betrachtet verrät oft nur noch eine kleine siphonale Öffnung den Untermieter. Die Bohrmuscheln sind, wie auch die bohrenden Sipunculiden und einige Polychaeten, Suspensionsfänger. Durch die siphonale Öffnung strudelt die Muschel Atemwasser und darin enthaltene Nahrungspartikel herbei und scheidet hierdurch auch ihre Stoffwechsel- und Geschlechtsprodukte aus. Neuere Untersuchungen bedienen sich der Computertomographie, um

Abb. 7: Starke Erosion einer Steinkorallenkolonie durch den Diadem-Seeigel (*Diadema setosum*), der als Weidegänger mit den Algen auch die Kalkoberfläche abschabt.



zerstörungsfrei die Gänge interner Bioerodierer sichtbar zu machen und den Grad der mechanischen Schädigung zu quantifizieren (Emmermann, 1993; Hassan et al. 1996).

Obwohl Bohrmuscheln ihren Wirt nicht direkt schädigen, reduzieren sie doch die mechanische Belastbarkeit der Korallenskelette. Oft genügen dann schon kleinere Stürme, um große, alte Korallenkolonien abzubrechen (Scott & Risk, 1988).

Externe Bioerodierer, Weidegänger

Die bisherigen Beispiele stellten Organismen vor, die als Infauna und -flora den Riffkörper von innen her, in der Regel chemisch mit Hilfe von Säuren, erodieren. Die zweite wichtige Gruppe bioerodierender Organismen greift den Riffkalk von außen her an. Verschiedene Seeigel, Schnecken und Fische beweiden die nicht von lebenden Korallen oder anderen sessilen Tieren besetzten Flächen im Riff auf der Suche nach epilithischen Algen.

Mit ihren spezialisierten Mundwerkzeugen raspeln sie die Algen vom Untergrund ab und nehmen dabei, quasi unbeabsichtigt, auch die obersten Schichten des Riffkalkes mit weg.

Die Bioerosion durch Beweidung wird natürlich um so effizienter, je stärker der Riffkalk schon durch Endolithen vorerodiert und damit mechanisch geschwächt ist. Neben den Fischen sind Seeigel die häufigsten Weidegänger im Riff. Kroll (1995) konnte nachweisen, daß ein Drittel der Karbonatproduktion (ca 1,5kg / m² pro Jahr) in einem Vorriffareal bei Aqaba (Rotes Meer) allein durch *Diadema setosum* wieder erodiert wird. Wenngleich Seeigel normalerweise lebendes Korallengewebe nicht anfressen, kommt es bei hohen Populationsdichten manchmal zu Schäden an den Korallen (Bak & van Eys, 1975). Seeigel können dann Korallenkolonien von innen her aushöhlen und diese so langfristig zu Grunde richten (Abb. 7).

Papageifische - Bildhauer im Riff

Die wohl auffälligste Gruppe bioerodierender Organismen sind die Papageifische (Scaridae). Ihren Namen verdankt diese Fischfamilie nicht ihrer auffälligen Färbung, sondern der Ausbildung ihrer Kiefer. Statt Zäh-

nen finden sich bei den Scariden verhornte Leisten, die an den Schnabel eines Papageis erinnern. Die oft prächtig gefärbten Fische konnten sich eine ganz besondere Nahrungsquelle erschließen. Mit Hilfe des Kieferapparates sind sie in der Lage, tiefe Kerben in den Riffkalk zu kratzen oder ganze Stücke herauszubeißen. Auch Äste abgestorbener Korallen werden abgebrochen, so daß die Fraßgeräusche der Papageifische den Taucher tagsüber durch das Riff begleiten. Papageifische sind obligat herbivor und nutzen neben den Aufwuchsalgen vor allem auch die endolithischen Algen als Nahrung. Ein spezieller Kaumagen zerkleinert die abgebrochenen Kalkstücke, so daß der organische Anteil verdaut werden kann. Im Verhältniss zur aufgenommenen Kalkmenge ist der Nährstoffgehalt allerdings sehr gering. Scariden müssen daher große Mengen Riffkalk aufnehmen, um ihren Energiebedarf zu decken (Abb. 8, 9). Der Kalk selbst wird als Feinsediment wieder ausgeschieden. Von 1 m² Riff können pro Jahr bis zu 7 kg Korallenkalk durch Papageifische abgetragen und zu Feinsediment zermahlen werden (Bruggemann, 1995). Neben den Bohrschwämmen sind Papageifische die wichtigsten Produzenten von Korallensand.

Bioerosionsraten und Karbonatbilanz

Die Bioerosionsraten können lokal sehr unterschiedlich sein. Gleiches gilt für die Bedeutung der beteiligten Arten für die Gesamterosion. In der Tabelle sind die Bioerosionsleistungen einiger Taxa zusammengestellt. Die durchschnittliche Karbonatproduktion in den Riffen weltweit wird mit etwa 3,5 bis 5 kg CaCO₃/m²/a beziffert (Kinsey, 1983). Der Abtrag durch eine einzige Art oder taxonomische Gruppe von

Abb. 8 (unten links): Ein ausgewachsenes Männchen des Papageifisches *Scarus gibbus* sucht im Riff nach Nahrung.

Abb. 9 (unten): Schulen von herbivoren Fischen unterschiedlicher Arten schwimmen über einem Saumriff. Wenngleich der individuelle Kalkabtrag bei Papageifischen (Scaridae) größer ist als beispielsweise bei Doktorfischen (Acanthuridae), zeigen neuere Untersuchungen, daß auch die vielen substratabbürstenden Doktorfische und Demosellen (Pomacentridae) einen erheblichen Anteil zur Erosion der Riffoberfläche beitragen.



Bioerodieren übertrifft in manchen Untersuchungsgebieten die Gesamtproduktion an Karbonat (van Treck et al., 1996).

Beweidung und Bioerosion - Faktoren, die Riffgemeinschaften prägen

Beweidung und Bioerosion sind wichtige Prozesse, deren Intensität das Erscheinungsbild einer Riffgemeinschaft maßgeblich mitbestimmt. Die Rolle interner Bioerodierer bei der Gestaltung des Riffkörpers und für die Produktion von Feinsediment wurde bereits beschrieben.

Die Beweidung bedeutet - über die externe Bioerosion hinaus - noch einen weiteren Einfluß, der einen oft übersehenen Steuerungsmechanismus für die Riffgemeinschaft darstellt. Dies soll nachstehend aus der Sicht einer Korallenlarve betrachtet werden.

Bioerosion aus der Sicht benthischer Organismen

Das „Verhältnis“ einer zur Ansiedlung bereiten Planularlarve gegenüber der Bioerosion und Beweidung muß ein zwiespältiges sein. Einerseits schafft das Abbrechen von ganzen Korallenkolonien oder Teilen neue Lücken in der oftmals dichten Besiedlungsdecke im Riff und sorgt so für neuen, besiedelbaren Raum.

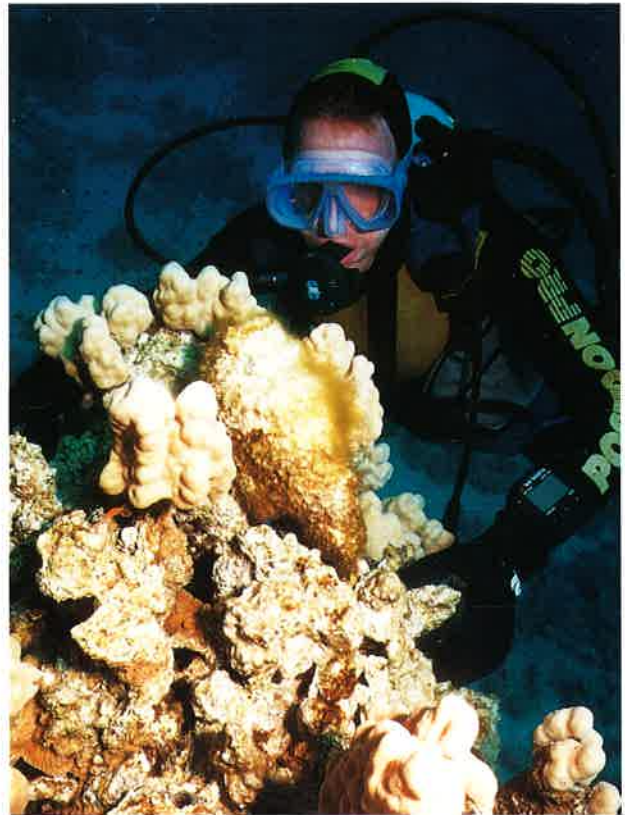


Abb. 10: Taucher mit Steinfisch (*Synanceia verrucosa*). Nur die fädigen Algen auf seinem Rücken verraten den gut getarnten Steinfisch. Der grüne Flaum auf dem Körper des Fisches bildet einen starken Kontrast zu der stark beweideten und daher weitgehend algenfreien Umgebung.

Tabelle: Übersicht über die Erosionsleistungen verschiedener Organismen in unterschiedlichen Riffgebieten (Verändert und ergänzt nach Glynn, 1996).

Zum Vergleich: Kalkproduktion bei 100 % Steinkorallenbedeckung 10.000 g / m² / a (Hopley, 1997)

Taxonomische Gruppe	Erosionsrate g CaCO ₃ / m ² / a	Abundanz Indiv. / m ²	Habitat	Region	Quelle
Cyanobacteria	350		Lagune	Großes Barriere Riff, Australien	Tudhope & Risk, 1985
Porifera					
<i>Cliona lampa</i>	23.000		subtidales Kalksteinkliff	Bermuda	Neumann, 1966
<i>Cliona</i> und <i>Siphonodictyon</i>	7.000		Testblöcke	Bermuda	Rützler, 1975
Polychaeta					
cirratulide, eunicide und sabellide Polychaeten	690	13.000		Lizard Island, Australien	Davies & Hutchings, 1983
Mollusca					
<i>Lithophaga laevigata</i>	9.000	1.870	Korallenfels	Cano Island, Costa Rica	Scott et al., 1988
Echinodermata					
<i>Diadema antillarum</i>	5.300	23	Saumriff	Barbados	Scoffin et al., 1980
<i>Diadema savignyi</i>	3.400	4.8	Lagune	Moorea, Franz. Polynesien	Bak, 1990
<i>Diadema setosum</i>	1.200		Saumriff	Aqaba, Jordanien	Kroll, 1995
<i>Echinometra lucunter</i>	3.900	100		St. Croix, Virgin Islands	Ogden, 1977
Pisces					
<i>Scarus iserti</i>	490	0.6	Fleckenriff	Barbados	Frydl & Stearn, 1978
<i>Scarus vetula</i> <i>Sparisoma viride</i>	7.000		Saumriff	Bonaire, Niederl. Antillen	Bruggemann, 1995
Polyspezifische Schulen herbivorer Fische (Scaridae, Acanthuridae)	2.740		Saumriff	Aqaba, Jordanien	van Treck et al., 1996

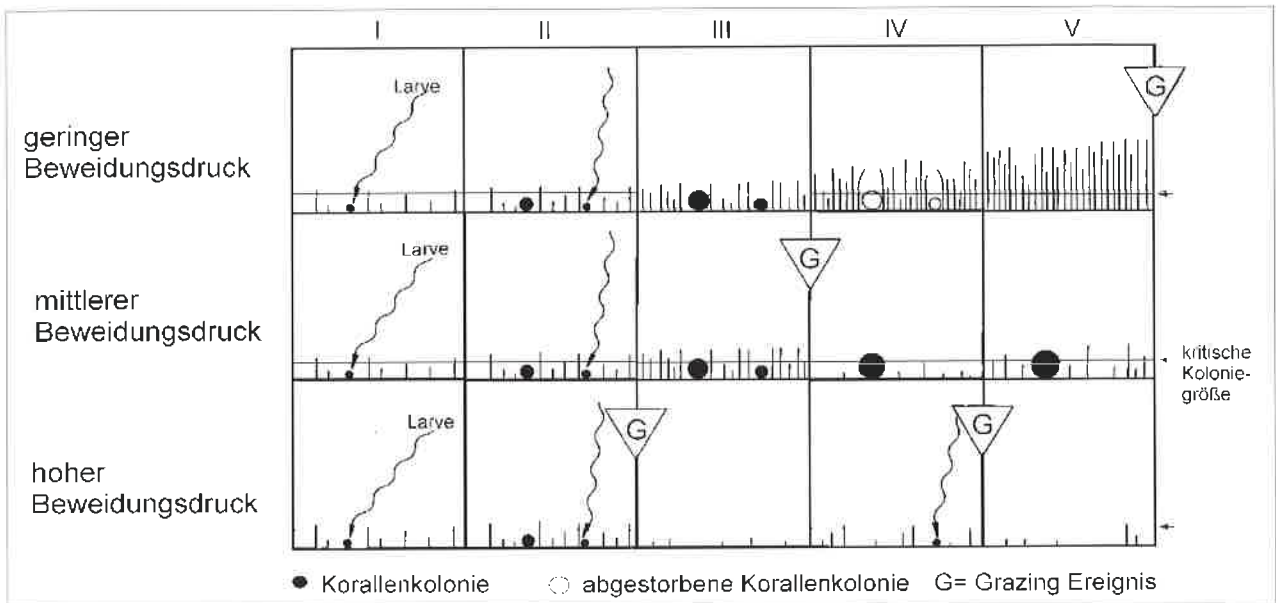


Abb. 11: Schematische Darstellung der Auswirkung unterschiedlicher Weideintensitäten auf Steinkorallenansiedlung.

Intensive Beweidung hält zudem die schnellwüchsigen raumkonkurrierenden Algen kurz. Ohne diese „Dienstleistung“ der Weidegänger hätten die Larven von Korallen, aber auch die von Bryozoen, Ascidien und anderen benthischen Riffbewohnern, kaum eine Chance, sich erfolgreich anzusiedeln: „No reefs without herbivory“ (van den Hoek & Breemann, 1978). Andererseits laufen aber auch die frisch angesiedelten Larven Gefahr, von „unachtsamen“ Weidegängern mit abgefressen zu werden (Sammarco, 1980, 1982; Hay, 1984).

Die Folgen einer Störung des sensiblen Verhältnisses von Beweidung und Stabilität konnten im Anschluß an Massensterben des Diademseeigels (*Diadema antillarum*) in den Riffen der Karibik im Jahr 1983 eindrucksvoll beobachtet werden (vgl. Hughes et al., 1987). Der Seeigel war bei weitem der wichtigste Weidegänger und kontrollierte die schnellwüchsigen Algen (vgl. Carpenter, 1986). Mit seinem Ausfall wuchsen die Algen ungehemmt und verhinderten die Neuansiedlung von Korallen und anderen benthischen Wirbellosen. Ehemals diverse Riffe verarmten zu Algen-dominierten Gemeinschaften. Bislang konnten sich die Korallenbestände in den betroffenen Gebieten nicht wieder erholen.

Aber auch ein Zuviel an Beweidung kann, aus der Sicht der ansiedelnden Korallenlarve, katastrophale Folgen haben. Kaum hat sich eine Larve festgesetzt, wird sie von den Weidegängern mit weggefressen (Schuhmacher, 1977). Der Gewinn an Freifläche geht unter Umständen auf Kosten der Substratstabilität (van Treeck et al., 1996).

Die Bioerosionsraten und die Verhinderung der Neuansiedlung von Kalkbildnern können in Gebieten intensiver Weidetätigkeit die Kalkproduktion um ein mehrfaches übersteigen. Auf lange Sicht können Riffe aus solchen Gebieten verschwinden, obwohl die abiotischen Bedingungen eine Riffbildung erlauben.

Zweifellos stellen die in Abb. 12 - 15 angeführten Beispiele Extreme einer breiten Palette von durch Bioerosion und Beweidung gesteuerten Veränderungen einer Riffgemeinschaft dar. Aber auch auf den ersten Blick kaum wahrnehmbare Eingriffe in das System Korallenriff können langfristig erhebliche Folgen haben. Neben dem Einfluß auf die Kalkbilanz (wächst das Riff oder schrumpft es?) können Beweidung und Bioerosion auch Einfluß auf die Zusammensetzung und damit „Qualität“ von Riffgemeinschaften nehmen, ohne daß dieses leicht erkennbar ist.

Steuerfaktoren der Bioerosion - wie der Verzehr von Zackenbarschen die Bioerosion erhöhen kann

Auf der Basis eigener Untersuchungen im nördlichen Golf von Aqaba soll die Wirkung eines „kleinen“ subtilen Einflusses auf eine hypothetische Riffgemeinschaft dargestellt werden. Unser Modell beschreibt, wie eine kleine Veränderung eine ganze Gemeinschaft umformen kann.



Abb. 12: Zu Beginn findet sich eine intakte Riffgemeinschaft. Der Fischbestand zeigt ein ausgewogenes Verhältnis von Raubfischen und Friedfischen. Eine artenreiche Korallenbesiedlung mit verschiedenen Wuchsformen repräsentiert alle Lebenslaufstrategien. Sowohl langlebige, massige Arten als auch schnellwüchsige, kurzlebige, verzweigte Korallen sind vertreten. Der Bestand zeigt eine „normale“ Altersstruktur.

Durch selektive Fischerei wurden die Raubfische stark dezimiert und zeitweilig sogar ganz aus dem System entfernt.

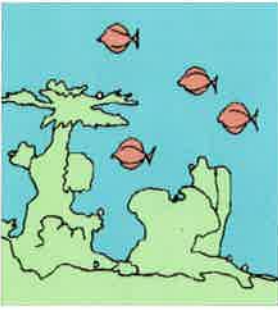


Abb. 13: Durch das Fehlen der Raubfische wird der Fischbestand jetzt von den herbivoren Friedfischen dominiert. Die Beweidung der nicht durch Korallen besiedelten Riffflächen nimmt stark zu. Bedingt durch den starken Beweidungsdruck nimmt auch die Bioerosion zu.

Die starke Beweidung der Freiflächen fördert innerhalb des Korallenbestandes die Pionierformen. Diese r-Strategen sind in der Regel schnellwüchsige, verzweigte aber kurzlebige Arten, die aufgrund ihrer hohen Zahl an Nachkommen gegenüber den langlebigen Arten, die erst nach vielen Jahren geschlechtsreif werden, im Vorteil sind.

Die Alterstruktur der Korallengemeinschaft verschiebt sich in Richtung der kurzlebigen Arten.



Abb. 14: Skelette verzweigter Korallen erodieren schneller als Skelette massiv wachsender, langlebiger Arten. Der Kalk, der von den schnellwüchsigen Korallen produziert wird, wird von weidenden Fischen rasch wieder erodiert. Nach wie vor werden schnellwüchsige Pionierkorallen begünstigt.

Die Oberflächenvergrößerung durch die Skelette der verzweigten Korallen bietet mehr Siedlungsfläche für benthische Algen. Die Weidegänger finden ein größeres Nahrungsangebot und werden so zusätzlich gefördert. Die Skelette der verzweigten Korallen werden erodiert, noch bevor sie als Gerüstwerk in den Riffaufbau integriert werden können. Große Mengen an Sediment werden aus dem System herausgetragen. Das Riffwachstum gerät ins Stocken oder wird sogar negativ, d. h. der Riffkörper wird abgetragen.



Abb 15: Das letzte Stadium unseres hypothetischen Szenarios ist gekennzeichnet durch relativ hohe Dichten weidender Friedfische, kleine Raubfischpopulationen, überwiegend kurzlebige Korallenarten und hohe Bioerosion.

Ein solches Riff mag auf den ersten Blick durchaus den Anschein eines ungestörten Ökosystems erwecken. Die Bedeckung mit lebenden Korallen erscheint passabel und zahlreiche bunte Fische schwimmen über das Riff. Für den Laien deutet nichts

darauf hin, daß für dieses Riff der Untergang bereits begonnen hat. Und das möglicherweise nur, weil die Zackenbarsche auf den Tellern der Touristen aus diesem Riff stammen (vgl. Mc Clanahan & Shafir, 1990).

Schleichende Veränderungen resultieren auch aus der Eutrophierung der küstennahen Gewässer - unter anderem durch Förderung der Bioerosion. (Endean, 1976; Highsmith, 1980). Ein großangelegtes Freilandexperiment (ENCORE) im Großen Barriere Riff, bei dem einem Riff über längere Zeit mineralische Dünger aus der Landwirtschaft appliziert wurden, zeigte deutlich höhere Bestandsdichten an bohrenden Grünalgen und Cyanobakterien (Kiene, 1997). Langfristig wäre zu erwarten, daß sich die Populationsgröße weidender Papageifische auf dieses größere Nahrungsangebot einstellt und die Bioerosion so zusätzlich verstärkt wird. Die meisten internen Makroerodierer ernähren sich filtrierend und profitieren somit von einem höheren Nahrungsangebot an Plankton in Folge höheren Nährstoffangebots. Es konnte belegt werden, daß die Abundanzen von Bohrmuscheln und bohrenden Polychaeten mit dem Eutrophiegrad des jeweiligen Seegebietes positiv korrelierten (Highsmith, 1980).

Fazit

Bioerosion ist integraler, natürlicher Bestandteil der elementaren Prozesse im Riff. Als dynamisches Element gestaltet Bioerosion auf vielen Ebenen das System Riff mit.

Diese Dynamik der natürlichen Umgestaltung hat bei der Ausbildung der Arten und Formenvielfalt innerhalb von Korallenriffgemeinschaften sicher einen entscheidenden Beitrag geleistet. Die zahlreichen Stressfaktoren, die heute auf viele Riffe einwirken, forcieren fast ausnahmslos die Bioerosion über das natürliche Maß hinaus, so daß die Riffgemeinschaft auch hierdurch Schaden nimmt. Schutzmaßnahmen und Managementkonzepte haben dann Aussicht auf Erfolg, wenn die Ursachen für den Anstieg der Bioerosion erkannt und beseitigt werden. Für gesunde Riffe stellt Bioerosion keine Bedrohung dar.

Literatur:

- Bak, R. P. M. (1990): Patterns of echinoid bioerosion in two pacific coral reef lagoons. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 66: 267 - 272.
- Bak, R. P. M. & G. van Eys (1975): Predation of the sea urchin *Diadema antillarum* Philippi on living coral. *Oecologia*, 20: 111 - 115.
- Bellwood, D. R. & J. H. Choat (1990): A functional analysis of grazing in Parrotfishes (family Scaridae): the ecological implications. *Environmental Biology of fishes*, 28: 189 - 214.
- Bruggemann, J. H. (1995): Parrotfish grazing on coral reefs - A trophic novelty. PhD thesis, Groningen.
- Carpenter, R. C. (1986): Partitioning herbivory and its effects on coral reef algal communities. *Ecological Monographs*, 56: 345 - 363.
- Davies, P. J. & P. A. Hutchings (1983): Initial colonization, erosion and accretion on coral substrate. *Experimental results, Lizard Island GBR. Coral Reefs*, 2: 27 - 35.

- Dullo, W. C., Schuhmacher, H., W. E. Kiene, M. Gektidis, S. Golubic, G. A. Heiss, H. Kampmann, D. Kroll, M. Kuhrau, G. Radke, J. J. G. Reijmer, G. B. Reinicke, D. Schlichter & K. Vogel (1995): Factors controlling Holocene reef growth: An interdisciplinary approach. *Facies*, 32: 145 - 188.
- Emmermann, P. (1993): Untersuchung rezenter Bohrspuren endolithischer Makrobohrer in Riffgesteinen mit Hilfe der Computertomographie. Diplom Arbeit CAU Kiel.
- Endean, R. (1976): Destruction and Recovery of coral reef communities. In: Jones & Endean (Eds): *Biology and Geology of Coral Reefs. III Biology*, 2: 215-254. Academic Press New York.
- Frydal, P. & C. W. Stearn (1978): Rate of bioerosion by parrotfish in Barbados reef environments. *Journal of Sedimentary/ Petrology*, 48: 1149-57.
- Golubic, S., R. D. Perkins & K. J. Lucas (1975): Boring microorganisms and microborings in carbonate substrates. In: Frey, R. W. (Ed.): *The study of trace fossils*: 229 - 259. Springer, New York.
- Ginsburg, R. (1983): Geological and biological roles of cavities in coral reefs. In: Barnes (Ed.): *Perspectives on Coral Reefs*: 148-153. Brian Clouston Publ., Manuka, Australia.
- Glynn, P. W. (1996): Bioerosion and Coral Reef Growth: A dynamic Balance. In: Birkeland (Ed.): *Life and death of coral reefs*, Chapman & Hall, New York: 68 - 95.
- Grassle, J. F. (1973): Variety in coral reef communities. In: Jones & Endean (Eds): *Biology and Geology of coral Reefs II, Biology*, 1: 247 - 270. Academic Press, New York.
- Hassan, M., W. C. Dullo & A. Fink (1996): Assessment of boring activity in *Porites lutea* from Aqaba (Red Sea) using computed tomography. *Proc. 7th Int. Coral Symp. Panama 2*: 1813 - 1818.
- Hay, M. E. (1984): Patterns of fish and urchin grazing on Caribbean Coral Reefs. Are previous results typical? *Ecology*, 65: 446 - 454.
- Highsmith, R. C. (1980): Geographic patterns of coral bioerosion: a productivity hypothesis. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 46: 177 - 196.
- Hopley, P. (1997): Coral reefs and global climate change. WWF climate change campaign, Report. Washington: 46 S.
- Hughes, T. P., D. C. Reed & M. Boyle (1987): Herbivory on coral reefs: Community structure following mass mortalities of sea urchins. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 113: 39 - 59.
- Kendrick, B., J. Risk, J. Michaelides & K. Bergmann (1982): Amphibious microborers: bioeroding fungi isolated from live corals. *Bull. Mar. Sci.*, 32: 862 - 867.
- Kiene, W. E. (1988): A model of bioerosion. *Proc. 6th Int. Coral Reef Symp. Townsville*, 3: 449 - 454.
- Kiene, W. E. (1997): Enriched nutrients and their impact on bioerosion. Results from ENCORE *Proc 8th Int. Coral Reef Symp. Panama I*: 897 - 902.
- Kinsey, D. W. (1983): Standards of performance in coral reef primary production and carbonate turnover. In: Barnes (Ed.): *Perspectives on coral reefs*: 209 - 222, Brian Clouston Publ. Manuka, Australia.
- Kroll, D. (1995): Bioerosion by grazing *Diadema* sea urchins. In: Dullo et al.: *Factors Controlling Holocene Reef Growth: An Interdisciplinary Approach*. *Facies*, 32: 145 - 188.
- McClanahan T. R. & S. H. Safir (1990): Causes and consequences of sea urchin abundance and diversity in Kenyan coral reef lagoons. *Oecologia*, 83: 362 - 370.
- Neumann A. C. (1966): Observations on coastal erosion in Bermuda and measurements of the boring sponge *Cliona lampa*. *Limnol. Oceanogr.*, 11: 92 - 108.
- Ogden, J. (1977): Carbonate Sediment production by parrotfish and sea urchin on Caribbean reefs. In: S. H. Frost, M. P. Weiss & J. B. Saunders (Eds) *Reefs and related carbonates - ecology and sedimentology*: 281-288. *Studies in Geology 4*. American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Oklahoma.
- Radtke, G. (1993): The distribution of microborings in molluscan shells from Recent reef environments at Lee Stocking island, Bahamas. *Facies*, 29: 81 - 92.
- Rützeler, K. & G. Rieger (1973): Sponge burrowing: Fine structure of *Cliona lampa* penetrating calcareous substrata. *Mar. Biol.*, 21: 144 - 162.
- Sammarco, P. W. (1980): *Diadema* and its relationship to coral spat mortality; Grazing, competition and biological disturbance. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 45: 245 - 272.
- Sammarco, P. W. (1982): Echinoid grazing as structuring force in coral communities: Whole reef manipulation. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 61: 31 - 55.
- Schuhmacher, H. (1974): On the conditions accompanying the first settlement of corals on artificial reefs with special reference to the influence of grazing sea urchins (Eilat, Red Sea). *Proc. Sec. Int. Coral Reef Symp. 1*. Great Barrier Reef Committee, Brisbane: 257 - 267.
- Schuhmacher, H. (1977): Initial phases in reef development studied at artificial reef types off Eilat (Red Sea). *Helgoländer wiss. Meeresunters.*, 30: 400 - 411.
- Schuhmacher, H. (1982): *Korallenriffe - Ihre Verbreitung, Tierwelt und Ökologie*. BLV München Wien, Zürich.
- Scoffin, T. P., C. W. Stearn, D. Boucher, P. Frydal, C. M. Hawkins, I. G., Hunter & J. K. McGeachy. (1980): Calcium carbonate budget of a fringing reef on the west coast of Barbados. Part II Erosion, sediments and internal structure. *Bull. Mar. Sci.* 30: 475 - 508.
- Scott, P. J. B. & M. J. Risk (1988): The effect of *Lithophaga* (Bivalvia, Mytilidae) boreholes on the strength of the coral *Porites lobata*. *Coral Reefs* 7: 145 - 151.
- Sorokin, Y. (1973). Microbiological aspects of the productivity of coral reefs. In: Jones & Endean (Eds): *Biology and Geology of coral reefs*. Academic Press, New York: 17 - 46.
- Tudhope, A. W. & M. J. Risk (1985): Rate of dissolution of carbonate sediments by micro boring organisms, Davies Reef, Australia. *J. Sed. Petrology*, 55: 440 - 447.
- van den Hoek, C. & A. M. Breemann (1978): Distribution of algae, corals and gorgonians in relation to depths, light attenuation, water movement and grazing pressure in the fringing coral reefs of Curacao, Netherlands Antilles, *Aquatic Botany*, 5: 1 - 46.
- van Treeck, P., H. Schuhmacher & M. Paster (1996): Grazing and bioerosion by herbivorous fishes - Key processes structuring coral reef communities. In: Reitner, J., F. Neuweiler & F. Gunkel (Eds): *Göttinger Arb. Geol. Paläont. Sb2*: 133 - 137.
- Vogel, K. (1993): Bioeroders in fossile Reefs. *Facies*, 28: 109 - 113.
- Vogel, K., W. E. Kiene, M. Gektidis & G. Radtke (1995): Scientific Results from Investigations of Microbial Borers and Bioerosion in Reef Environments. In: Reitner, J., F. Neuweiler & F. Gunkel (Eds): *Göttinger Arb. Geol. Paläont. Sb2* : 139 - 143.

Neue Wege im Riffschutz: Pläne, Pflaster und Prothesen

M. Eisinger, P. van Treeck, M. Paster und H. Schuhmacher

Korallenriffe in der Krise

In den letzten Monaten häuften sich Nachrichten über den weltweit alarmierenden Rückgang der Korallenriffe. „Die zerstörten Paradiese der Meere“ oder „Tod am Riff“ - so betiteln zwei Nachrichtenmagazine Beiträge über den aktuellen Gesundheitszustand von Riffen. Was hat es auf sich mit dem Korallensterben? Welche Bedeutung haben Riffe überhaupt? Dies sind nur einige Fragen, die Meeresbiologen auf Initiative von Prof. Dr. Robert Ginsburg aus Miami dazu bewegen haben, das „Internationale Jahr des Riffs 1997“ (IYOR) ins Leben zu rufen. Hauptziel dieser Initiative war es, Korallenriffe in das Bewußtsein der Öffentlichkeit zu rücken und dabei vor allem Sporttaucher auf ihre Verantwortung gegenüber diesem einzigartigen Naturerbe aufmerksam zu machen. Zentrale Aktivität war der „ReefCheck“, die erste globale Studie, bei der Sporttaucher unter Anleitung von Korallenrifforschern den Gesundheitszustand von Korallenriffen bestimmt haben. Bei der weltweiten Begutachtung von über 250 Riffen mit Hilfe standardisierter Methoden bestätigten sich Beobachtungen, wonach ein Großteil der Riffe massiv bedroht und vielerorts schon stark geschädigt ist (Brown 1988; Hutchings 1994).

Der drastische Rückgang von Korallenriffbeständen ist mittlerweile unter Riffökologen unumstritten. Hauptbedrohung für die Riffe ist anthropogener Streß durch organische und anorganische Verschmutzung, Sedimentbelastung und Überfischung. Es steht außer Frage, daß das Ausmaß der Degradation mit dem exponentiellen Anstieg der Bevölkerung in Küstennähe noch zunehmen wird. Dabei handelt es sich bei den akuten Brennpunkten der Bedrohung unglücklicherweise zugleich um wichtige Zentren der Korallenriffverbreitung, den Archipelen Indonesien und Philippinen im Indopazifik sowie dem atlantischen Pendant um Jamaika in der Karibik.

Abb. 1: Fraßfront von *Drupella cornus*, einer Korallengewebe fressenden Schnecke, auf *Acropora humilis* (Aqaba, Jordanien). Wie *Acanthaster planci* kann auch diese Art beim Massenaufreten ganze Riffareale kahl fressen.



Korallenriffe reagieren erstaunlich robust gegenüber natürlichen Störeinflüssen wie tropischen Stürmen, extremen Niedrigwasserständen, Krankheitsepidemien, saisonal bedingten Algenblüten und Populationsausbrüchen einzelner korallenfressender Arten. Klassisches Beispiel hierfür sind das gelegentliche Massenaufreten des Seesterns *Acanthaster planci*, und der Schnecke *Drupella cornus*, die sich von lebendem Korallengewebe ernähren und bei Überschreiten der natürlichen Populationsgröße ganze Riffareale kahl fressen können (Abb. 1). Wird das entsprechende Gebiet nicht von weiteren Katastrophen heimgesucht oder durch andere Streßfaktoren belastet, so kann sich die Riffgemeinschaft in einigen Jahrzehnten erholen (Done, 1985).

Korallenriffe sind andererseits sehr anfällig gegenüber chronischen Belastungen durch menschliche Einflüsse, die in Kombination mit natürlichen Streßfaktoren oft synergistisch wirken und zu einer rapiden Verschlechterung des allgemeinen Gesundheitszustandes von Riffen führen. Sind Riffe erst einmal vorgeschädigt, kann ein einzelnes Ereignis wie beispielsweise ein tropischer Wirbelsturm katastrophale Auswirkungen haben. So haben sich die Korallenriffe der Nordküste Jamaikas nach dem schweren Hurrikan Allen im Jahre 1980 bis heute noch nicht erholt. Zu den anthropogenen Streßfaktoren gehören vor allem destruktive Fischfangmethoden (Dynamit- und Cyanidfischerei, Überfischung), Überdüngung der Riffe durch Einbringung von Futter und Exkrementen aus der Aquakultur (Massenzucht von Fischen, Muscheln und Garnelen), Einleitung von Abwässern und Pestiziden aus der Landwirtschaft und erhöhte Trübung infolge von Bautätigkeiten in Strandnähe (Abb. 2 und 3). Selbst die Abholzung von Regenwäldern im küstenfernen Hinterland und die damit verbundene Boden-erosion führen über den Flußweg zu einem massi-

Abb. 2: Aufgrund erhöhten Nährstoffeintrags wird ein Korallenriff von Grünalgen regelrecht überwuchert (Aqaba, Jordanien).





Abb. 3: Hoher Sedimenteintrag in ein Riff nach einem schweren Sturm (Ras Mohammed, Ägypten).

ven Sedimenteintrag; ausgewaschene Nährstoffe eutrophieren zudem die Riffe. Hinzu kommen Ankerschäden durch Schiffe (Abb. 4) sowie großflächige Zerstörungen durch Schiffshavarien wie im Falle der „Viking Sun“, ein Kreuzfahrtschiff, das zu Ostern 1997 in der Straße von Tiran (Rotes Meer) eine 104 m lange und bis zu 2,30 m tiefe Spur der Verwüstung in ein Riff gezogen hat.

Abb. 4: Ankerschäden in der Nähe des Fährhafens in Aqaba, Jordanien.



Schätzungen gehen davon aus, daß bereits 10% der tropischen Korallenriffe irreversibel zerstört sind, 30% sich in einem kritischen Zustand befinden, so daß sie in den nächsten 10 - 20 Jahren verloren gehen werden, sowie daß weitere 30 % bedroht sind und die nächsten 20 - 40 Jahre nicht überleben werden (Wilkinson, 1993). Demnach befinden sich nur 30 % der Riffbestände in einem stabilen und gesunden Zustand, der es ihnen mit großer Wahrscheinlichkeit erlaubt, das nächste Jahrhundert zu überstehen. Voraussetzung dafür ist allerdings, daß die Bevölkerung bzw. der Nutzungsdruck in den angrenzenden Gebieten nicht ansteigt und daß der globale Klimawechsel keinen signifikanten Einfluß auf den Zustand dieser Korallenriffe hat. Solche Gebiete könnten dann ein wichtiges Reservoir von Korallen und anderen Rifforganismen für die natürliche Wiederbesiedlungen geschädigter Riffareale darstellen.

Die Ursachenforschung vor Ort stellt sich allerdings als sehr schwierig dar, da die einzelnen Korallenarten auf die verschiedensten Formen von Streß meist unspezifisch reagieren: Die Polypen stoßen ihre Zooxanthellen - einzellige Algen, die im Korallengewebe leben und für die Färbung verantwortlich sind - aus, sie werden farblos („Korallenbleichen“ - das weiße Kalkskelett scheint durch; Abb. 5) und sterben schließlich ab, wenn sich die äußeren Bedingungen nicht ändern (siehe Beitrag Schlichter). Aktuelle Beispiele für großflächiges „Korallenbleichen“ (coral bleaching) von den Malediven und den Fiji-Inseln werden in Zusammenhang mit dem Klimaphänomen „El Niño“ gebracht, das zeitweise zu einer lokalen Erhöhung der Wassertemperatur um bis zu 5 °C führt und somit die obere Toleranzgrenze für das Vorkommen von riffbildenden Korallen überschreitet. Riffbereiche bis in 40 m Tiefe können dadurch betroffen sein und komplett ausbleichen. Fallen die Temperaturen binnen weniger Tage zurück auf den Normalwert, werden im günstigen Fall wieder Zooxanthellen in das Gewebe aufgenommen und die Korallen überleben.

Abb. 5: Korallenbleichen (coral bleaching): Eine Kolonie von *Porites* sp. hat einen Teil ihrer symbiontischen Algen aus dem Gewebe ausgestoßen. Deutlich ist der Unterschied des zooxanthellenfreien Gewebes im Vergleich zur „natürlichen“ Färbung zu erkennen. Die Ursache des Teilerbleichens ist unbekannt.



Eine neue und in Zukunft sicher noch sehr ernst zu nehmende Form der Bedrohung zeichnet sich im Roten Meer durch die rapide wachsenden Tourismuseinrichtungen ab. Aufgrund der geographischen Lage fehlen hier zwar die in anderen tropischen Gebieten maßgeblichen Streßfaktoren, wie z. B. Oberflächenabfluß von Niederschlägen, doch zeigt sich bereits an vielen Stellen, wie der Tourismus seine Spuren im Riff durch zunehmende Küstenbebauungsmaßnahmen hinterläßt. Nachhaltige Managementkonzepte fehlen vielerorts vollständig bzw. fallen kommerziellen Interessen zum Opfer und führen zur unkontrollierten Erschließung bisher unberührter Küstenabschnitte. Dazu gehört vor allem die steigende Sedimentbelastung vorgelagerter Riffe infolge von Straßen- und Hotelbauten sowie durch Aufschüttung von Sandstränden in Hotelanlagen. Aber auch die vielerorts noch übliche Einleitung von Abwässern und Lösungsmitteln bzw. hypersalinen Solen aus Entsalzungsanlagen hat noch nicht abschätzbare Folgen für die Riffe. Unmittelbare Schädigungen gehen vor allem auch von dem Tauchtourismus aus: Ankerschäden durch Tauchboote sowie eine Erhöhung der Sedimentbelastung und Korallenbruch durch unerfahrene Taucher stellen bei ständiger Wiederholung eine ernste Bedrohung für die Korallenriffbestände des Roten Meeres dar. Sind Riffareale erst einmal degradiert bzw. für den Taucher unattraktiv geworden, werden vorher unberührte Küstenabschnitte erschlossen - Tauchgebiete, die dann als Geheimtip am Taucherstammtisch die Runde machen. Wir werden auf diese Problematik noch detaillierter bei der Vorstellung neuer Konzepte zum aktiven Riffschutz eingehen. Die Tabelle faßt nochmals die wichtigsten Formen der Bedrohung natürlicher und anthropogener Art zusammen.

Wann ist ein Riff gesund? Konzepte zur Statusbewertung

Riffe sind langlebige Strukturen. Von katastrophalen Ereignissen abgesehen können Riffe allmählich degradieren, ohne daß dieser Niedergang auf den ersten Blick erkennbar wäre. In Bezug auf die ökologische Betrachtung dieses Phänomens steckt die Rifforschung nach wie vor in den Kinderschuhen. Typologien und Referenzsysteme, wie sie in der Limnologie und terrestrischen Ökologie bereits Anwendung finden, fehlen im marinen Bereich noch weitgehend.

Es gilt vor allem adäquate Kenngrößen auszumachen, um das Ausmaß der Bedrohung und die genauen Rückgangsraten abschätzen zu können. Erst wenn genügend Informationen über die Dynamik verschiedener Korallengemeinschaften vorliegen (insbesondere durch Variabilität, Diversität, Besiedlungsdynamik, Regenerationsfähigkeit), können Konzepte zur Statusbewertung und somit für einen effektiven und integrierten Küstenschutz entwickelt werden. Besonderer Bedarf besteht an der Entwicklung eines Verfahrens zur schnellen und möglichst genauen Erfassung des Gesundheitszustandes von Riffabschnitten. Basis für eine solche Bewertung sollte ein Katalog ausgewählter Variablen sein, für die Richtwerte unter Berücksichtigung ihrer natürlichen Variationsbreite festgesetzt werden. Dabei wird die zentrale Frage in der Un-

terscheidung zwischen der natürlichen Schwankungsbreite und anthropogen bewirkten Ausschlägen liegen (Done et al., 1996; Grigg & Dollar, 1990).

Eben genau an dieser Stelle geraten traditionelle Monitoring-Programme an ihre Grenzen: die oft sehr vereinfachten Methoden reichen nicht aus, um die natürliche Dynamik von Korallengemeinschaften und ihre Empfindlichkeit gegenüber verschiedenen Formen von Streß zu erfassen. Angesichts der Übernutzung unserer natürlichen Ressourcen und der weltweiten Klimaveränderung werden wir in den nächsten Jahrzehnten wohl kein gänzlich ungestörtes Riff mehr antreffen. Natürliche Referenzsysteme wären damit unwiderruflich verloren.

Bewertungen von Korallenriffen und Monitoringprogramme basieren bislang auf recht unspezifischen „Summenparametern“. Diese sind allerdings ohne Hintergrundinformationen meist wenig aussagekräftig. Als Beispiel sei die „Lebendbedeckung“ genannt, welche als leicht zu bestimmender Wert zum Standardprogramm gehört und oft mit dem allgemeinen Gesundheitszustand von Riffen gleichgesetzt wird. Es ist durchaus möglich, daß in einem gesunden Riff die Lebendbedeckung mit Steinkorallen gering sein kann und daß andererseits ein hoher Wert unter Umständen mit einer Artenverarmung einhergeht. So sind einige Riffe des südlichen Roten Meeres natürlicherweise von Algen dominiert oder zeigen Gebiete des zentralen Großen Barriereriffes erstaunlich hohe Anteile (bis 43 %) an unbesiedeltem, „nacktem“ Substrat (Sheppard, 1985). Eine Lebendbedeckung von 100 % ist als Ausnahmesituation zu betrachten! Wie Bedeckungsraten fernerhin interpretiert werden, zeigt folgendes Beispiel. Die ReefCheck-Presskonferenz (Hongkong, 16.10.1997) teilte mit, daß der durchschnittliche Anteil der Bedeckung mit lebenden Korallen in allen untersuchten Riffen bei 31 % liege; Korallen selbst erscheinen „weltweit in einem generell besseren Zustand als die Fische und Schalentiere“. In einer dpa-Meldung wird von „nur“ 31 % im Sinne von einem Drittel des Möglichen gesprochen. Die Verfasser von Artikeln zweier Nachrichtenmagazine gehen noch eine Schritt weiter und behaupten sogar, daß „zwei Drittel aller Korallen in den Weltmeeren abgestorben sind“. Keine der Darstellungen wird dem natürlichen Zustand gerecht!

Hiermit möchten wir auf keinen Fall die Notwendigkeit von Aktivitäten wie ReefCheck in Frage stellen (Michael Eisinger selbst war als Gruppenleiter von zwei ReefChecks in Ägypten tätig), sondern lediglich auf die Gefahr von Fehlinterpretationen hinweisen. Unspezifische Daten bergen darüber hinaus die Gefahr, zugunsten von ökonomischen Interessen bewußt falsch eingesetzt zu werden. Vermeintlich „positive“ Monitoring-Ergebnisse können so falsche Managementmaßnahmen nach sich ziehen. Ohne Zweifel leistete ReefCheck einen wichtigen Beitrag zur Umweltpädagogik und hat darüber hinaus auch vielen Nichttauchern einen ersten globalen Eindruck über den aktuellen Zustand der Riffe geben können.

Seit einigen Jahren versuchen wir Ergebnisse zur Langzeitdynamik von Riffgemeinschaften in neue Bewertungskonzepte umzusetzen, um so natürliche

Stressformen	Beispiele	Ursachen	Auswirkungen	Regenerationszeit (Schätzung)	Quellen (Auswahl)	
natürlich	Stürme, Zyklo- ne und Hurrikane	Hurrikan Allen 1980 in Karibik (v. a. Jamaika)	Korallenbruch bis in 15 m Tiefe	> 50 Jahre (wenn keine anderen Stressfaktoren hinzukommen)	Woodley et al. (1981)	
	Korallenbleichen	El Niño 1982/1983, v. a. Costa Rica, Panama und Galapagos	Verlust der Zooxanthellen, bei Fortdauer Massen- sterben	wenige Monate (z. T. ohne Ab- sterben von Kolonien) bis meh- rere Jahre	Brown & Odgen (1993), Glynn (1993)	
	Korallenkrank- heiten	Schwarzbandkrankheit	Absterben des Korallengewebes (Fortschreiten des Bandes um mehrere mm/Tag)	?	Antonius (1985)	
	Populationsaus- brüche von Ko- rallenfressern	Dornenkronen-Seestern <i>Acanthaster planci</i>	Kombination versch. Faktoren, wie Nährstoffeinträge über Flüsse und verringertter Räu- berdruck (?)	- 12 - 15 Jahre (bei Riffen mit schnellwüchsigen Arten) - > 50 Jahre (bei Riffen mit lang- samwachsenden Arten)	Done (1985)	
anthropogen	Massensterben von herbivoren Weidegängern	Diademseeigel <i>Diadema antillarum</i> , Karibik 1983	Verschiebung von ursprünglich korallen- zu algen- dominierten Riffgemeinschaften	> 100 Jahre? (Riffe oft gleichzeitig überfischt; nur langsame Erho- lung der <i>Diadema</i> -Bestände)	Lessios et al. (1984)	
	Sedimentation	Kaneohe Bay, Hawaii	unterschiedlich, je nach Riffhöhe, Hydrographie, Art des Sedimentes und Umfang der Sedimentfracht: - Verlust der Zooxanthellen (weniger Licht) - erhöhte Schleimproduktion - Absterben bei chronischer Belastung	wenige Monate bis mehrere Jahre, je nach Art und Dauer der Belastung	Rogers (1990)	
	Eutrophierung (Überdüngung)	Nordküste Jamaikas	- Abwassereinleitungen - Nährstoffeintrag aus Land- wirtschaft - Nährstoffeintrag aus Aqua- kultur	Veränderung der Riffgemeinschaft: - verminderte Steinkorallendiversität - Zunahme von filamentösen und Makroalgen - Reduktion des Skelettwachstums und des Fort- pflanzungserfolges	wenige Monate bis mehrere Jahre, je nach Art und Dauer der Belastung	Pastorak & Bilyard (1984)
	Överschmutzung	Överliadestationen (chronisch), Tankerunglücke	unterschiedlich, je nach Ölytp und Hydrographie: - Korallenbleichen, vermehrte Schleimproduktion - reduzierte Reproduktionsraten - Absterben von Kolonien (z. T. erhebliche Belastung durch Detergentienein- satz bei der Öltoppich-Bekämpfung)	10 - 20 Jahre	Loya & Rinkewich (1980)	
	Nutzung von Korallenkalk als Baumaterial	North Male Atoll (Malediven)	zunehmender Bedarf an Bau- material durch Bevölkerungsex- plosion und Tourismusboom	- signifikante Abnahme der Steinkorallenbedeckung und -diversität - Veränderung oder Verschwinden der assoziierten Fischgemeinschaften - erhöhte Bioerosion und Sedimentation und fol- gender Verlust der Wellenbrecherfunktion	sehr langsam durch Veränderung der Umweltbedingungen (erhöhte Sedimentation, Wellenex- position)	Brown & Dunne (1988)
	destruktive Fischerei- methoden, Überfischung	Dynamit- und Cyanid- fischerei, selektive Fischerei auf Topfläger und Aquarienfische	ökonomische Zwänge, er- höhte Nachfrage nach tropi- schen Aquarienfischen und lebenden Fischen für Gour- metrestaurants (v. a. in Südostasien)	- Korallenbruch und Destabilisierung des Unter- grundes - Vergiftung vieler Riffbewohner, Verminderung des Reproduktionspotentials - Veränderung der Artenzusammensetzung, Veralt- ung bei Überfischung von Pflanzenfressern	?	Craik et al. (1990), Birkeland (1997)
	Schäden durch Tauchtourismus	Ägypten, Malediven	mangelhafte Tauchausbil- dung, fehlende Ankerbojen	- Korallenbruch - erhöhte Resuspension von Sedimenten - Ankerschäden durch Tauchboote	?	Hawkins & Roberts (1993), Hutchings (1994), Carter (1990)

Tabelle: Belastung und Schädigung von Korallenriffen. Zusammenstellung der wichtigsten Stressformen natürlicher und anthropogener Art.

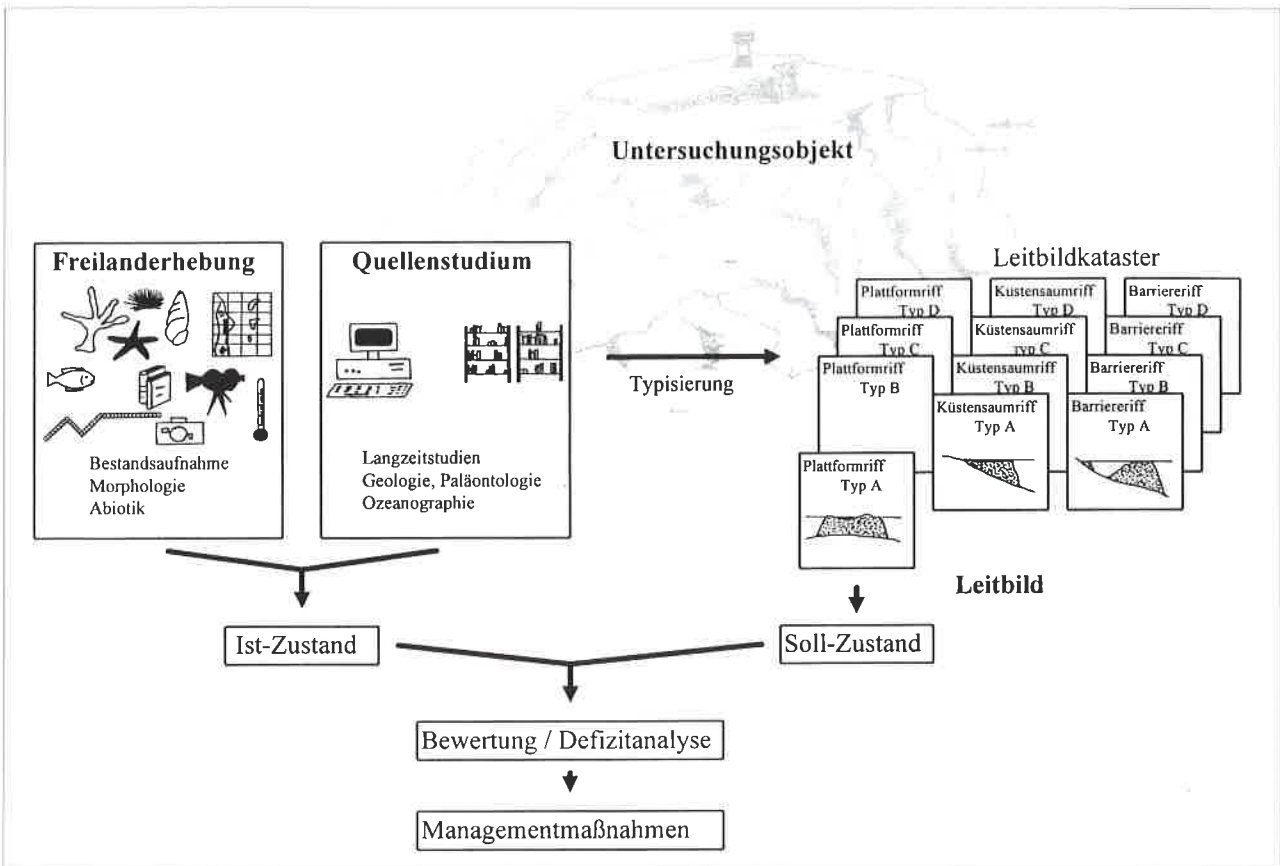


Abb. 6: Der Weg von der Analyse der Korallenriffgemeinschaft bis hin zu den möglichen Maßnahmen. Als Bewertungsgrundlage für den Gesundheitszustand des vorliegenden Riffs dient das entsprechende Leitbild, das mittels Freilanderhebung und Quellenstudium ermittelt wird.

Schwankungen von anthropogenen Störungen zu unterscheiden. Natürliche Absterbe- und Wiederbesiedlungsraten sind neben der Regenerationsfähigkeit von Kolonieresten ausschlaggebende Kenngrößen der Populationsdynamik riffbildender Korallenbestände. Die Fläche, die von hermatypischen (riffbildenden) und ahermatypischen (nicht-riffbildenden) Organismen besiedelt wird, sowie der Anteil an freiem Substrat ändert sich kontinuierlich. Das Ausmaß solcher Fluktuationen wurde von Mergner et al. (1994) und Schuhmacher et al. (1995) über einen Zeitraum von mehreren Jahren am Beispiel von zwei ausgewählten Riffen im mittleren und nördlichen Roten Meer (Sanganab-Atoll und Aqaba) dokumentiert. Günstigere Bedingungen (Licht, Temperatur, geringe Beweidung) führten am Sanganab-Atoll nach gelegentlich auftretenden natürlichen Störeinflüssen wie starken Frühjahrsstürmen zu höheren Wachstumsraten und somit zu einer schnelleren Regeneration als in Riffabschnitten vor Aqaba, wo die Wachstumsraten nur selten den „Besiedlungswiderstand“ überschreiten (Schuhmacher et al., 1995). Dieser umfaßt die Summe aller biotischen und abiotischen Einflüsse, die festsetzende Organismen an der erfolgreichen Wiederbesiedlung von freien Substratflächen hindern (z. B. Weidetätigkeit von Seeigeln, Ablagerung von Sedimenten). Ausschlaggebend für die ausbleibende bzw. langsame

Regeneration von Korallengemeinschaften in den Vorriffarealen von Aqaba war vor allem der ungewöhnlich hohe Weidedruck durch herbivore Fische und Seeigel, der im nördlichen Golf von Aqaba als Hauptfaktor bei der Strukturierung von Korallenriffgemeinschaften in Erscheinung tritt (Kroll, 1995; van Treeck et al., 1996).

Die Vielfalt von Riffgemeinschaften kann aufgrund von Unterschieden in ihrer biogeographischen Umgebung und geologischen Geschichte sehr hoch sein (Done et al., 1996). Nach einem Vorschlag von Kinsey (1988) können Riffe als „gesund“ eingestuft werden, wenn sie die kritischen Ökosystemfunktionen Photosynthese, Atmung und Kalzifikation innerhalb von festzusetzenden Grenzen zeigen, unabhängig von ihrer biologischen Zusammensetzung und Diversität. Doch wie können jetzt die unterschiedlichen Typen von Riffgemeinschaften definiert werden?

In der Ökologie der Binnengewässer, aber auch in der Pflanzensoziologie, ist das sogenannte Leitbild ein zentraler Begriff in der Diskussion um Bewertung und Renaturierung. Leitbilder repräsentieren die Charakteristika des potentiellen natürlichen Zustandes des Ökosystems unter Berücksichtigung regionaler biotischer und abiotischer Faktoren und liefern somit die Grundlage für Bewertungen, Schutzkonzepte und Entwicklungsplanungen. Das Institut für Ökologie an der Universität Essen hat mehrjährige Erfahrungen mit dem Leitbildkonzept gewonnen, bisher allerdings auf dem Gebiet der Fließwasserlimnologie. Aus der Erkenntnis heraus, daß die für Mittelgebirgsbäche entwickelte Typologie nicht problemlos auf Tieflandbäche übertragen werden kann, wurde für diese Ge-

wässer ein eigenes Bewertungs- und Planungskonzept entwickelt (z. B. „Leitbilder für Tieflandbäche in Nordrhein-Westfalen - Gewässerlandschaften und Fließgewässertypen im Flachland“, Timm & Sommerhäuser, 1993). Leitbilder sollen hierbei ermöglichen, Fließgewässer differenziert und den einzelnen Gewässerlandschaften und Naturräumen gemäß zu betrachten, gegebenenfalls gezielte Renaturierungsmaßnahmen zu entwickeln und die Abfolge von Planungsschritten vorzugeben. Das entsprechende Leitbild definiert den ökologischen Rahmen, vor welchem auch andere Planungsvorhaben auf ihre Umweltverträglichkeit hin beurteilt werden müssen. Vergleichende Freilandhebungen und Quellenstudien (z. B. über Geologie, Hydrologie und Chemismus des Gewässers, naturräumliche Beschreibungen der Lebensgemeinschaften) lassen das jeweilige Leitbild für einen konkreten Landschaftsraum entstehen. Dabei muß das Entwicklungsziel (Soll-Zustand) nicht notwendigerweise mit dem Leitbild deckungsgleich sein, da in der Praxis vielfach neben den ökologischen Funktionen auch andere Rahmenbedingungen und Ansprüche berücksichtigt werden müssen. Es sollte sich aber immer am Leitbild orientieren. Hierüber besteht in der limnologischen Planung inzwischen Konsens.

Im marinen Bereich mit seiner derzeit noch fast unkontrollierten Nutzung küstennaher Unterwasserlebensräume wurde bisher noch keine adäquate Schutz- und Planungsphilosophie entwickelt. Die langjährigen Erfahrungen mit den limnologisch ausgerichteten Konzepten sollen nun ausgenutzt und übertragen werden, um einen allgemein gültigen Bewertungsmaßstab für den ökologischen Status von Korallenriffgemeinschaften in verschiedenen Regionen und an verschiedenen Standorten zu erstellen und daraus einen Katalog von Leitbildern zu entwickeln (Abb. 6 und 7 - 9). Auch hier dürfen festgelegte Typologien nicht einfach allgemeingültig auf alle untersuchten Riffgemeinschaften übertragen werden. So kann die Korallengemeinschaft eines ausgedehnten Flachwasserhabitats nicht als Maßstab für die Bewertung der Besiedlung eines Steilabfalls dienen. Ferner müssen, in Anlehnung an landschaftsökologische Prinzipien

Abb. 7: Riffkante und Riffhang mit klassischer Zonierung. Steinkorallen dominieren in den Besiedlergemeinschaften (Safaga, Ägypten).



Abb. 8: Weichkorallendominiertes Riff. Kolonierasen von *Xenia umbellata* bedecken ausgedehnte Areale im Riffhang südlich von Aqaba.

auf dem Land, Wege gefunden werden, verschiedene ökonomische und soziale Bedürfnisse im Einklang mit den ökologischen Prozessen in einer umfassenden „Unterwasserlandschaftsökologie“ zu verknüpfen.

Riff-Rehabilitation und andere Konzepte des aktiven Riffschutzes

Während einerseits das Bewußtsein der Bedeutung der Riffe immer breiter wird, schreitet andererseits ihre Zerstörung aufgrund des massiven Nutzungsdrucks auf die tropischen Küstenregionen verstärkt fort (Brown, 1988; Wilkinson, 1993). Vielerorts besteht akuter Handlungsbedarf, um großflächig gestrebte Riffgebiete zumindest auf dem Status der Entwicklungsfähigkeit zu erhalten. Maßnahmen zum Schutz und nachhaltigen Management kommen oft zu spät. Das - im Detail noch zu entwickelnde - Leitbildkonzept soll ermöglichen, Defizite in der Ausprägung der jeweiligen Riffgemeinschaft früh zu erkennen und gezielte Schritte zur Besserung einzuleiten. Hilfreich erscheint dabei ein neuartiges Verfahren, welches die

Abb. 9: Algendominiertes Riff im südlichen Roten Meer (vor allem *Sargassum* sp.).



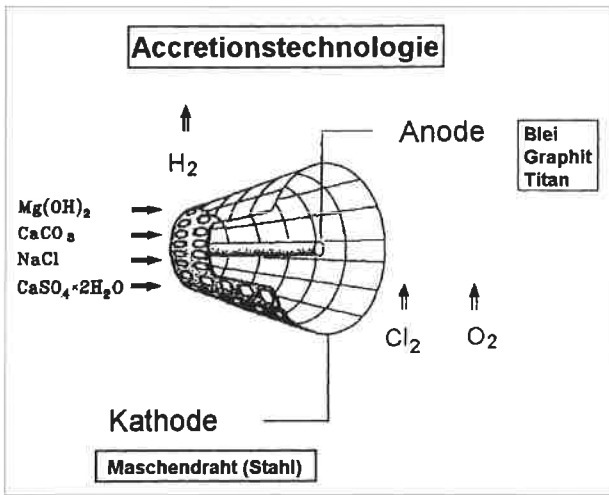


Abb. 10: Prinzip der kathodischen Mineralakkretion auf einer vorgeformten Matrix aus Maschendraht im Seewasser.

Wiederbesiedlung degradierter Riffbereiche erheblich beschleunigen kann. Nachdem Modellversuche in verschiedenen Meeren und Riffen (Hilbertz et al., 1977; Meyer & Schuhmacher, 1993; Schuhmacher & Schillak, 1994) vielversprechend verlaufen sind, soll dieses Verfahren hier näher vorgestellt werden.

Künstliche Riffe durch elektrolytische Mineralakkretion im Meerwasser

Die Methode basiert auf einem eleganten Verfahren von Wolf Hilbertz (Hilbertz, 1988, 1992). Die in Meerwasser reichlich gelösten Kalzium- und Magnesiumionen können bei Anlegen eines Gleichstromes an einer Kathode niedergeschlagen werden (Abb. 10). Es entstehen harte Krusten: in erster Linie Brucit ($Mg(OH)_2$) und Aragonit ($CaCO_3$). Sie stellen ökologisch unbedenkliche und kostengünstige Materialien für Unterwasserbauten dar, sofern die Kathode (z. B. Maschendraht), an der sie zur Abscheidung gebracht werden, entsprechend günstig vorgeformt ist.

Abb. 11: Besiedlung durch Steinkorallen auf einem elektrochemisch erzeugten Testkörper nach eineinhalb Jahren.



Der Vorteil solcher elektrochemisch geschaffener Hartstrukturen gegenüber konventionell hergestellten Unterwasser-Körpern (z. B. aus Beton, Stahl) sind:

- es müssen keine milieufremden Rohstoffe und vorgefertigten Teilen über lange Transportwege herbeigeschafft werden;
- ein Schaden an der UW-Konstruktion kann durch erneutes Anlegen eines Stromes repariert werden;
- bei Bedarf läßt sich die Anlage als Ganzes durch Umpolung des Stromes wiederauflösen.

Die elektrochemisch erzeugten Krusten lassen sich durch biogen gebildete Kalkmaterialien verstärken und vermehren. Auf einem „primer“, aus Aragonit und Brucit siedeln rasch kalkskelettbildende Tiere und Algen. Das von diesen Organismen geschaffene Gerüstwerk läßt sich durch erneute elektrochemische Präzipitation verzementieren. Der resultierende Verbundwerkstoff ist gänzlich aus dem Meerwasser gewonnen. Er wird im Gegensatz zu Fremdmaterialien unmittelbar von einer Vielzahl festhaftender Arten - auch Korallen - besiedelt (Abb. 11).

Die bisherigen Erfahrungen lassen den Einsatz der Akkretionstechnik für die Errichtung künstlicher Riffstrukturen, vereint mit regenerativen Energien, als ideale Anwendung erscheinen. Die Vorteile ökologisch unbedenklicher Baumaterialien, Verzementierung mit dem natürlichen Substrat eines Korallenriffs und die Bereitstellung quasi-natürlicher Substratflächen zur Besiedlung durch standorttypische Fauna werden bei der skizzierten Technik vereint.

Korallentransplantation - Initialzündung der Wiederbesiedlung

Das Besiedlungspotential von noch intakten Riffen reicht leider nicht immer aus, um ausreichend Larven für die Rekolonisierung der oft großflächig geschädigten Areale zur Verfügung zu stellen. Widrige Meeresströmungen können ganze Riffe praktisch isolieren, so daß auch Jahrzehnte nach einem Zusammenbrechen der Population noch keine Pioniere auf den verödeten Flächen angesiedelt sind. Andererseits können selbst bei gutem Larvenangebot starke Weideaktivitäten, beispielsweise durch Fische oder Seeigel, die erfolgreiche Rückeroberung durch Steinkorallen verhindern oder zumindest stark verzögern (vgl. van Treeck et al., 1996). In diesen Fällen kann die Transplantation von lebenden Korallenkolonien eine geeignete erste Rehabilitationsmaßnahme sein (Clark & Edwards, 1995; Rinkevich, 1995).

Neben der Transplantation von ausgewachsenen Korallenkolonien konnten wir eine Methode entwickeln, auch kleine Steinkorallen-„Setzlinge“ erfolgreich (Abb. 12) auf die künstlichen Strukturen zu transplantieren und so zum einen eine Entwicklung dieser Strukturen in Richtung echter, d.h. selbstwachsender Riffstrukturen zu beschleunigen und darüber hinaus Korallen vegetativ zu vermehren (van Treeck & Schuhmacher, 1997). Die Verzementierung der Steinkorallenfragmente geschieht simultan mit der elektrochemischen Erzeugung der Strukturen (Abb. 13, 14).

Die Transplantation von Setzlingen verkürzt die Zeit der Etablierung einer standortgerechten Korallengemeinschaft in ehemals von Korallen besiedelten Gebieten um Jahre bis Jahrzehnte.

Das in beliebiger Form herstellbare Riffgerüst und die schnelle Transplantationsmethode sind der Schlüssel, in großem Maßstab die praktische Rehabilitation von Riffen anzugehen und rasch - d.h. binnen eines Jahrzehntes - Inseln sich selbst erhaltender und vermehrender Korallen- bzw. Riffgemeinschaften zu etablieren. Diese Besiedlungsinselformen sollen als Quelle von Larven großflächig zur Bestandserhöhung von Korallen und assoziierten Tieren dienen und als Trittsteine zur Ausbreitung und „Wiederaufforstung“ von Riffgemeinschaften beitragen, inklusive wirtschaftlich interessanter Begleitfauna wie Fische und Schalentiere. Wie bei einem Aufforstungsprogramm in der Waldwirtschaft sind zunächst „Korallen-Baumschulen“ einzurichten, da die Setzlinge nicht aus dem natürlichen Habitat entnommen werden sollten.

Die Anzucht und Vermehrung in (elektrochemisch) geeignet gestalteten Unterwasser-Kulturanlagen sind also notwendige Begleitmaßnahmen zum beschleunigten Aufbau lebender Riffinseln.

SCORE (save coral reefs) -

Konzept zum Schutz natürlicher Riffe durch Schaffung alternativer Erlebnisräume für Taucher

Wie bereits am Beispiel des Roten Meeres exemplarisch erwähnt, hat sich der Massentauchtourismus in den letzten Jahren an vielen Orten (und zwar besonders an den biologisch interessantesten) zu einem bedeutenden Streßfaktor entwickelt, der in Bezug auf seine Auswirkungen auf das Ökosystem Korallenriff stellenweise alle anderen Faktoren weit übertreffen kann (z. B. Carter, 1990). Der Tauchsportboom ist ungebrochen und Millionen von Cousteau- Enkeln erobern Jahr für Jahr die Riffe der tropischen Drittweltstaaten (allein in Deutschland werden pro Jahr über 20.000 neue Lizenzen ausgestellt). Die einstige Indivi-

Abb. 12: Taucher bei der Installation von Versuchsflächen auf der Strandungsstelle eines Schiffes bei Aqaba, deren Korallenbestand sich auch nach fünf Jahren nicht regeneriert hatte. Die rechte Teilfläche wurde bereits mit adulten Kolonien bestückt.

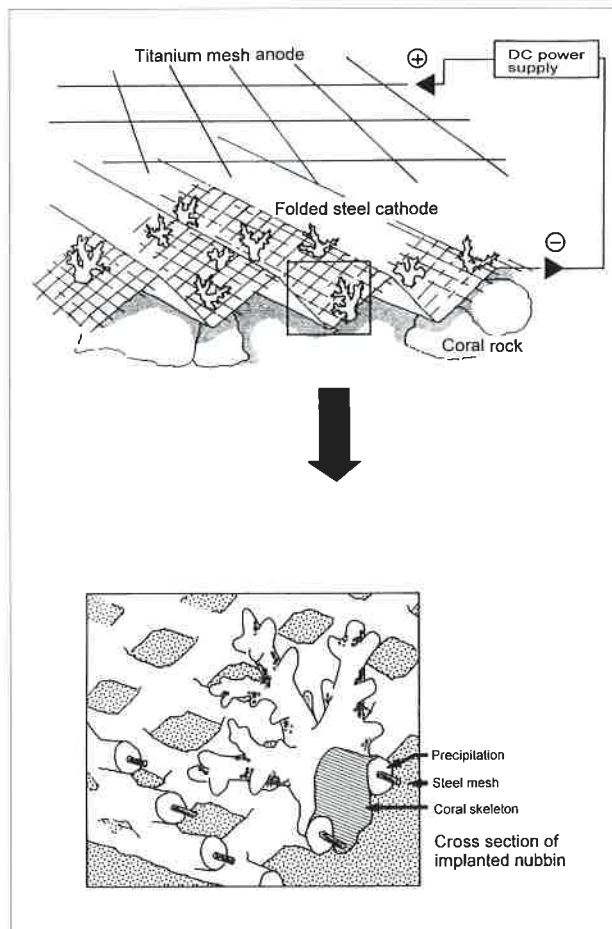


Abb. 13: Prinzip der Transplantation von Steinkorallenfragmenten mit Hilfe der Akkretionstechnologie.

dualsportart mutierte zum Volkssport mit der Folge, daß die ökologisch vertretbare Kapazität an Tauchtourismus vielerorts deutlich überschritten wurde (Hawkins & Roberts 1993). Selbst guter Wille und ausreichende Ausbildung schützen nicht vor Flurschaden im „Porzellanladen der Natur“.

Lobenswerte Initiativen von Tauchsportverbänden und auch Tauchsportanbietern wie die Aufnahme ökologischer Inhalte in die Tauchausbildung, das Setzen von Dauerbojen und ein breites Angebot an Weiterbildungsseminaren konnten zwar lokale Schädigungen verlangsamen, waren aber nicht geeignet, den „Verbrauch“ ungestörter Riffgebiete nachhaltig zu stoppen - Teilerfolge werden durch den weiterhin ungebremsten Ansturm der Tauchsportbegeisterten im wahrsten Sinne des Wortes überrannt. Laut Fishelson (1995) wird das Korallenriff vor Eilat (nördliches Rotes Meer) von täglich zwei Tauchern pro Meter Riff bevölkert, eine unglaubliche Zahl angesichts der geringen Breite des dortigen Saumriffs (maximal 50 m).

Daneben erschwert die ökonomische Abhängigkeit vieler Entwicklungsländer vom Tauchtourismus die Durchsetzung restriktiver Schutzmaßnahmen vor Ort. Die Maximalforderung von Riffökologen und Umweltschützern, den Tourismus drastisch zu reduzieren und besonders schützenswerte Gebiete völlig aus der Nutzung auszuklammern, ist vielerorts nicht realisierbar, da alternative touristische Attraktionen fehlen.

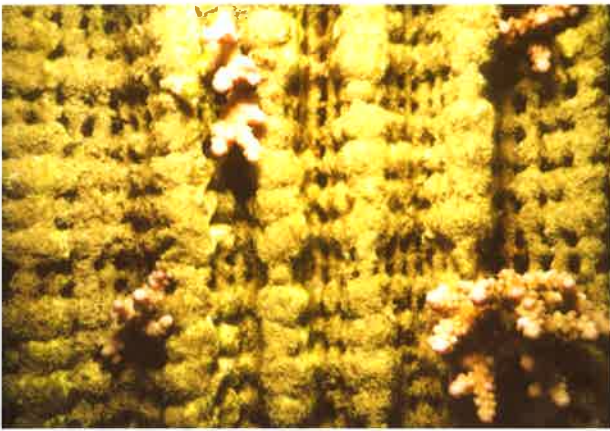


Abb. 14: Transplantierte Fragmente der Steinkoralle *Acropora variabilis* auf einem elektrochemisch erzeugten Hartsubstrat.

Langfristig scheinen daher nur solche Konzepte Aussicht auf Erfolg zu haben, die neben dem Schutz der Riffe auch Alternativen als Ausgleich für Nutzungseinschränkungen bieten und somit ein ökologisch verträgliches Miteinander von Sporttaucherei und Umweltschutz erlauben. Vor diesem Hintergrund und auf der Basis unserer Erfahrungen mit künstlichen Riffen wird im folgenden ein Konzept zur Schaffung alternativer Erlebnisräume SCORE (save coral reefs) entwickelt (van Treeck & Schuhmacher i.Dr.).

Abb. 15: Besiedlung der Aufbauten des Schiffswracks „Cedar Pride“ bei Aqaba (Rotes Meer).



Abb. 16: Das Modell eines Schulungsmoduls aus nicht mehr genutzten Kranteilen vor einer Rifflandschaft.

Die große Popularität von Wracks als Tauchziel zeigt, daß viele Ansprüche von Sporttauchern an eine Unterwasserlandschaft auch von künstlichen Strukturen erfüllt werden können. Künstliche Unterwasserparks könnten daher eine Option darstellen, die Tauchtourismus ermöglicht, ohne dabei auf natürliche Riffe angewiesen zu sein.

Durch Installation von geeigneten Strukturen in ökologisch unbedenklichen Gebieten (z. B. auf Sandflächen oder bereits stark geschädigten Arealen) können an vielen Orten taucherisch, biologisch und ästhetisch ansprechende Alternativen zu natürlichen Korallenriffen geschaffen werden. Durch das Zusammenspiel von speziell auf die Bedürfnisse des Tauchsports zugeschnittenem Design und der Bereitstellung von adäquaten Besiedlungsflächen entstehen belebte, selbstwachsende Strukturen, die nicht nur einer Vielzahl von taucherischen Ansprüchen in idealer Weise entsprechen, sondern auch zum Lebensraum vieler Rifforganismen werden.

Der SCORE-Park sollte an einem Ort eine Vielzahl unterschiedlicher Nutzungsmöglichkeiten vereinen - als allgemeiner Erlebnisraum, aber auch für Training, Schulung und Umweltpädagogik. Entsprechende Anlagen sollten natürlich auch Ansprüchen der Ökologie, Sicherheit und Ästhetik genügen. Um diesem breiten Spektrum gerecht zu werden, sieht das SCORE-Konzept die Installation einzelner Module vor, die ihren spezifischen Aufgaben entsprechend gestaltet werden und miteinander kombiniert werden können. Ein SCORE-Park besteht je nach gewünschter Bandbreite des Angebotes aus unterschiedlich vielen Modulen. Einige Typen von Modulen sollen exemplarisch vorgestellt werden.

Das **Erlebnismodul** ist eine große raumgreifende Struktur mit der Option, diese innen und außen zu erkunden. Dieses Modul soll primär dazu dienen, den unterschiedlichen Ansprüchen an die explorativen und koordinativen Fähigkeiten des Tauchers durch die Schaffung einer Erlebnislandschaft zu entsprechen. Darüber hinaus können unterschiedliche Habi-

tate zur Spontanansiedlung ortstypischer Organismen gestaltet werden. Denkbar wäre ein mittelgroßes Wrack, welches elektrochemisch überkrustet wird; es könnte auch in ästhetischer Hinsicht die Attraktion der Gesamtanlage darstellen (Abb. 15).

Das Schulungsmodul ist die abstrakteste Einheit und speziell auf die Schulung und Weiterbildung von Sporttauchern zugeschnitten. Die Simulation von Notfallsituationen, Suchaktionen (rescue diver) sowie Schulung für das Tauchen unter erschwerten Bedingungen sind denkbar. Das Trainingsmodul verfügt über Plattformen für das An- und Ablegen von Preßlufttauchgeräten, Peilungspunkte in entsprechender Entfernung für Orientierungstauchen sowie über einige mobile Gegenstände für Bergeübungen. Als die zentrale Einheit, in deren Nähe auch die Boje für die Verankerung der Tauchboote plaziert sein sollte, fungiert das Prüfungsmodul als Ein- und Ausstieg in den Park sowie als Sammelplatz und für Dekompressionsstationen (Abb. 16).

Naturnäher gestaltet ist das **Renaturierungsmodul**. Versucht wird eine möglichst naturnahe Integration der künstlichen Elemente in die genuine Unterwasserlandschaft. Das Renaturierungsmodul bietet Möglichkeiten für UW-Fotografie und biologische Schulung. Im Gegensatz zu den vorhergehenden Modultypen hat die Wiederansiedlung von typischen Rifforganismen Priorität vor der Nutzung durch Sporttaucher. Dieses Modul steht nur für „nicht schädigende Aktivitäten“ zur Verfügung. Ein markierter Unterwasserlehrpfad kann die einzelnen Elemente des Parks architektonisch verbinden. Ein solches **umweltpädagogisches Modul** schult die Aufmerksamkeit für bemerkenswerte Phänomene und macht vertraut mit den wichtigsten Faunen- und Florenelementen.

Die einzelnen Module zeichnen sich durch abgestufte „Naturnähe“ aus. Einheiten, die starkem Druck ausgesetzt sind, werden vornehmlich nach sporttaucherischen Gesichtspunkten entwickelt, mit zunehmender Umsetzung umweltpädagogischer Ziele muß die Nutzung entsprechend eingeschränkt werden. Das Ziel sind attraktive, funktionsgerechte Bedingungen für die verschiedenen Aspekte der Taucherei auf engem Raum. Der Sporttaucher wird dazu angehalten, seine taucherischen Aktivitäten den lokalen Rahmenbedingungen anzupassen und nicht, wie bisher leider die Regel, umgekehrt.

Alle Strukturen des Parks werden nach dem oben dargestellten elektrochemischen Verfahren mit einer Kruste aus Kalkmineralien überzogen und so in ein naturnahes, besiedlungsfreundliches Substrat verwandelt. Diese Karbonatschicht verhindert zudem weitgehend die Korrosion der Stahlmatrix. Falls erforderlich, können einzelne Bereiche der Module mit Korallenfragmenten bestückt werden. Die modulare Konzeption ermöglicht die sukzessive Integration weiterer Elemente in den Gesamtkomplex. Die für den Aufbau nötigen Kapazitäten können daher relativ klein dimensioniert sein, aber über einen längeren Zeitraum genutzt und soweit als möglich wiederverwendet werden. Die Wirkung eines SCORE-Parks (Abb. 17 - 19)

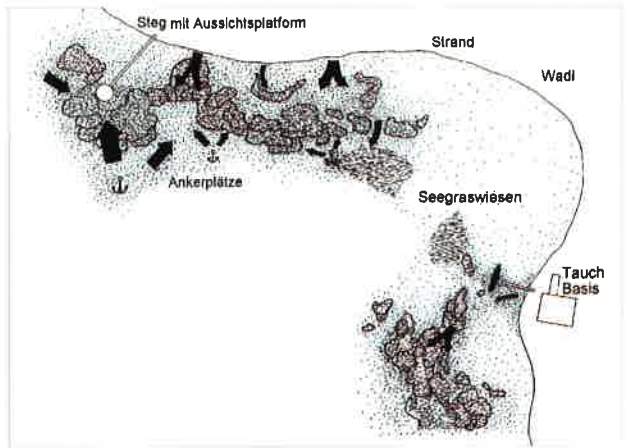


Abb. 17: Karte einer „typischen“, als Tauchziel genutzten Bucht; die Punktierung und die Pfeile zeigen den Nutzungsdruck an.

Abb. 18 (unten): Karte derselben Bucht nach der Installation verschiedener Module eines SCORE-Parks.

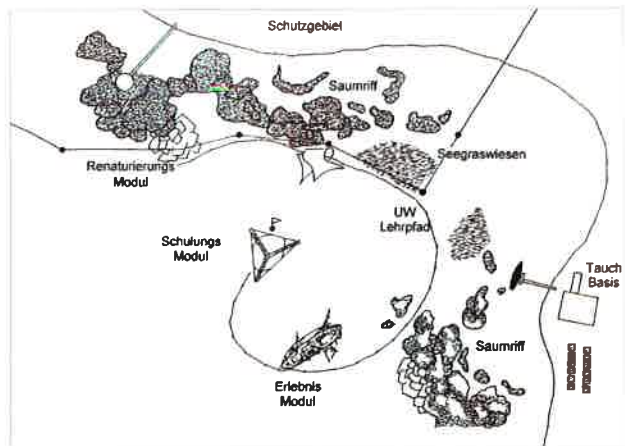
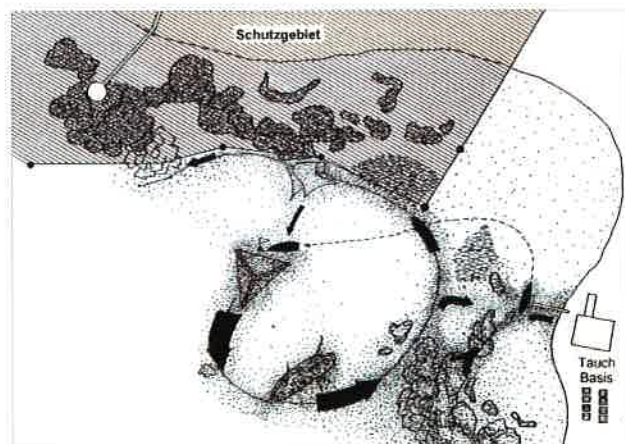


Abb. 19 (unten): Wirkungsweise des SCORE-Parks. Die Aktivitäten konzentrieren sich auf die Module des Parks. Die Bucht kann nach wie vor für Sporttaucherei genutzt werden, obwohl ein guter Teil unter Schutz gestellt wurde.



läge in der Minimierung der Nutzungsdruckes auf natürliche Riffe. Ein großer Teil der sporttaucherischen Ansprüche kann durch diese künstlichen Strukturen ebenso zufriedengestellt werden wie durch natürliche, aber fragile Riffe.

Neben dem direkten Nutzen für den Naturschutz durch Reduktion des Tauchaufkommens in natürlichen Riffen werden mittelfristig positive Effekte in Bezug auf Renaturierungsaspekte, Tauchausbildung und umweltpädagogische Ziele erwartet. Unterwasserparks, richtig betrieben, können ein Beitrag in Richtung des „sanften Tourismus“ mit nachhaltigen Erwerbsmöglichkeiten für die lokale Bevölkerung sein.

Die Zukunftsaussichten sind für viele Korallenriffe düster. Es bleibt zu hoffen, daß das wachsende Problembewußtsein sich nicht nur in Lippenbekenntnissen erschöpft, sondern daß die Erben von Hass und Cousteau die allmählich verfügbaren Technologien nachhaltig zum Schutz der bedrohten Unterwasserparadiese einsetzen. Das vergangene „Internationale Jahr des Riffs“ wird dieses Jahr vom „Internationalen Jahr des Ozeans“ abgelöst. Es mangelt also nicht an Anstößen, tätig zu werden.

Literatur:

- Antonius, A. (1985): Coral diseases in the Indo-Pacific: a first record. *P. S. Z. N. I. Mar. Ecol.*, 6: 197 - 218.
- Birkeland, C. (1997): Life and death of coral reefs. Chapman & Hall, New York. 536 S.
- Brown, B. E. (1988): World-wide death of corals: natural cyclic events or man made pollution? *Mar. Pollut. Bull.* 18: 9 - 13.
- Brown, B. & R. P. Dunne (1988): The impact of coral mining on coral reefs in the Maldives. *Env. Conserv.*, 15: 159 - 165.
- Brown, B. & J. C. Odgen. (1992): Coral bleaching. *Sci. Amer.*, 268: 64 - 72.
- Carter, R. W. (1990): The recreational use and abuse of the coastline of Florida. In: Fabbri F. (Ed.): Recreational uses of coastal areas. Kluwer Academic Publications, Amsterdam: 3 - 17.
- Clark, S. & A. Edwards (1995): Coral transplantation as an aid to reef rehabilitation: evaluation of a case study in the Maldive Islands. *Coral Reefs*, 14: 201 - 213.
- Craik, W., R. Kenchington & G. Kelleher (1990): Coral-reef management. In: Dubinsky, Z. (Ed.): *Coral Reefs Elsevier.*, New York. 550 S.
- Done, T. J. (1985): Effects of two *Acanthaster* outbreaks on coral reef community structure: the meaning of devastation. *Proc. 5th Internat. Coral Reef Congr.*, Tahiti 5: 315 - 320.
- Done, T. J., J. C. Odgen, W. J. Wiebe & B. R. Rosen (1996): Biodiversity And Ecosystem Function Of Coral Reefs. In: Mooney, H. A., J. H. Cushman, E. Medina, O. E. Sala & E.-D. Schulze (Eds): *Functional Roles of Biodiversity: A Global Perspective.* John Wiley & Sons Ltd.
- Fishelson, L. (1995): Eilat littoral: Life on the red line of biodegradation. *Isr. J. Zool.*, 41: 43 - 55.
- Grigg, R. W. & Dollar, S. J. (1990): Natural and anthropogenic disturbance on coral reefs. In: Dubinsky, Z. (Ed.): *Ecosystems of the world 25: Coral reefs.* Elsevier, Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo: 439 - 452.
- Hawkins, J. P. & M. R. Roberts (1993): Can Egypt's coral reefs support ambitious plans for diving tourism? *Proc. 7th Int. coral reef Symp.*, 2: 1007 - 1013.
- Hilbertz, W. (1988): Growing and fading structures: experiments, applications, ideas. *Mitt. Sonderforschungsbe- reich 230 „Natürliche Konstruktionen - Leichtbau in Architektur und Natur“*, 2: 107 - 114.
- Hilbertz, W., D. Fletcher & C. Krause (1977): Mineral accretion technology: applications for architecture and aquaculture. *Industr. Forum*, 8: 75 - 84.
- Lessios, H. A., D. R. Robertson & J. D. Cubit (1984): Spread of *Diadema* mass mortality through the Caribbean. *Science*, 226: 335 - 337.
- Kinsey, D. W. (1988): Coral reef system response natural and anthropogenic stresses. *Galaxea* 7: 113 - 128.
- Kroll, D. (1995): Bioerosion by grazing *Diadema* sea urchins. In: Dullo, W.-C., M. Gektidis, S. Golubic, G. A. Heiss, H. Kampmann, W. Kiene, D. K. Kroll, L. M. Kuhrau, G. Radtke, G. B. Reinicke, D. Schlichter, H. Schuhmacher & K. Vogel (1995): Factors Controlling Holocene Reef Growth: An Interdisciplinary Approach. *Facies* 32: 145 - 188.
- Loya, Y. & B. Rinkevich (1980): Effects of oil pollution on coral reef communities. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 3: 167 - 180.
- Mergner, H., H. Schuhmacher & D. Kroll (1994): Longterm changes in the coral community of a fore reef area near Aqaba (Red Sea): 1976 - 1989. *Proc. 7th Int. Coral Reef Symp. Guam*, Vol. 2: 104 - 113.
- Meyer, D. E. & H. Schuhmacher (1993): Ökologisch verträgliche Bauprozesse im Meerwasser. *Geowissenschaften* 11: 408 - 412.
- Pastorak, R. A. & G. R. Bilyard (1985): Effects of sewage pollution on coral reef communities. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 21: 175 - 189.
- Rinkevich, B. (1995): Restoration strategies for coral reefs damaged by recreational activities: The use of sexual and asexual recruits. *Restoration Ecology*, 3: 241 - 251.
- Rogers, C. S. (1990): Responses of coral reefs and reef organisms to sedimentation. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 62: 185 - 202.
- Schuhmacher, H. & L. Schillak (1994): Integrated electrochemical and biogenic deposition of hard material - a nature-like colonization substrate. *Bull. Mar. Sci.* 55: 672 - 679.
- Schuhmacher, H., D. K. Kroll & G. B. Reinicke (1995): Long-term fluctuations of coral communities at Aqaba and on Sanganeb-Atoll (northern and central Red Sea) over more than a decade. *Beitr. Paläont.* 20: 89 - 97.
- Sheppard, C. R. C. (1985): Unoccupied substrate in the central Great Barrier Reef: role of coral interaction. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 25: 259 - 268.
- Timm, T. & M. Sommerhäuser (1993): Bachtypen im Naturraum Niederrheinische Sandplatten - Ein Beitrag zur Typologie der Fließgewässer des Tieflandes. *Limnologica*, 23: 381 - 394.
- van Treeck, P., H. Schuhmacher & M. Paster (1996): Grazing and bioerosion by herbivorous fishes - Key processes structuring coral reef communities. In: Reitner J., F. Neuweiler, F. Gunkel (Eds) *Göttinger Arb. Geol. Paläont.* Sb2: 133 - 137.
- van Treeck, P. & H. Schuhmacher (1997): Initial survival of coral nubbins transplanted by a new coral transplantation technology. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 150: 287 - 292.
- van Treeck, P. & H. Schuhmacher (in Druck): Artificial reefs created by electrolysis and coral transplantation - an approach ensuring the compatibility of environmental protection and diving tourism. *Estuarine, Coastal and Shelf Science.*
- van Treeck, P. & H. Schuhmacher (in Druck): Mass diving tourism - a new dimension calls for new management approaches. *Mar. Poll. Bull.*
- Wilkinson, C. R. (1993): Coral reefs of the worlds are facing Widespread Devastation: Can we prevent this through sustainable management practices? *Proc. 7th Int. Coral Reef Symp.*, Guam, Vol.1: 11 - 20.
- Woodley, J. D., E. A. Chornesky, P. A. Clifford, J. B. C. Jackson, L. S. Kaufman, N. Knowlton, J. C. Lang, M. P. Pearson, J. P. Porter, M. C. Rooney, K. W. Rylaarsdam, V. J. Tunnicliffe, C. M. Wahle, J. L. Wulff, A. S. G. Curtis, M. D. Dallmeyer, B. P. Jupp, M. A. R. Koehl, J. Neigel & E. M. Sides (1981). Hurricane Allen's impact on Jamaican coral reefs. *Science*, 214: 749 - 754.



Abb. 1: Kolorierte Zeichnung eines idealisierten Riffes von J. Walther (1888).

Deutsche Rifforschung im Roten Meer

H. Mergner

Viele erdgeschichtliche Besonderheiten des Roten Meeres, z. B. seine Entstehung als Bruchgraben (sogenannter „Erythräischer Graben“) zwischen den Landmassen NO-Afrikas und Arabiens, vor allem aber seine Lage als europanächstes Korallenmeer und seine Bedeutung als kürzester Seeweg nach Indien haben schon frühzeitig und vielfältig Anreize zu seiner Erforschung gegeben.

Als erster Wissenschaftler in der neuzeitlichen Erforschungsgeschichte führte der schwedische Zoologe Petrus Forsskål eine dreijährige Expedition (1761 bis 1763) an die Ostküste des Roten Meeres bei Jeddah, Al-Lubbayyah und Al-Mukha und sammelte u. a. Pflanzen, Korallen, Insekten, Amphibien, Vögel, vor allem aber Fische. Nach seinem Tod durch Malaria im Alter von 31 Jahren 1763 in Yarim/Jemen brachte Carsten Niebuhr, einziges überlebendes Mitglied der sechsköpfigen Expedition, das gesammelte Material zurück nach Kopenhagen und veröffentlichte 1775 viele von Forsskåls Beschreibungen. Einige Jahrzehnte später, im Zusammenhang mit Napoleons Feldzug nach Ägypten, sammelten Begleiter von 1798 bis 1801 nicht nur Kulturgüter, sondern auch exotische Pflanzen und Tiere, darunter auch aus dem Roten Meer. Die Beschreibungen erfolgten später durch Lamarck, Saint-Hilaire und andere.

Bei der wissenschaftlichen Erforschung des Roten Meeres im 19. Jh. sind vor allem deutsche Forscher zu nennen. So entsandte die Berliner Akademie 1820 eine wohl vorbereitete Orientexpedition unter Führung von Christian Gottfried Ehrenberg und Friedrich Wilhelm Hemprich, um breite zoologische Aufsammlungen und naturkundliche Beobachtungen zu machen. Die Riffe des Roten Meeres wurden dabei an der Sinaiküste, in der Umgebung von Jeddah und bei Massawa untersucht. Von der elfköpfigen Reisegruppe erlagen neun den Strapazen und Krankheiten, so auch Hemprich, der 1825 in Massawa an Malaria starb. Ehrenberg hingegen kehrte nach Berlin zurück: mit einer außerordentlich reichen Ausbeute von insgesamt 34.000 Tieren aus 3.987 Arten, darunter einer Fischsammlung mit mehr als 500 Arten und 46.000 Pflanzen aus 2.900 Arten, die von zahlreichen Spezialisten weiter bearbeitet wurden. Ehrenberg selbst veröffentlichte seine reichhaltigen Anthozoen- und Korallenaufsammlungen 1834 in den „Beiträgen zur physiologischen Kenntniß der Corallenthiere im allgemeinen, und besonders des rothen Meeres, nebst einem Versuch zur physiologischen Systematik derselben“. Im gleichen Jahr erschien von demselben Autor auch die wichtige Schrift „Über die Natur und Bildung der Corallenbänke des rothen Meeres“, die - noch vor Darwin - sich mit der Riffbildung auseinandersetzte.

Annähernd zur gleichen Zeit begann Eduard Rüppell im Auftrage der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft mit dem Aufsammeln von marinen Wirbellosen und Fischen nahe Et Tor auf der Halbinsel Sinai (1826) und anschließend bei Jeddah und Massawa, von denen er 161 Arten, darunter 75 neue, 1826 beschrieb. Nach seiner zweiten Reise zwischen 1831 und 1833 nach Suez, Jeddah und Massawa veröffentlichte er eine weitere Liste vom Roten Meer mit 351 Fischarten (1835). Der nächste berühmte Zoologe war Carl Benjamin Klunzinger, ein deutscher Arzt. Er lernte zunächst Arabisch, bevor er ab 1864 in türkische Dienste als Militärarzt trat. Er studierte in der Umgebung seines Standortes Kosseir die örtlichen Korallenriffe und sammelte bis 1869 Korallen, Fische und vielerlei Invertebraten wie Mollusken und Echinodermen und schrieb nach seiner Rückkehr sein wichtigstes Werk „Synopsis der Fische des Roten Meeres“ (1870 - 71), das zum Standardwerk über die Fische des Roten Meeres wurde (von Klausewitz 1964 als Nachdruck wieder zugänglich gemacht). Dann kehrte er für weitere drei Jahre nach Kosseir zurück und machte hier nun die weltweit ersten Studien über die Ausbildung unterschiedlicher Zonen auf den Riffplateaus entlang der Küste entsprechend ihrer Besiedlung, wobei er deren Zusammensetzung mit dem Ausmaß von Wasserbedeckung und Wasserbewegung in Zusammenhang brachte. So unterschied er bereits eine „*Stylophora*-Zone“ (Klunzinger, 1872), deren Berechtigung noch heute anerkannt werden muß. Er darf daher mit gutem Grund als Begründer der deskriptiven Riffökologie angesehen werden. Später folgten noch weitere Monographien über andere Tiergruppen des Riffs, wobei die wichtigsten davon drei Bände über „Die Korallthiere des Rothen Meeres“ sowie Arbeiten über „Die Rund- und Spitzmundkrabben des Rothen Meeres“ sind.

Es entsprach dem Zeitgeist, die Artenkenntnis durch möglichst reichhaltige Aufsammlungen, vor allem von Fischarten, aber auch von Korallen und anderen niederen Tieren wie Mollusken und Echinodermen, zu mehren. Ehrenberg und Klunzinger waren die ersten Forscher, die sich darüber hinaus auch mit deren Lebensräumen befaßten, den überall an den Küsten gegenwärtigen Korallenriffen: Erste Zeugnisse dessen waren Ehrenberg's Beschreibung „Über die Natur und Bildung der Corallenbänke des rothen Meeres“ (1834) und Klunzinger's ökologische Beobachtungen an den Riffen bei Kosseir und seine Diskussion der biophysigraphischen Zonierung in seiner großartigen Beschreibung „Zoologische Excursion auf ein Korallenriff des Rothen Meeres bei Kossér“ (1872).

Der Einfluß dieser beiden deutschen Forscher auf die Entwicklung der Rifforschung war bedeutend: Ehrenberg, der nahezu das ganze Rote Meer bereist hatte, lieferte neben der Beschreibung von 62 Korallenarten trotz Fehlens moderner Unterwasserbeobachtungs- und Bohrtechniken doch zahlreiche Resultate, von denen manche noch heute Bestand haben. Er sah freilich Korallenriffe nur auf flachen Meeresgebieten gründen oder als Saumriffe um Vulkaninseln, während ihm aus großer Tiefe atollähnlich aufsteigende Ringriffe, wie das Sanganeb-Riff vor der sudanesischen Kü-

ste, unbekannt blieben. Aus seinem Schriftwechsel mit Darwin geht hervor, daß er in verschiedenen Punkten anderer Ansicht war als dieser - so stand er auch dessen später publizierten Theorie der Atollentstehung durch Absenkung des Meeresbodens reserviert gegenüber. Während Ehrenberg den lebenden Anteil der Korallen bereits als eine nur wenige Millimeter dünne Schicht erkannte, übersah er den Übergang zur toten Unterlage als Abscheidung der lebenden Zellen und hielt dies für erodierten Fels. Immerhin verband er das Vorkommen lebender Korallenformationen mit dem gehobener Kalksteinplateaus. Auch erkannte er den grundlegenden Unterschied zwischen Stein- und Weichkorallen: Er fand heraus, daß die weiche Oberflächenschicht der Skleraktinien das lebende Tier ist, das sein Skelett überzieht. Daher können seine Beobachtungen vor 160 Jahren und ihr Einfluß auf die Entwicklung der modernen Riffökologie nicht hoch genug eingeschätzt werden.

Klunzingers große Leistung war seine ökologische Sichtweise. Seine exakten biologischen Beobachtungen an den mächtigen Saumriffen bei Kosseir, vor allem an deren Besiedlung mit Algen und sedentären Tieren und den von diesen gebildeten biophysigraphischen Zonen waren seiner Zeit weit voraus. Schon früh hat er den Einfluß unterschiedlicher Tiefe und Wasserbewegung auf diese Zonierung erkannt und auch die Überlappung der Einzelzonen durch den Wechsel bestandsbildender Arten genau beschrieben. Daneben hat er nicht nur einen umfangreichen Bericht über Fauna und Flora der untersuchten und von ihm abgesammelten Riffplatten gegeben, sondern auch über die wechselseitige Beeinflussung der einzelnen Biozönosen dieser Zonen und ihrer Besiedler. Schließlich verdanken wir Klunzinger bereits erste fundierte Kenntnisse über die Auswirkungen der zweimal jährlich auftretenden extremen Niedrigwassergezeiten während der Äquinoktien auf die Riffbesiedler durch Trockenfallen ausgedehnter Riffflächen bei gleichzeitiger hoher Sonneneinstrahlung mit Temperaturen über 30 °C bzw. nächtlicher Abkühlung durch kalte Nordwinde und Temperaturabfall bis zu 12 °C.

Ebenso wegweisend wie Klunzinger auf dem Gebiet der Riffökologie war Johannes Walther als ein Pionier der Riffgeologie. Er hatte 1887 an den gehobenen (sub)fossilen Riffen der Sinai-Halbinsel die gleichen Riffabschnitte und Faciesmuster wie im unmittelbar benachbarten rezenten Riff beobachtet. Seine Schrift „Die Korallenriffe der Sinai-Halbinsel - Geologische und biologische Beobachtungen“ (1888) gilt heute noch als grundlegende Arbeit (Abb. 1). Walther, später Geologieprofessor in Halle, gab seinem Fach noch vielerlei Anregungen - seine Feldstudien an Riffen ergänzte er unter anderem an der Inselkette der Adamsbrücke zwischen Indien und Sri Lanka.

Nach Eröffnung des Suez-Kanals 1869 wuchs das Interesse europäischer Biologen an der Erforschung des Roten Meeres beträchtlich, und zu den deutschen Wissenschaftlern, die bis dahin führend waren, traten nun auch Italiener, die vor allem entlang der südlichen Küstenstriche arbeiteten. Dazu kamen zwei Expeditionen des österreichischen Schiffs „Pola“

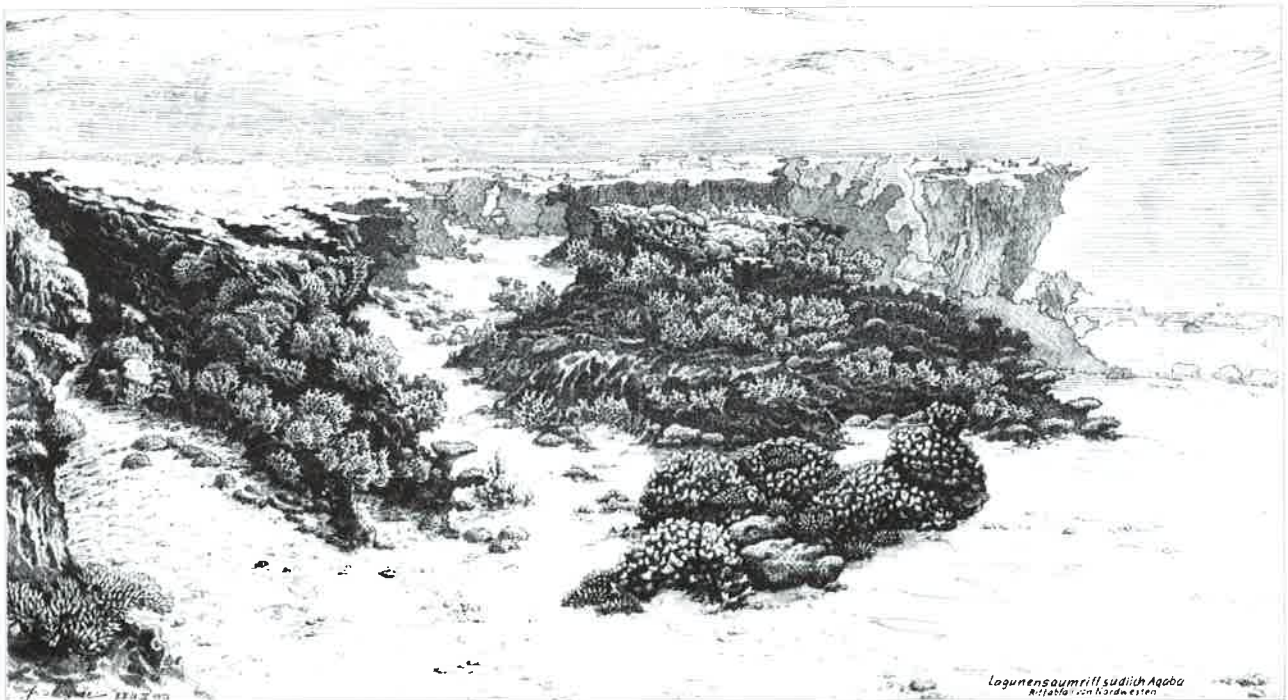


Abb. 2: Das Sanganeb-Atoll etwa 20 km vor der sudanesischen Küste ist seit Beginn der 80er Jahre Standort von Langzeitbeobachtungen (Blick vom Leuchtturm über die Lagune nach Norden).

(1895 bis 1897). Die italienische „Scilla“-Expedition (1890 bis 1900) war eine stark hydrographisch orientierte Fahrt ebenso wie die Fahrt der „Amiraglio Magnaghi“ (1923/1924). Die ägyptische „Mabahiss“-Expedition (1934/35) widmete sich besonders der Ozeanographie des nördlichen Teils des Roten Meeres. Der 2. Weltkrieg bedeutete dann eine Zäsur für das Expeditionsgeschehen; deutsche Aktivitäten waren schon seit dem 1. Weltkrieg und der nachfolgenden Wirtschaftskrise zum Erliegen gekommen.

Nach dem 2. Weltkrieg führte die zweite „Xarifa“-Expedition 1957 unter Leitung von Hans Hass zum ersten Mal wieder deutsche Meeresforscher in das Rote Meer. Doch erst die „Meteor“-Expedition (1964/65)

Abb. 3: Unterwasseransicht der Rifffante eines Lagunensaumriffs südlich von Aqaba in Jordanien (Originalzeichnung des Autors).



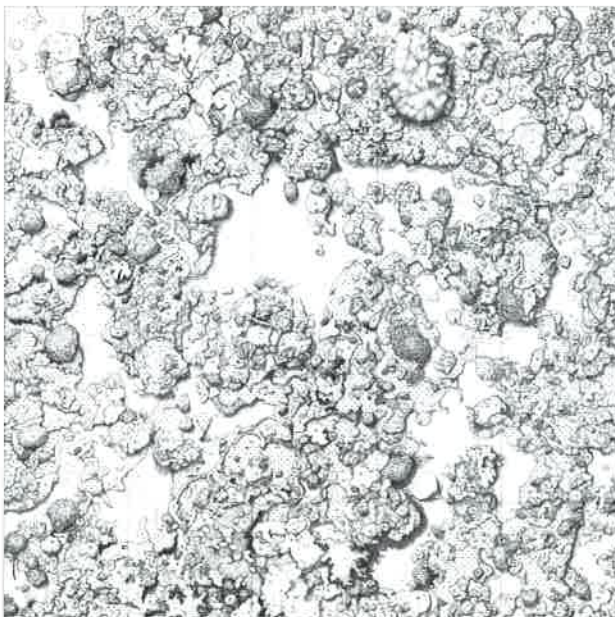
knüpfte mit einer Vielzahl von Forschungsstationen, über die ganze Länge des Roten Meeres verteilt, wieder an die traditionell intensive Bearbeitung dieses Meeres an. Eine speziell den Riffen zugewandte Forschergruppe befaßte sich insbesondere bei den Sars- und Farasan Inseln mit Fisch- und Korallengemeinschaften (Klausewitz, Scheer), sowie der Sandlückenfauna (Gerlach). Hans Mergner hatte Gelegenheit, den Hydroidenbewuchs der Riffe in Abhängigkeit von der Wasserbewegung zu untersuchen; hieraus entwickelte sich sein späterer Forschungsschwerpunkt der biophysiographischen Zonierung der Riffe. Im ozeanographischen Expeditionsprogramm wurden auch die heißen, schwermetallhaltigen Solen am Tiefseeboden näher erkundet, was dem Meeresbergbau und der geophysikalischen Meereskunde neue wichtige Anstöße gab.

Neben (finanziell) aufwendigen schiffgestützten Expeditionen sind auch einige bemerkenswerte „low budget“-Unternehmungen zu nennen: Georg Scheer, während zweier „Xarifa“-Expeditionen zum Korallenexperten geworden, initiierte 1962 mit engagierten Laien die Korallen-Expedition des hessischen Landesmuseums Darmstadt nach Port Sudan am Roten Meer, wobei das Material für ein originalgetreues Riff-



Abb. 4: Videokartierung des Testquadrates U7 im Riffhang vor der Marine Science Station, Aqaba.

modell der Schausammlung des Museums geborgen wurde. Mit ähnlichem Enthusiasmus, allerdings per Schiff statt mit Eisenbahn, brach 1976 die erste „Acropora-Expedition“ von Rostock auf, um im gleichen Riffgebiet vor Port Sudan umfangreiches Sammlungsmaterial vor allem für den lebensgroßen Aufbau eines Riffpfellers im Meeresmuseum von Stralsund zu bergen; dort ist er bis heute ein Publikumsmagnet der Schausammlung (Streicher, 1980). Eine zweite „Acropora-Expedition“ (1979) mehrte im wesentlichen die wissenschaftlichen Sammlungen des Stralsunder Museums (Streicher et al., 1981). Von allen deutschen Museen ist allerdings das Frankfurter „Forschungsinstitut und Museum Senckenberg“ dem Roten Meer



besonders verbunden. Seit Rüppells Grundstein lagern hier nicht nur die größten wissenschaftlichen Sammlungen von Fischen, Mollusken, Krebsen und Oktokorallen, sie werden auch rege bearbeitet und stetig vergrößert (z. B. Krupp et al., 1993).

Seit den 60er Jahren nutzten vermehrt auch „Einzelkämpfer“ den relativ leichten Zugang zu Europas nächstgelegenen Korallenmeer, um über Jahre hinweg spezielle ökologisch-physiologische Problemstellungen des Korallenriffs zu bearbeiten - so z. B. Bernhard Magnus, Dietrich Schlichter, Hans Fricke und Helmut Schuhmacher. Schlichter und Fricke hatten unabhängig voneinander die Anemonenfisch-Symbiose untersucht; gemeinsam bearbeiteten sie die speziellen Anpassungen von Korallen an den Schwachlichtbereich zwischen 80 und 150 Meter Tiefe (z. B. Schlichter & Fricke, 1988). Ein neuentwickeltes Tauchboot GEO (Abb. 7), welches hauptsächlich im Golf von Aqaba operierte, erschloß dabei Meeresböden und Forschungsfelder, die zuvor unzugänglich waren. Einer der Tauchbootnutzer ist auch der Paläontologe Dullo, der - auf den geistigen Spuren von Walthers - die einzelnen Riff-Fazies über und weit unterhalb des Wasserspiegels untersucht (z. B. Dullo, 1990; Dullo et al., 1990).

Experimentelle Untersuchungen kommen allerdings ohne Laborbasis nicht aus. Meeresbiologische Stationen wurden begründet: Al Ghardaqa (Ägypten) bereits im Jahre 1930 (untrennbar mit dem Namen des langjährigen Leiters Gohar verbunden - heute in erster Linie ein nostalgisches Museum), dann vor allem aber 1969 „The Heinz Steinitz Laboratory“ bei Eilat (Israel). Benannt nach seinem Gründer, dem in den 30er Jahren aus Breslau emigrierten Zoologen und Pionier israelischer Rotmeerforschung, wurde Eilat zu einem weltweit bekannten Ort vielseitiger tropischer Meeresforschung. Als erster deutscher Gastforscher (1969 - 71) begann Schuhmacher hier seine Untersuchungen über die Ansiedlungsbedingungen von Korallen auf natürlichen und künstlichen Riffen. Die größer und vielfältiger entwickelten Riffe bei Aqaba (Jordanien) - gegenüber von Eilat gelegen - bewogen dann Mergner und Schuhmacher ab 1972 ihre vergleichenden Langzeituntersuchungen zur Verbreitung und Entwicklung von Korallengemeinschaften und Riffen an dieser relativ ungestörten Küste vorzunehmen (Abb. 5, 6 ab). Im Jahre 1976 wurde von der Jordan University Amman, in enger Abstimmung mit Mergner und Schuhmacher, die meeresbiologische Station Aqaba begründet. Sie diente seither, neben einheimischen und französischen Forschern, der riffökologischen Arbeitsgruppe der Ruhr-Universität Bochum und später des Instituts für Ökologie der Universität Essen als

Abb. 5 (links): Struktureller Aufbau der Korallengemeinschaft im Testquadrat U7 bei Aqaba, 1976 (aus Mergner & Schuhmacher, 1981).

Abb. 6 a, b (rechts): Veränderungen der Korallenbesiedlung im Testquadrat U7 über 13 Jahre: Verteilung der Korallenarten. Karten erstellt aus den Erfassungen 1976 (a, vgl. Abb. 5) und 1989 (b, aus Kroll, 1990).

hauptsächlichlicher Stützpunkt. Besonders während des DFG-Schwerpunktprogramms „Biogene Sedimentation - Riffevolution“ (1990 - 96), in welchem Biologen, Ökologen und Geologen kooperierten (Dullo et al., 1995), waren Forschergruppen aus Frankfurt, Kiel, Köln und Essen zu Gast an der Station. Weitgehend unbemerkt hatte bereits Mitte der 70er Jahre der Riffgeologe Schröder das „Institute of Oceanography“ in Port Sudan aufgebaut. Seinem großen persönlichen Einsatz über fünf Jahre vor Ort hinweg ist die Einrichtung einer in dieser Region bemerkenswerten Infrastruktur (Fachbibliothek, Außenstation auf dem Leuchtturm des Sanganeb-Atolls) zu danken. Die sudanesischen Riffe, die zu den bestentwickeltesten der Welt zählen, waren denn auch immer wieder Ziel vergleichender Korallenuntersuchungen. Dietrich Kühlmann studierte die vertikale Zonierung, soweit mit dem Preßluftgerät zugänglich (darunter setzte dann Dullo mit dem Tauchboot an); die Bochumer und Essener Riffbologen führten mehrere Expeditionen zum Sanganeb-Atoll durch (Abb. 2), um die Langzeitentwicklung von Korallengemeinschaften, gerade auch im latitudinalen Vergleich zu Aqaba, zu untersuchen. Die letzten zwei dieser Unternehmungen (1991/92) fanden in Kooperation mit dem Forschungsinstitut Senckenberg in Frankfurt statt.

Die besondere geopolitische Situation am Nordende des Golfs von Aqaba, wo Ägypten, Israel und Jordanien eng aneinandergrenzen, legten ein internationales Forschungsprogramm nahe, nachdem seit den Friedensverträgen zwischen Israel und den beiden Nachbarstaaten die Grenzen wieder durchlässig sind. In diesem „Red Sea Program“ arbeiten seit 1996 nicht nur Wissenschaftler der drei genannten Küstenstaaten, sondern auch Palästinenser und Deutsche unter Federführung des Zentrums für marine Tropenökologie, Bremen - nicht zuletzt, um den Friedensprozeß in diesem Raum zu stärken (s. auch Beitrag von Hempel in diesem Band).

Zweifelsohne hatte die deutsche Riffforschung ihre große Zeit im letzten Jahrhundert. Es war am Roten

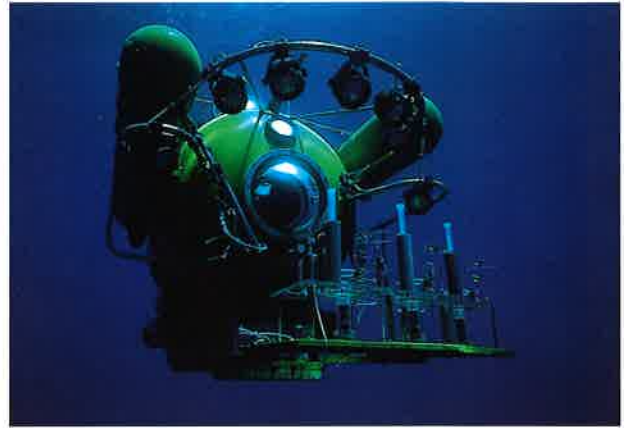
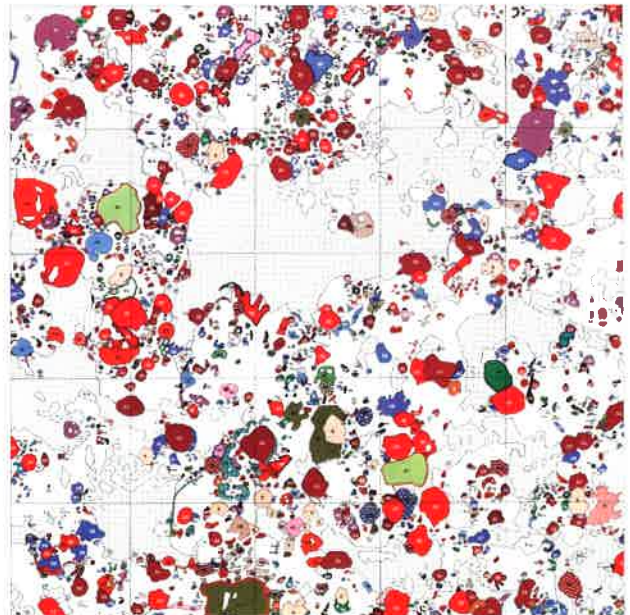
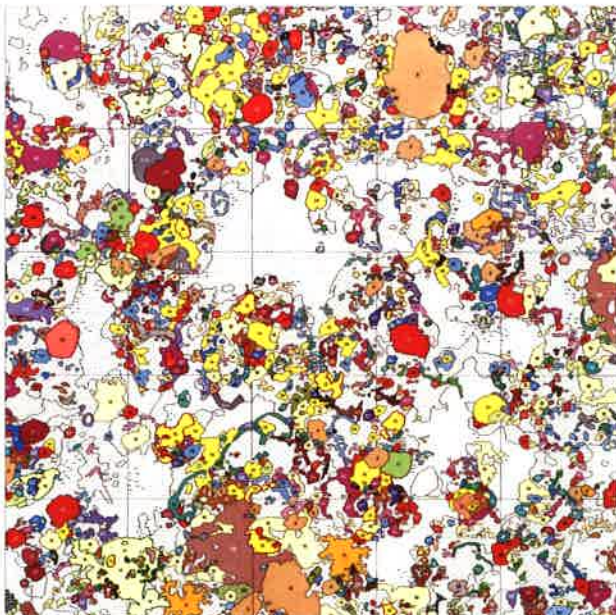


Abb. 7: Tauchboot GEO beim Unterwassereinsatz.

Meer, wo Forscherpersönlichkeiten wie Ehrenberg, Klunzinger und Walther ihre Erfahrungen gesammelt haben. Sie weiteten nicht nur gehörig die Grenzen vieler naturwissenschaftlicher Disziplinen ihrer Zeit, sondern gelten auch heute noch als helllichtige Pioniere - gerade in ihren ökosystemaren Denkanstätzen. Die jüngere deutsche Riffforschung - nach dem 2. Weltkrieg - konzentrierte sich ebenfalls auf das Rote Meer. Im internationalen Vergleich wird allerdings deutlich, daß die deutsche Forschungspolitik den Riffen eine geringe Bedeutung beimißt. Die an pazifischen und karibischen Rifften erhobenen Befunde, die im Rahmen von amerikanischen, australischen, französischen und anderen Großprojekten gewonnen wurden, bestimmen mittlerweile die allgemeinen Leitvorstellungen vom Ökosystem Riff. Dennoch hat die deutsche Rotmeerforschung bemerkenswerte und zukunftsweisende Beiträge zumindest auf drei Gebieten vorzuweisen:

1. Die wissenschaftliche Erhellung der Schwachlichtzone über und unterhalb der Verbreitungstiefe lichtabhängiger Korallen mit Hilfe von Tauchbootvorstößen,
2. die Langzeitdynamik von Korallengemeinschaften mit Hilfe quantitativ analysierter Testquadrate,



3. die Umsetzung ökologischen Grundlagenwissens in ein aktives Managementkonzept zur nachhaltigen Nutzung und damit letztlich zum Schutz der Riffe. Insbesondere der Schutz der Riffe ist nur in Zusammenarbeit mit den jeweiligen Anrainern zu erreichen.

Literatur:

- Dullo, W.-C. (1990): Facies, Fossil Record, and Age of Pleistocene Reefs from the Red Sea (Saudi Arabia). *Facies*, 22: 1 - 46.
- Dullo, W.-C., E. Moussavian & T. Brachert (1990): The foralgal crust facies of the deeper fore reefs in the Red Sea: a deep diving survey by submersible. *Geobios*, 23: 261 - 281.
- Dullo, W.-C., M. Gektidis, S. Golubic, G. A. Heiss, H. Kampmann, W. Keine, D. K. Kroll, M. L. Kuhrau, G. Radtke, J. G. Reijmer, G. B. Reinicke, D. Schlichter, H. Schuhmacher & K. Vogel (1995): Factors Controlling Holocene Reef Growth: An Interdisciplinary Approach. *Facies*, 32: 145 - 188.
- Ehrenberg, C. G. (1834 a): Beiträge zur physiologischen Kenntniss der Corallenthiere im allgemeinen, und besonders des rothen Meeres, nebst einem Versuche zur physiologischen Systematik derselben. Abhandlungen der Königl. Akademie der Wissenschaften in Berlin, 1832: 225 - 380.
- Ehrenberg, C. G. (1834 b): Über die Natur und Bildung der Corallenbänke des rothen Meeres. Abhandlungen der Königl. Akademie der Wissenschaften in Berlin, 1832: 381 - 432.
- Forsskål, P. (1775): Descriptiones Animalium, avium, amphibiorum, piscium, insectorum, vermium, quae in itinere orientali observavit Petrus Forsskål. (Post mortem auctoris edit Carsten Niebuhr). Hauniae, 164 S.
- Gerlach, S. (1967 a): Bericht über den Forschungsaufenthalt der Litoralgruppe auf der Insel Sarso (Rotes Meer). „METEOR“ Forschungsergebnisse, Reihe D, 2: 1 - 6.
- Gerlach, S. (1967 b): Die Fauna des Küstengrundwassers am Strand der Insel Sarso (Rotes Meer). „METEOR“ Forschungsergebnisse, Reihe D, 2: 7 - 18.
- Klausewitz, W. (1964): Die Erforschung der Ichthyofauna des Roten Meeres. Einleitung zur 2. Auflage von C. B. Klunzingers Synopsis der Fische des Rothen Meeres, J. Cramer, Weinheim.
- Klausewitz, W. (1967): Die physiographische Zonierung der Saumriffe von Sarso. „METEOR“ Forschungsergebnisse. Reihe D, 2: 44 - 68.
- Klunzinger, C. B. (1870-1871): Synopsis der Fische des Rothen Meeres 1. und 2. Theil. Verhandlungen der Zoologischen und Botanischen Gesellschaft Wien, 20: 669 - 834; 21: 441 - 688, 1353 - 1368.
- Klunzinger, C. B. (1872): Zoologische Exkursion auf ein Korallenriff des Rothen Meeres bei Kossér. *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin*, 7: 20 - 55.
- Klunzinger, C. B. (1877): Die Korallthiere des Rothen Meeres. 1. Theil: Die Alcyonarien und Malacodermen. Gutmann, Berlin, 98 S.
- Klunzinger, C. B. (1879 a): Die Korallthiere des Rothen Meeres. 2. Theil: Die Steinkorallen. Erster Abschnitt: Die Madreporaceen und Oculinaceen. Gutmann, Berlin, 88 S.
- Klunzinger, C. B. (1879 b): Die Korallthiere des Rothen Meeres. 3. Theil: Die Steinkorallen. Zweiter Abschnitt: Die Asteraeaceen und Fungiaceen. Gutmann, Berlin, 100 S.
- Klunzinger, C. B. (1906): Die Spitz- und Spitzmundkrabben (*Oxyrhyncha* und *Oxystomata*) des Rothen Meeres. F. Enke, Stuttgart, 91 S.
- Klunzinger, C. B. (1913): Die Rundkrabben (*Cyclometopa*) des Rothen Meeres. *Nova Acta Academiae Caesarae Leopoldino Carolinae Germanicae Naturae Curiosorum*, 99: 97 - 402.
- Kroll, D. (1990): Quantitative Analyse der Korallenbesiedlung eines Vorriffareals in Aqaba, Rotes Meer. Diplomarbeit, Universität Essen: 1 - 44.
- Krupp, F., M. Türkay, A. G. D. El Hag & D. Nasr (1993): Comparative ecological analysis of biota and habitats in littoral and shallow sublittoral waters of the Sudanese Red Sea. Frankfurt a. M., 89 S.
- Magnus, D. B. E. (1963): Über das „Abweiden“ der Flutwasseroberfläche durch den Schlangenster *Ophiocoma scolopendrina* (Lamarck). *Zoologischer Anzeiger, Suppl.*, 26: 471 - 481.
- Magnus, D. B. E. (1967): Zur Ökologie sedimentbewohnender Alpheus-Garnelen (Decapoda, Natantia) des Roten Meeres. *Helgoländer wiss. Meeresunters.*, 15: 506 - 522.
- Mergner, H. (1967): Über den Hydroidenbewuchs einiger Korallenriffe des Roten Meeres. I. Die Ökologischen Gegebenheiten der untersuchten Riffgebiete und ihre Auswirkungen auf Verteilung und Besiedlungsdichte des Hydroidenbewuchses. *Zeitschrift für Morphologie und Ökologie der Tiere*, 60: 35 - 104.
- Mergner, H. (1979): Quantitative ökologische Analyse eines Rifflagunenareals bei Aqaba (Golf von Aqaba, Rotes Meer). *Helgoländer wiss. Meeresunters.*, 32: 476 - 507.
- Mergner, H. & H. Schuhmacher (1974): Morphologie, Ökologie und Zonierung von Korallenriffen bei Aqaba, (Golf von Aqaba, Rotes Meer). *Helgoländer wiss. Meeresunters.*, 26: 238 - 358.
- Mergner, H. & H. Schuhmacher (1981): Quantitative Analyse der Korallenbesiedlung eines Vorriffareals bei Aqaba (Rotes Meer). *Helgoländer wiss. Meeresunters.*, 34: 337 - 354.
- Mergner, H. & H. Schuhmacher (1985): Quantitative Analyse von Korallengemeinschaften des Sanganeb-Atolls (mittleres Rotes Meer). I. Die Besiedlungsstruktur hydrodynamisch unterschiedlich exponierter Außen- und Innenriffe. *Helgoländer Meeresunters.* 39: 375 - 417.
- Mergner, H. & A. Svoboda (1977): Productivity and seasonal changes in selected reef areas in the Gulf of Aqaba (Red Sea). *Helgoländer wiss. Meeresunters.*, 30: 383 - 399.
- Mergner, H., H. Schuhmacher & D. Kroll (1994): Longterm changes in the coral community of a fore reef area near Aqaba (Red Sea): 1976 - 1989. *Proc. 7th Int. Coral Reef Symposium, Guam*, 1: 104 - 113.
- Rüppell, E. (1828). Atlas zur Reise im nördlichen Afrika. Fische des rothen Meeres, Frankfurt a. M., 144 S., 35 Taf.
- Rüppell, E. & F. S. Leukart (1828): Atlas zur Reise im nördlichen Afrika. Neue wirbellose Thiere des rothen Meeres. Frankfurt a. M., 47 S., 12 Taf.
- Scheer, G. (1962): Korallen-Expedition des Hessischen Landesmuseum Darmstadt nach Port Sudan am Roten Meer. *Jenaer Rundschau*, 7: 223 - 234.
- Scheer, G. (1967): Korallen von den Sarso-Inseln im Roten Meer. *Senckenbergiana Biologica*, 48, 421 - 436.
- Scheer, G. & C. S. G. Pillai (1983): Report on the stony corals from the Red Sea. *Zoologica*, 45, 198 S.
- Schlichter, D. & H. W. Fricke (1988): Coral host improves photosynthesis of endosymbiotic algae. *Naturwissenschaften*, 77: 447 - 450.
- Schuhmacher, H. (1974): On the conditions accompanying the first settlement of corals on artificial reefs with special reference to the influence of grazing sea urchins (Eilat, Red Sea). *Proc. Second International Coral Reef Symposium, Brisbane*, 1: 257 - 267.
- Schuhmacher, H. (1977): Initial phases in reef development, studied at artificial reef types of Eilat, (Red Sea). *Helgoländer wiss. Meeresunters.*, 30: 400 - 411.
- Schuhmacher, H. & H. Mergner (1985): Quantitative Analyse von Korallengemeinschaften des Sanganeb-Atolls (mittleres Rotes Meer). II. Vergleich mit einem Riffareal bei Aqaba (nördliches Rotes Meer) am Nordrande des indopazifischen Riffgürtels. *Helgoländer wiss. Meeresunters.*, 39: 419 - 440.
- Streicher, S. (1980): 90 Tage im Korallenmeer. Rostock, 192 S.
- Streicher, S., H. Schröder, G. Schulze, K.-H. Tschiesche, J. Wagner & U. Beese (1981): „Acropora 1976 und 1979“, zwei meeresbiologische Sammelreisen ins Rote Meer. Meer und Museum, 2: 1 - 68.
- Walther, J. W. (1888): Die Korallenriffe der Sinai-Halbinsel - Geologische und biologische Beobachtungen. Abhandlungen der mathematisch-physikalischen Classe der Königlich Saechsichen Gesellschaft der Wissenschaften, 14: 439 - 505.

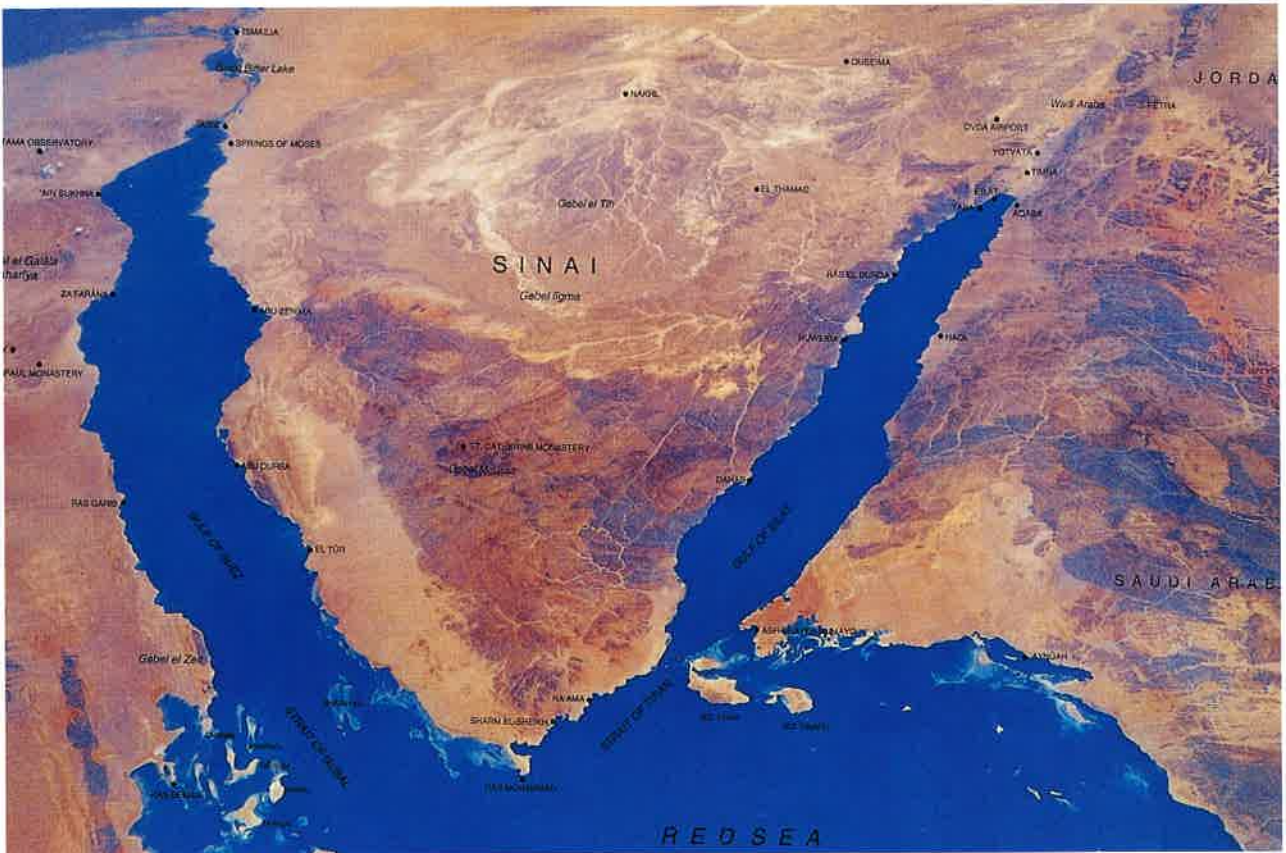


Abb. 1: Satellitenaufnahme (US-Raumfahrtbehörde NASA) des Sinai mit Golf von Suez und Golf von Aqaba als nördlichen Ausläufern des Roten Meeres.

Rotes-Meer-Programm: Frieden für die Riffe - Riffe für den Frieden

G. Hempel

Regionale Zusammenarbeit

Meeresforschung ist interessant und nützlich. Sie mehrt unser Wissen über das Meer, seine Bewohner, seine Geschichte und seine Bedeutung für das Weltklima. Sie hilft der Versorgung der Menschen mit Fischen und Erdöl. Sie dient dem Küstenschutz und dem Seeverkehr. Die Unterwasserakustik des U-Boot-Krieges hat uns die Kenntnis der Planktonstreichschichten und der Walgesänge beschert. Der Schutz des Meeres steht heute vielfach im Vordergrund der Forschungsprogramme. Die Randzonen der Meere sind besonders stark genutzt und daher schutzbedürftig - nirgends wird das so deutlich wie in den Korallenriffen.

Meeresforschung ist zwar eine nationale Aufgabe jedes einzelnen Küstenstaates, sie bedarf aber internationaler Zusammenarbeit, denn Meeresströmungen und Fischwanderungen machen nicht an Landesgrenzen halt. Viele Phänomene sind an die globale Zirkulation der Wassermassen und der darüberlagernden Atmosphäre gebunden. Auch in Deutschland ist der überwiegende Teil der marinen Forschungsaktivitäten direkt oder indirekt verbunden mit internationalen Programmen.

Meist sind es regional beschränkte Forschungsvorhaben. Wichtig ist dabei die Einrichtung von Datenbanken und Kommunikationssystemen, damit die Ergebnisse allen Partnern der Region schnell zugänglich sind und gemeinsam ausgewertet werden können. Ferner geht es um den Aufbau von wissenschaftlicher Kapazität. In jeder Region gibt es schwache Partner, die mit den stärkeren auch in der Meeresforschung gleichziehen wollen. Dafür bieten Gemeinschaftsprogramme Anreize zu gegenseitiger Hilfe und zur Selbsthilfe. So wird der steile Gradient zwischen wissenschaftlich hochentwickelten und schwachentwickelten Ländern abgebaut und damit Konfliktstoff reduziert.

An Regionalprogrammen sollen Wissenschaftler aus allen Küstenstaaten teilnehmen. So beteiligten sich Inder und Pakistani gemeinsam an der Internationalen Indischen-Ozean-Expedition und während des Falklandkrieges diskutierten Briten und Argentinier friedlich über die Kooperation im Südpolarmeer. Wenn die Regierungen sich gegenseitig nicht anerkennen, können die Programme nicht offiziell verhandelt und bei zwischenstaatlichen Organisationen aufgehängt werden, sondern es müssen regierungsfreie Lösungen gesucht werden, die von den einander ignorierenden

Regierungen geduldet werden, weil sie letztlich auch den Interessen des eigenen Staates dienen. Auf dieser Basis fand jahrzehntlang die Kooperation der Ostseeforscher statt, trotz der Nichtanerkennung der damaligen DDR durch die Bundesregierung und trotz der drastischen Kontakt- und Reisebeschränkungen der DDR für ihre Wissenschaftler. Auch die politische Ausgrenzung Südafrikas und Chiles konnte im Rahmen von Meeresforschungsprojekten etwas durchlöchert werden. Diese Kontaktpflege hat sich auch langfristig ausgezahlt: Sobald der politische Bann gebrochen war, entfaltete sich jeweils die regionale Kooperation sehr schnell, weil zumindest einige Wissenschaftler der verfeindeten Staaten einander bereits auf neutralem Boden getroffen hatten und weil den zuvor Ausgegrenzten die internationale Szene nicht ganz fremd war.

Ein gutes Beispiel liefert das Rote Meer: Deutsche Wissenschaftler arbeiteten in Eilat am Golf von Aqaba bereits lange vor der Aufnahme diplomatischer Beziehungen zwischen Deutschland und Israel 1965. Darauf baut das Rote-Meer-Programm auf, von dem im Folgenden die Rede sein wird.

Das Red Sea Program (Rotes-Meer-Programm)

Selten wurde ein meereskundliches Projekt so gezielt als friedentiftende Maßnahme konzipiert wie das „Red Sea Program on Marine Sciences“ (RSP), das Deutsche und Israelis, Palästinenser, Ägypter und demnächst auch Jordanier zur gemeinsamen Erforschung der Ökologie des Golfes von Aqaba, dem von

Abb. 2: Partnerinstitute des Roten-Meer-Programms in Deutschland.



Abb. 3: Partnerinstitute des Roten-Meer-Programms im Nahen Osten.

Korallenriffen gesäumten Nordostzipfel des Roten Meeres (Abb. 1), zusammenbindet.

Die ersten Pläne für das Programm entstanden 1994 aus einer israelischen Initiative, die Meeresforschung im Golf von Aqaba zu stärken. Deutsche Wissenschaftler und deutsches Geld waren dafür gefragt: Die Israelis hofften auf Unterstützung für die Beschaffung von Forschungsgeräten und für den Betrieb des Forschungsschiffes „University I“, aber auch auf unsere Vermittlung bei der Erteilung von Forschungsgenehmigungen durch die ägyptischen Behörden, denn seit der Rückgabe des Sinai an Ägypten war Israels Zugang zum Roten Meer auf 7 km Küstenstreifen bei Eilat beschränkt. Für deutsche Wissenschaftler waren die israelischen Vorschläge attraktiv, denn der Golf von Aqaba ist ein hochinteressantes Meeresgebiet (s. auch andere Beiträge in diesem Band). Auch wollte man neue Methoden und Forschungsansätze aus der Molekular- und Zellbiologie und aus der Neurophysiologie in die Meeresforschung einbringen. Labor- und Feldarbeiten sollten miteinander verknüpft werden. Die Neurophysiologen Prof. M. Spira, Hebräische Universität Jerusalem, und Prof. E. Neher, Max-Planck-Institut für Biophysikalische Chemie, entwickelten ein erstes Konzept.

Die Forderung des Bundesforschungsministeriums, ägyptische und palästinensische Wissenschaftler mit einzubeziehen, entsprach dem starken Friedenswillen der israelischen und arabischen Wissenschaftler, der sich unter deutscher und amerikanischer Beteiligung, bereits in einer Reihe von gemeinsamen Aktionen wie dem Peace Campus manifestiert hatte.

So wurde den wissenschaftlichen Zielen des Programmes ein politisches zur Seite gestellt: Aufbau von Kontakten zwischen den Meereswissenschaftlern in der Region und Abbau des Gefälles zwischen dem

hohen Potential in Israel zu den relativ bescheidenen Institutionen der Nachbarländer durch Bereitstellung apparativer Ausstattung, vor allem aber durch Aus- und Weiterbildung mit Hilfe von „training on the job“ und gezielten Fortbildungsmaßnahmen.

Auf der Basis von Vorschlägen, die von den arabischen, israelischen und deutschen Partnern gemeinsam erarbeitet worden waren, stellte das Zentrum für Marine Tropenökologie (ZMT) Anfang 1995 einen Antrag, der Mitte 1995 vom Bundesforschungsministerium mit ca. 7 Mill. DM auf dreieinhalb Jahre bewilligt wurde.

Ein Wissenschaftsjournalist formulierte kürzlich die Fragen der sieben Teilprojekte des RSP etwa folgendermaßen:

- Wie können die für das Nahrungsnetz unentbehrlichen Mikroalgen des Phytoplanktons im nährstoffarmen Wasser des Roten Meeres gedeihen? Wie funktioniert ihr Stoffwechsel?
- Wie stark nährt sich das Riff von Phyto- und Zooplankton, das von den Meeresströmungen in das Riff verfrachtet wird?
- Welchen Einfluß hat die zunehmende, von menschlichen Siedlungen ausgehende Düngung des Meeres auf Algen und Korallen?
- Welche Informationen über Klimaschwankungen liefern uns die jährlichen Wachstumsringe lebender und fossiler Korallen?
- Wie schaffen es Korallen und andere Organismen mit Kalkskeletten, das im Meerwasser nur gering vorhandene Kalziumkarbonat in ihre Zellen einzubauen? Wie wird dadurch der für den Treibhauseffekt wichtige globale Kohlenstoffhaushalt beeinflusst?
- Um im Ökosystem Korallenriff dem großen Feinddruck standzuhalten, haben Meeresschnecken, Seeanemonen und Steinfische im Laufe der Evolution „chemische Waffen“ entwickelt. Wie wirken diese Neurotoxine?
- Wie leben Mikroben in Grenzschichten hypersaliner Gewässer?

Insgesamt ca. 60 Wissenschaftler aus je drei israelischen und deutschen Universitäten und drei Max-Planck-Instituten sowie dem ägyptischen Akademie-Institut für Meeres- und Fischereiforschung und der palästinensischen Al Quds Universität sind im „Red Sea Program“ engagiert (Abb. 2, 3). Dabei stellen die Palästinenser die kleinste Fraktion. Die massiven Reisebeschränkungen, die einen regelmäßigen Verkehr zwischen Gaza und dem Westjordanland für Palästinenser praktisch unmöglich machen, verhinderten bisher den Aufbau einer Meeresstation im Gazastreifen, die allen Palästinensern in gleicher Weise dienen soll, ähnlich dem israelischen Interuniversity Institute for Marine Sciences (IU) in Eilat (Abb. 4).



Abb. 4: Im neuen Kursgebäude des Interuniversity Institute for Marine Sciences (IU) in Eilat finden die Workshops und Laborveranstaltungen des Roten-Meer-Programms statt.

Abb. 5: Training an Bord des israelischen Forschungsschiffes „University I“. Junge arabische, israelische und deutsche Wissenschaftler untersuchen gemeinsam frisch gefangene Planktonproben.



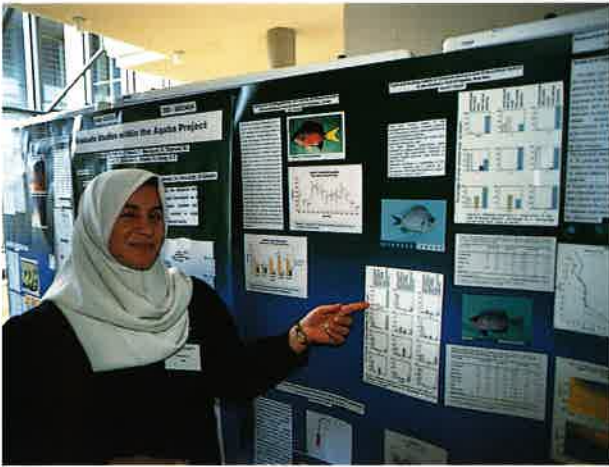


Abb. 6: Eine jordanische Diplomandin berichtet bei der Generalversammlung des Roten-Meer-Programms in Bremen über ihre Forschungsergebnisse.

Das IUI ist der zentrale Standort für das RSP. Hier sind ständig deutsche Doktoranden und Gastforscher tätig, hier liegt das Forschungsschiff, das jährlich mindestens 60 Tage für das RSP eingesetzt wird. Auf den RSP-Expeditionen arbeiten Wissenschaftler aus allen Partnerländern zusammen (Abb. 5). Entsprechendes gilt für die Landexpeditionen zum Solar Lake, einem ägyptischen hochsalzigen Strandsee südlich von Eilat, der fast einmalige Forschungsbedingungen für marine Mikrobiologen bietet.

Die Anfangsphase des RSP war von der Freude über die Fortschritte des nahöstlichen Friedensprozesses getragen. Der geriet Anfang 1996 ins Stocken und damit wuchsen Mißtrauen und Mißverständnisse. Die Ägypter verweigerten zeitweilig die Forschungsgenehmigungen in ihren Seegebieten und im Solar Lake und die Palästinenser wurden in ihrem Bewegungsfreiraum stark eingeschränkt. Fast ungebrochen ist aber bis heute die Bereitschaft zum wissenschaftlichen Gespräch und zur, von Deutschland gestützten, Kooperation zwischen den israelischen und arabischen Teilnehmern des RSP. Sie haben gelernt, sich

Abb. 7: Die Forschungsbarkasse der Marine Science Station in Aqaba wurde mit deutschen Mitteln ausgerüstet.



im Dickicht der Genehmigungsbehörden auch unter schlechten politischen Bedingungen zu bewegen. Den Naturschutzbemühungen der Ägypter muß dabei in sinnvoller Weise Rechnung getragen werden: Ägypten möchte seine Korallenriffe entlang der Sinaiküste wirksam gegen Eingriffe jeder Art schützen, auch gegen das Anbohren von Korallenstöcken zur Probenahme für Klimaanalysen. Wie überall auf der Welt besteht auch hier die Kontroverse zwischen den Naturschützern und den Naturforschern, selbst wenn diese dem Naturschutz dienen wollen. Eine solche Kontroverse wird verstärkt, wenn die Kontrahenten Staaten angehören, die einander nicht wohl gesonnen sind.

Die Suche nach Naturstoffen aus Meeresorganismen hat das Mißtrauen neuerdings verstärkt. Mancher Ägypter befürchtet, daß israelische und deutsche Wissenschaftler die Mikrobenmatten des Solar Lake und die Kegelschnecken und Steinfische der Riffe zum Wohle der Pharmaindustrie entnehmen. Das Resultat sind drastische Beschränkungen in den Probenmengen. Ausreichendes Untersuchungsmaterial ist aber die Voraussetzung für die arbeitsteilige Kooperation zwischen Instituten aller Partnerländer bei der Aufbereitung, Reinigung und Wirksamkeitsprüfung der Toxine. Mit den Proben sollen auch die Nachwuchswissenschaftler ausgetauscht werden.

Der Weiterbildung graduerter Studenten und junger Wissenschaftler dienen die Stipendien für Doktoranden, die jeweils in den Labors eines anderen Partnerlandes arbeiten. Zur Zeit sind zwei palästinensische Doktoranden an israelischen Universitäten eingeschrieben, ein Ägypter und ein Jordanier promovieren in Bremen und Kiel, während zwei Deutsche in Eilat und Aqaba ihre Doktorarbeit anfertigen. Wir versuchen den Austausch auch zwischen den Arabern verschiedener Länder zu verstärken und werben um die Nominierung von weiteren ägyptischen Doktoranden. Sehr beliebt sind für die nahöstlichen Jungwissenschaftler kürzere Aufenthalte in Deutschland zur Erlernung spezieller Methoden.

Ein großer Erfolg waren die meeresbiologischen Fortbildungskurse in Eilat. Selbst zu Zeiten des schlimmsten Bombenterrors in Israel und dem Südlibanon im März 1996 waren israelische, arabische und deutsche Studenten in Eilat friedlich vereint. Ein israelischer Professor, dessen Doktorandin eine Woche zuvor einem Massenattentat zum Opfer gefallen war, unterrichtete palästinensische Studenten in Mikrobiologie, ein anderer Israeli engagierte sich als Unterwasserführer durch die Rifflandschaft des südlichen Sinai. Die Studenten bezwangen ihre von den Vätern und den Medien ererbten Vorurteile und ihre aktuelle Wut und lernten miteinander zu reden.

Nicht nur historische und emotionale Barrieren, auch kulturelle Differenzen sind zu berücksichtigen: Die unterschiedliche Wocheneinteilung bei Juden, Christen und Moslems, die verschiedenen Feiertage und Fastenzeiten machen die Terminierung von gemeinsamen Veranstaltungen sehr schwierig. Die Integration arabischer Frauen in die Forschungs- und Ausbildungsprogramme bedarf besonderer Sorgfalt.

Einmal im Jahr veranstaltet das RSP eine Generalversammlung, in der die einzelnen Projektgruppen von ihren wissenschaftlichen Fortschritten berichten und die nächste Arbeitsphase planen (Abb. 6). Auch hier bemühen wir uns um die Beteiligung der Nachwuchswissenschaftler, was bei streng hierarchisch arbeitenden Instituten nicht einfach ist. Das ägyptische Staatsinstitut für Meeres- und Fischereiforschung hat wenig Kontakt zu Universitäten und damit zu Doktoranden.

den Fortgang der Arbeiten und den Austausch der Wissenschaftler behindern.

Das Bundesforschungsministerium und sein Projektträger BEO in Rostock-Warnemünde baten eine internationale Wissenschaftlergruppe, im Frühjahr 1998 die Arbeit der ersten drei Jahre des RSP zu begutachten. Sie empfahl die Fortsetzung bei noch stärkerer Betonung der Weiterbildungsmaßnahmen für Araber und voller Einbeziehung der Jordanier.



Abb. 8: Luftbildaufnahme vom Nordende des Golfs von Aqaba. Im Vordergrund das israelische Eilat, im Hintergrund das jordanische Aqaba. Das Interuniversity Institute for Marine Sciences (IUI) und die Marine Science Station (MSS) liegen außerhalb der Städte am rechten Bildrand einander gegenüber.

Das Arbeitsprogramm des RSP wird von einem internationalen Leitungsgremium festgelegt, in dem die vier nationalen Koordinatoren sitzen. Die administrative Tagesarbeit erledigt das RSP-Sekretariat am Zentrum für Marine Topenökologie. Die Abrechnung der Mittel ist nicht ganz einfach, denn die Verfahrensweisen in den Instituten des Nahen Ostens sind nicht deckungsgleich mit den deutschen. Auch die pünktliche Ablieferung von Berichten stößt auf gewisse Schwierigkeiten. Als internationaler Koordinator des RSP reise ich mehrmals im Jahr in den Nahen Osten, besonders wenn es gilt, Mißverständnisse, Querelen und politisch-administrative Hürden abzubauen, die

Die Einbeziehung der Jordanier

Bei Gründung des RSP standen wir vor dem Dilemma, daß einerseits die Integration Jordaniens und Saudi-Arabiens aus wissenschaftlichen und friedenspolitischen Gründen dringend erwünscht war, andererseits aber zwischen Israel und den beiden östlichen Anrainern des Golfs von Aqaba keine diplomatischen Kontakte bestanden.

Im Falle Jordaniens gab es aber schon Annäherungen, die uns ermutigten, parallel zum RSP die alte deutsche Zusammenarbeit mit der Marine Science Station (MSS) in Aqaba (s. Beiträge von Mergner und Schuhmacher in diesem Band) durch ein Partnerschaftsprojekt auszubauen. In langen Diskussionen wurde ein Forschungsplan entwickelt, bei dem die jordanischen Interessen im Mittelpunkt stehen: Stärkung des wissenschaftlichen Potentials der Station und der jordanischen Meeresforschung, Aufbau einer langdauernden Partnerschaft und Erarbeitung wissenschaftlicher Grundlagen für einen wirksamen Schutz der jordanischen Korallenriffe. Dafür wurden in inhalt-

licher Ergänzung zum RSP zwei Vorhaben definiert: Die Erforschung der Zirkulation im nördlichen Golf von Aqaba und die Untersuchung der Höhlen in den dortigen Korallenriffen als Lebensraum und als wichtiger Faktor im Stoffhaushalt des Riffes (s. Beitrag Richter in diesem Band). In kurzer Zeit wurde ein bereits vorhandenes Boot zu einem kleinen Forschungsschiff (Abb. 7) ausgebaut und weitere Ausrüstung beschafft.

Die Zusammenarbeit mit den fünf Wissenschaftlern der MSS erwies sich als sehr fruchtbar: Sechs deutsche und vier jordanische Diplom- und Masterarbeiten wurden vor Ort gemeinsam von deutschen und jordanischen Wissenschaftlern betreut. Die ersten Ergebnisse konnten bereits auf der 3. RSP-Versammlung im März 1998 in Bremen präsentiert werden. Dr. Claudio Richter, der auch Sekretär des RSP ist, und Dipl. Biol. Mark Wunsch arbeiten grenzüberschreitend in den Korallenriffen vor Aqaba, Eilat und der ägyptischen Sinaiküste. Die jordanischen Forschungen zur Zirkulation der Wassermassen werden ergänzt durch gleichzeitige Beobachtungsserien auf der israelischen und ägyptischen Seite. Erstmals konnte jetzt der nördliche Golf als Ganzes erfaßt werden.

Vier Kilometer Luftlinie verbinden die jordanische und israelische Meeresstation auf den beiden Seiten des Golfs (Abb. 8). Dazwischen liegt - auch im übertragenen Sinne - tiefes Wasser. Den Wissenschaftlern beider Länder fällt es nicht nur wegen administrativer Hindernisse schwer, von sich aus die israelisch-jordanische Grenze zu queren. Offizielle Treffen, besonders solche auf „neutralem“ Boden, dienen dem gegenseitigen Kennenlernen und dem Austausch. Zudem bereiten das RSP und die deutschen Wissenschaftler Einzelbesuche vor. Dabei muß der Eindruck vermieden werden, als seien die Beteiligten auf deutsche Vermittlung angewiesen. Die israelischen Wissenschaftler sahen bei den ersten Stippvisiten in Aqaba, daß das Korallenriff auf der jordanischen Seite besser erhalten ist als in Eilat. Andererseits können die Jordanier von der reicheren Bibliothek und guten apparativen Ausstattung der Israelis profitieren. Neben dem RSP und dem deutsch-jordanischen Projekt gibt es noch eine zweite Brücke für die Wissenschaftler in Eilat und Aqaba: das Peace Park Project zum Schutz der Korallenriffe, das besonders von amerikanischer Seite gefördert wird. Es bestehen also gute Voraussetzungen für eine positive Weiterentwicklung der Kooperation im Nordteil des Golfes, zumal auch die ägyptische Umweltbehörde und das ägyptische Meer-

resforschungsinstitut an einer Kooperation mit Jordanien interessiert sind.

Ein weiteres regionales Bindeglied wird die für Februar-April 1999 geplante Expedition von FS „Meteor“ sein. Sechs Wochen lang soll das Schiff im Golf von Aqaba biologisch-ozeanographisch und geowissenschaftlich arbeiten. Wissenschaftler aus der Region - nun auch aus Saudi-Arabien - sind eingeladen, im Team mit deutschen Wissenschaftlern entwickelte Projekte an Bord durchzuführen und anschließend gemeinsam auszuwerten und zu veröffentlichen. Die Expedition wird im Auftrag der Deutschen Forschungsgemeinschaft von Bremen aus geleitet. Zwar ist sie nicht Teil des RSP, hat aber verwandte wissenschaftliche Ziele. Auch bietet die Reise gute Gelegenheit, die wissenschaftliche Zusammenarbeit und das „training on the job“ weiter zu vertiefen. Voraussetzung ist natürlich, daß sich das politische Klima in der Region nicht dramatisch verschlechtert.

Frieden für die Forschung - Forschung für den Frieden

Ohne Frieden in der Region kann die Meeresforschung nicht ihre Aufgaben zum Erkenntnisgewinn und zu Nutzung und Schutz seiner Ressourcen erfüllen. Umgekehrt kann die Meeresforschung zum Frieden in der Region beitragen.

Der Forderung „Frieden für die Forschung“ steht das Angebot „Forschung für den Frieden“ gegenüber. Unter dieses Doppelmotto hatte der deutsche Botschafter in Tel Aviv das Jahrestreffen 1997 des „Red Sea Program“ gestellt. Die gemeinsame Arbeit im Labor und am Computer, mehr noch das Zusammenleben an Bord eines Forschungsschiffes und das Erlebnis des gemeinsamen Tauchens in die Unterwasserwelt der Korallenriffe, schaffen menschliche Bindungen, die auch auf andere Bereiche ausstrahlen. Es ist müßig, abwägen zu wollen, ob der wissenschaftliche Gewinn des „Red Sea Programs“ oder der Verständigungseffekt größer ist. Der Reiz des Unternehmens liegt in der Verbindung der beiden Aspekte. Eine junge Wissenschaftlerin der jüdisch-orthodoxen Bar Ilan Universität faßte es in dem Satz zusammen: „Wir können stolz darauf sein, daß dieses Projekt - zusätzlich zu den guten wissenschaftlichen Ergebnissen - dem Frieden und der Freundschaft zwischen Ägyptern, Jordanern, Palästinensern, Israelis und Deutschen dient.“

Korallenriffe - meine Faszination

D. H. H. Kühlmann

„Zahlen sind Symbole des Vergänglichen. Starre Formen verneinen das Leben.“
O. Spengler, 1922

Kuba: Beginn der Korallenriff-Forschungen

„Als ich das erste Mal losschwamm, kam ich gerade am Riff an, als die großen Brecher heranpreschten. Ich erwischte einen Korallenzacken und krallte mich daran fest. Die Macht der Brecher war ungeheuer. Mit aller Kraft mußte ich mich festhalten. Die vorbeiströmenden Wassermassen massierten mich. Mir war, als würde ich dadurch länger und länger gestreckt. Ich verglich mich in Gedanken mit einer Alge, deren zäher Thallus sich dem Wasserstrom anpaßt, ohne vom Grund gerissen zu werden. Dabei sah ich absolut nichts, da das Wasser um mich her toste und kochte und voller Luftblasen war, die wild durcheinander wirbelten und im Sonnenlicht grünlichweißes Licht verprühten. Das alles rauschte vorüber.“

Dann war einen Augenblick Ruhe. Für eine halbe Sekunde vielleicht sah ich Fragmente des Grundes: 30 cm unter meinem Bauch die stirnackige Kolonie einer Feuerkoralle, vor mir eine Hirnkoralle und eine



Abb. 1: 70 Jahre: Weiterarbeiten! Weitertauchen! Mittelmeer, Griechenland.

spitze Felsnase. Zum Weiterdenken kam ich nicht. Plötzlich wurde ich hin- und hergerissen, gegen die Hirnkoralle gepreßt. Die vom Ufer zurückflutenden Wassermassen rasten nun in entgegengesetzter Richtung an mir vorüber. - Maske festhalten! Schnorchel vollgelaufen! Beide Hände krallten sich wieder in den Fels. Schnorchel ausblasen. - Ich wußte, wenn ich losließ, würden mich die Brecher über den Grund reißen, ich würde mit dem Kreuz gegen einen Felsen geschleudert oder mit dem Kopf an eine Koralle. Bei großem Glück würde ich nur Schnitt- und Schürfwunden davontragen, doch es könnte auch schlimmer kommen. Also festhalten um jeden Preis. Ich spürte, wie die Fingernägel brachen. Ich versuchte, mich mit einem Fuß vom Boden abzustemmen, um die Hände

zu entlasten. Im gleichen Augenblick spürte ich einen stechenden Schmerz im Spann. Sicher war ich in einen Seeigel geraten. Plötzlich, das Wasser vom ersten Brecher war noch nicht wieder voll ins Meer zurückgeströmt, als schon der nächste Brecher über mir hereinbrach. Hatte ich nicht mehr die Kraft oder hatte mich der Schmerz abgelenkt? Kurzum, ich ließ aus irgendeinem Grund den Felszacken los und wurde nun mit Windeseile auf das Ufer zugetragen. Krampfhaft bemühte ich mich, irgend etwas zu erkennen. Aber ich sah nur Luftblasen und schäumendes grünweißes Wasser. Ich hielt die Füße möglichst hoch und tastete mit den Händen nach dem Grund. Rückwärts wie ein Krebs trieb ich in die kleine Bucht zurück. Schon schurte ich mit dem Bauch über den Felsboden im flachen Wasser. Jedoch war der dort glatt gewaschen und mit einem kurzen Algenrasen bewachsen, so daß mir nichts passierte. Schon beugten sich die besorgten Gesichter meiner Kameraden über mich. Ich hatte nur einige Schürfwunden und Verbrennungen von den Feuerkorallen davongetragen. Aus dem Fuß zog mir Carlos ein paar nadelspitze Seeigelstachel. Zwei weitere waren unter der Haut abgebrochen. Innen hohl und mit mikroskopisch kleinen Widerhaken besetzt, bekommt man sie nicht mehr aus dem Fleisch. Ich hatte 10 Tage Gehbeschwerden, dann eiterten sie heraus.“ (Kuba-Tagebuch, 10. 2. 1965).

Im Verlaufe meiner Arbeiten in den Korallenriffen trug ich noch manche Schürf- und Schnittwunde davon. Trotzdem habe ich das nie als lästig empfunden, denn ich war ein sehr glücklicher Mensch während all dieser Jahre, weil die Arbeit mir stets Freude war und mit ihr ein Kindheitstraum in Erfüllung ging.

Das „Rezept“, dahin zu gelangen, hieß schlicht und einfach: Alle Chancen beim Schopf packen, keine Schwächen und persönlichen Probleme zeigen. Wenn mich die besorgten Kubaner nach meinen Schwierigkeiten fragten, pflegte ich zu antworten: „No hay problemas.“ Ich habe keine Probleme! Dann lachte ich sie an. Das gefiel ihnen. Sie unterstützten mich, wo immer sie konnten.

Einem Aufruf spontan folgend, war ich von Berlin nach Kuba gegangen und hielt 1964/65 Vorlesungen und Praktika über Meeresökologie für höhere Semester und Meeresbiologen an der Universidad de la Habana. Schon während dieser Zeit fuhr ich an freien Tagen in die Korallenriffe zum Tauchen. Ich machte Aufzeichnungen. Taxonomisch waren die kubanischen Hartkorallen schon bearbeitet worden. Der Autor schenkte mir alsbald die betreffende Publikation (Duarte, 1961). So lernte ich nach und nach, besser mit den Riffen umzugehen, als eingangs geschildert. Mich reizte eine intensive ökologische Bearbeitung der kubanischen Korallenriffe, doch die Zeit dafür war schlicht nicht vorhanden. Schon wieder ein paar Monate in Deutschland (DDR), erhielt ich über das Ministerium für Hoch- und Fachschulwesen die Nachricht,

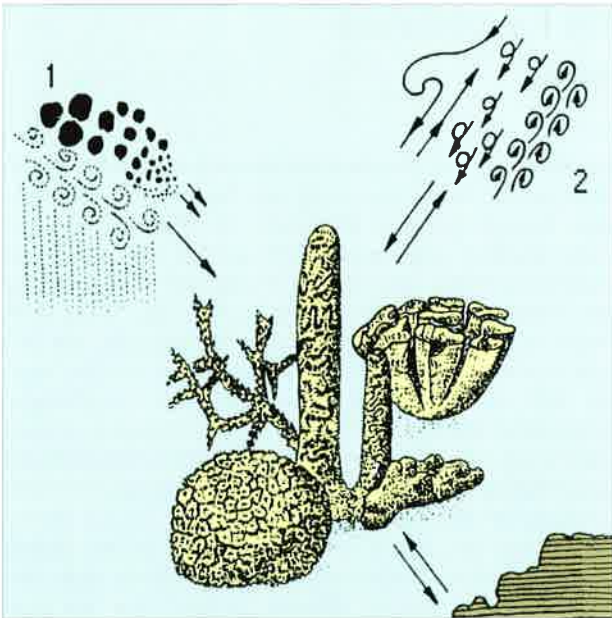


Abb. 2: Die Einwirkung des mechanischen Faktorenkomplexes auf Korallen. 1 Sedimentation, 2 Hydrodynamik, 3 Substrat. Zeichnung B. Matthies, aus Kühlmann, 1985 b, verändert.

Abb. 3: Korallenassoziation am oberen Rand eines Fels-hanges in 3 - 4 m Tiefe mit aufrecht wachsenden Kolonien von *Agaricia agaricites danai* M. Edwards & Haime, *Acropora palmata* (Lamarck), *Dendrogyra cylindrus* Ehrenberg, *Colpophyllia natans* (Müller) und *Montastrea annularis* (Ellis & Solander). Golf von Mexiko, Kuba.



daß seitens Kubas eine Einladung zu einem viermonatigen Forschungsaufenthalt vorläge. Ob ich fahren wolle? Keine Frage für mich. Ich freute mich sehr, daß meine kubanischen Kollegen für meine Interessen so viel Verständnis zeigten. So fuhr ich im Frühjahr 1966 erneut per Frachtschiff über den „großen Teich“ nach Havanna. Das Leben in Kuba war nicht immer einfach. Um der Universität bei Exkursionstransporten keine Schwierigkeiten zu bereiten, hatte ich meinen alten sowjetischen „Moskwitsch“ mitgebracht. Benzin erhielt ich von der Universität, einen hilfsbereiten, intelligenten Assistenten, mit dem klingenden Namen Olban de la Peña, von der Akademie. Druckluft-Tauchgeräte erhielt ich ebenfalls von dort, desgleichen medizinisch reinen Sauerstoff für meine Kreislaufgeräte. Technische und organisatorische Aufgaben löste Olban, der auch Taucher war.

Am effektivsten war es, möglichst in der Nähe von Havanna zu arbeiten, weil Olban und ich dort wohnten und weil ich im Instituto de Oceanologia meine Laboratorien hatte. Wir fuhren mit dem Auto möglichst nahe an die Einstiegsstellen, nahmen die Tauchgeräte auf und schwammen hinaus an die Riffe, die in einer Entfernung von 100 bis 1.000 m die Ufer begleiteten. Entferntere Riffe erreichten wir per Schiff, so die etwa 50 sm südlich der Mutterinsel gelegene Kette kleiner, kahler Kalkstein-Eilande am Rande des Golfes von Batabano, die Los Ballenatos (Pottwalinseln). Nur eine von ihnen wies einen geeigneten Platz zum Zelten auf. Wegen der vielen, vielen Landeinsiedlerkrebse (*Coenobita clypeata*), die zwischen den spitzzackigen Felsen überall umherkollerten, nannte ich sie „Cayo Macao“ (macao= Einsiedlerkrebs). Von dort stammt folgende Tagebuchaufzeichnung vom 2. August 1966, die einen Einblick in die Arbeit im Korallenriff gewährt:

„Da wir am Westende von Cayo Macao zelteten, hatten wir das Riff vor der Nase. Es war etwa 1 km lang. Von einer Terrasse aus 6 m Tiefe aufsteigend, hatte es eine Breite von rund 100 m. In das Achterwasser verliefen Riffsporne und -gräben.

„Protokoll 26.

Messungen am Außenhang in 0 - 6 m Tiefe.

Tiefe	0 m	3 m	6 m
O ₂ mg/l	1,70	2,12	1,86
S ‰	-	-	35,7
Sicht	8 m	-	12 m
T °C	31,4	31,4	31,4
SBV	2,4	2,4	-

A. Korallenbesiedlung auf dem Riffaußenhang, Breite ca. 50 m:

40 % nicht von Korallen besiedelt; *Acropora palmata* 30%, *Millepora complanata* 20 %, *Porites astreoides* 8 %.

B. Am Fuß des Riffes:

90 % nicht von Korallen besiedelt; *Acropora palmata* 3 %, *Porites astreoides* 2 %, *Diploria strigosa* 1 %, *Montastrea annularis* +, *Siderastrea sidera* +, *Diploria clivosa* +, *Montastrea cavernosa* +.

In diesem Stil wurden auch die anderen Stationen der



Abb. 4: Auf ebenem Felsgrund bei 30 m Tiefe und schwacher Hydrodynamik wachsen zarte, zerbrechliche Korallen, z. B. *Pachyseris* n. sp. und *Acropora carduus* Dana. Sulu-see, Philippinen.



Abb. 5: Auf einem zum Steilabfall sich neigenden Felshang in Luv siedeln in 18 - 20 m Tiefe robuste, abgeflachte oder krustige Wuchsformen wie *Montipora verrilli* Vaughan, *Pocillopora verrucosa* (Ellis & Solander), *Pocillopora elegans* Dana, *Porites australiensis* Vaughan und *Leptoseris incurstans* (Quelch). Takapoto-Atoll, Tuamotu-Archipel, Pazifik.

Abb. 6: Der Einfluß des Lichtes auf die Wuchsformen einer kompakten Kolonie von *Montastrea annularis* (Ellis & Solander), die ihre Seiten durch ihre Größe selbst verschattet und dort plattenförmig weiterwächst. Florida, USA.



Riffe bearbeitet. Den Eintragungen gingen viele einzelne Auszählungen voraus, die unter Wasser auf weißen Plastetafeln festgehalten wurden. Ein mit einem Takeling versehener Bleistift bewährte sich dabei als Schreibgerät. Vier Tage später vermerkte ich im Tagebuch: „Harte Tage liegen hinter uns. Tage in heißer Tropensonne, reflektiert von hellem, kahlem Kalkfels. Tage des Durstes. Zwei Tage waren wir gänzlich ohne Wasser. Tage üblen Gesundheitszustandes und Sodbrennens. Tage mit nächtlichen Gewittern, Sturm und Regen, bei denen das Sonnenzelt abgebaut werden mußte und schließlich alles durchgeweicht wurde. Doch am anderen Morgen brannte die Sonne ebenso erbarmungslos hernieder wie zuvor. Gestern Abend brachten uns Fischer endlich Wasser. Ich trank innerhalb einer halben Stunde zwei Liter. Sofort besserte sich mein Befinden. Olban erging es nicht anders.“

Bei rationeller Lebensweise konnte ich mein Vier-Monate-Budget auf sieben Monate ausdehnen, ehe ich wieder ein Frachtschiff der Deutschen Seereederei Rostock bestieg und für wenig Geld mit Kisten voller Sammelgut und meinem desolaten „Moskwitsch“ gen Heimat trailte. Ich hatte über 100 Stationen hinsichtlich der Morphologie dortiger Riffe, der darin herrschenden abiotischen Faktoren und der Deckungsgrade der Hartkorallen aufgenommen, woraus eine erste Ökologie der kubanischen Korallenriffe hervorging (Kühlmann, 1971 b, 1974). Einige neue Erkenntnisse seien vermerkt: Weiterentwicklung der tauchertechnischen Arbeitsmethodik in Korallenriffen (Kühlmann, 1971 a). - Erfassung wichtiger abiotischer Parameter, ihre Einschätzung als positiv oder negativ wirkende Umweltfaktoren und ihre Bedeutung als Kausalnexus (Kühlmann, 1970 b). - Erkennen der Struktur des felsigen Siedlungssubstrates, insbesondere der Inklination desselben, als gravierender, auf die einzelnen Korallenarten und deren Wuchsformen Einfluß nehmender Faktor. - Charakterisierung der Riffhabitats und detaillierte Analyse der Korallenassoziationen unter differenzierten ökologischen Bedingungen. - Quantitative Differenzierung der häufigsten Korallenarten als Kalziumkarbonatproduzenten zum Aufbau der Riffe.

Resultate aus der Tiefwasserzone

Hinsichtlich der eigenartigen Morphologie der nordkaribischen Korallenriffe hatte schon Darwin (1899: 206) „beträchtliche Zweifel betreffs ihrer Classification“. Er vermochte auch nicht, ihre Entstehung nachzuvollziehen. Die nordkaribischen Korallenriffe sind tatsächlich durch einige besondere Eigenschaften auffällig. Sie sind klein, nur wenig höher als 15 m, gleichsam unterentwickelt und gegenüber hochenergetischer Hydrodynamik nicht sehr resistent (Newell, 1959). Auffällig ist ferner, daß sie nicht bei glazial abgesenktem Meeresspiegel dem Schelfrand mit seinen optimalen Turbulenzen aufgewachsen sind, sondern mitten auf den Terrassen, die Kuba und anderen Inseln vorgelagert sind. Vor den Küsten Bänke bildend, wurden sie von Newell (1959) als „Bankriffe“ bezeichnet. Zwischen ihnen und den Inseln liegt ein 100 bis 1.000 m breites Stillwassergebiet, doch liegen sie manchmal auch

weit draußen in der See, wie beispielsweise das Riff von Cayo Macao. Ich machte mir Gedanken über ihre Entstehung, wobei der glaziale Einfluß schon von Newell erwähnt wurde. Doch in welcher Weise die letzte Eiszeit auf die nordkaribischen Korallenriffe wirkte und wie sie nach dieser Iow-Eiszeit entstanden, war nicht bekannt, bis mir ein Tauchabstieg zum Schelfrand vor der Nordküste Kubas die Augen öffnete.

Damals, im Juli 1966, hatte die Academia de Ciencias an der Nordküste vor Rincon de Guanabo in 18 Meter Tiefe eine Unterwasserstation verankert. Um den mehrtägigen Aufenthalt der beiden darin arbeitenden Aquanauten abzusichern, hatte die Marina de Guerra (Kriegsmarine) ein Arbeitsschiff mit Taucherarzt, Marinetauchern, Dekompressionskammer und Kompressor in die Nähe gelegt. Von dort bis zum Schelfrand war es nicht weit. Wir ankerten am frühen Vormittag mit der Barkasse über dem Schelfrand. Olban und ich gingen zu Wasser und schwebten am Ankertau abwärts. In 40 m Tiefe wurde mir ein wenig schlecht. Ich war wohl zu schnell abgetaucht. So hielt ich mich am Tau fest und ruhte etwas aus. Dann schwamm ich langsam weiter abwärts. Bei etwa 55 m Tiefe hatten wir die dunstig wirkende Planktonschicht durchbrochen. Unter uns lag im dunkelultramarinblauen Licht der Tiefe der Rand des kubanischen Schelfes. Wir schwebten über einem etwa 60 m breiten und 15 m tiefen Tal, das zur Abbruchkante des Schelfes erweitert war. Dort also ist Kuba wirklich zu Ende, dachte ich, dort geht es hinab in die Tiefsee. Es reihten sich hier viele solcher Täler nebeneinander. Sie wechselten mit kleinen Höhenrücken ab und machten so die Topographie des Schelfrandes aus. Das Tal war mit hellem Sand wie mit Schnee bedeckt. Der Schelfrand war mit allen möglichen schwarzen Figuren bewachsen.

Ich bedeutete Olban zurückzubleiben und schwebte hinab in dieses von einem tiefen Blau übergossene Hell und Dunkel. Mein Tiefenmesser zeigte 71 m. Ich sah mich um, befand mich in einer Wolke von weißem Staub. Ich hatte bei der Landung den feinen Silt aufgestört, der überall den Fels bedeckte. Man mußte sich hier vorsichtig bewegen, wollte man die Sicht nicht verderben.

Auf der Schelfkante wuchsen Schwämme, Horn- und Dörnchenkorallen. Die Schwämme ähnelten Blättern, Ohren, Röhren, flachschaligen Likörgläsern, ineinander verschlungenen und plötzlich erstarrten Würmern. Manche Schwämme waren weich, zart, einige wie erstarrter Schaum, andere spröde. Faßte man sie zu derb an, drangen ihre glasartigen Skelettnadeln in das Fleisch ein. Ich spürte sie noch einige Tage später unangenehm stechend in den Fingern. Ich vermeinte, aus der zarten oder spröden, zerbrechlichen Beschaffenheit der Schwämme die durch Wellen unberührte Stille des tiefen Wassers zu spüren. Die Korallen glichen langen, elastischen Peitschen. Sie ragten meterweit ins Wasser. Einige waren spiralig gewunden, andere gröber oder feiner verzweigt.

Nach etwa zehn Minuten hatte ich das Gefühl, es sei Zeit zum Aufstieg, denn der Luftverbrauch in der Tiefe ist wegen der 8 atm Außendruck hoch. Dann merkte ich auch schon etwas verblüfft, wie die Luft schwerer kam. Ich mußte kräftig saugen. Ich wußte sofort, noch

ein Schluck, dann war sie alle. Mit diesem letzten Schluck stieg ich zu Olban auf. Ich umfaßte mit der rechten Hand das Ankertau und trat aufwärts: rhythmisch, gleichmäßig, kräftig. Meine Gedanken hatte ich völlig auf meine Rettung konzentriert. Mein Gehirn funktionierte schnell und ruhig. Ich wußte, daß beim Höhersteigen und Nachlassen des Außendruckes noch etwas Restluft aus den Stahlflaschen frei wird. Dieser Gedanke beruhigte mich, gab mir Sicherheit, ich könnte vielleicht doch die Wasseroberfläche erreichen. Die Luft, die in meinen Lungen verblieben war, atmete ich bewußt kräftig aus, um möglichst viel CO₂ abzuräumen. Das Ankertau durfte ich auf keinen Fall fahren lassen, denn es führte direkt zur Barkasse. Dort war ich geborgen, konnte etwas verschnaufen. Dort lag ein zweites Gerät bereit, das ich glücklicherweise vorher fertiggemacht hatte. Mit dem konnte ich wieder abtauchen und die Dekompressionszeiten nachholen. Die Luft, die ich noch bekam - vielleicht, fünf, sechs winzige „Schlucke“ - war sehr, sehr dürrig. Das Erstickungsgefühl wurde stärker, je höher ich kam. In etwa 30 m Tiefe hatte ich einen schwachen Punkt. Ich war nahe dran, mich zurückfallen zu lassen in die Tiefe, dachte „so schnell geht das“ und hatte mich schon aufgegeben. Aber das dauerte nicht lange, sicher nur den Bruchteil einer Sekunde. Die zunehmende Helligkeit gab mir wieder Hoffnung. Ich stieg weiter empor, war wieder ruhig und konzentriert. Ich wagte einen Blick nach oben. Da war die Oberfläche, silbrig grau, durch die von den Wellen verursachte Lichtbrechung mit unruhigen, dunklen Flecken versehen. Jetzt wußte ich, daß ich es schaffe. Wenig später durchstieß ich die Wasseroberfläche, riß den Atemschnlauch aus dem Mund und schöpfte, mich am Ankertau festhaltend, tief Luft. Dann sah mich der Patron (Bootsführer) und rief den anderen zu: „El esta negro!“ (Er ist dunkel!). Sicher hatte ich eine cyanotische Hautfarbe angenommen.

Ich wertete aus: Die sich am Schelfrand mit kleinen Höhenrücken abwechselnden Täler waren offensichtlich Erosionsrinnen aus der Zeit, als sich der glaziale Meeresspiegel merklich tiefer als der rezente befand. Mit dem Abschmelzen des Kontinentaleises stieg derselbe zwar wieder an, doch waren die Wassermassen so stark ausgekühlt, daß ihre Erwärmung Jahrtausende dauerte, bis die im Süden überlebenden Steinkorallen die nordkaribischen Küsten wieder besiedeln konnten. Der Meeresspiegel hatte damals den heutigen Schelfrand längst überflutet, und die vom lichtdurchfluteten Flachwasser abhängigen riffbildenden Korallen wuchsen nun mitten auf den Inselterrassen. Sie lagerten Kalksedimente ab, folgten dem weiter ansteigenden Meeresspiegel und bildeten die heute mitten auf den Terrassen gelegenen Bankriffe. Lokale Oszillationen des Untergrundes, die man heute noch verfolgen kann, bewirkten, daß die Tiefenlage ihrer Basis zwischen 14 m und 18 m variiert. Somit war der Tieftauchgang zum Schelfrand die Geburtsstunde der die Genese der nordkaribischen Riffe erklärenden „Hemmungs- und Verzögerungstheorie“ (Kühlmann, 1970 a).

Die Resultate meiner Kuba-Arbeiten unterstützten zwei wesentliche Ereignisse in meinem Leben. Erstens übernahm ich 1968 die Abteilung „Marine Tier-

gruppen“ im Berliner Naturkundemuseum, die seit 1944 verwaist war, weil mein Vorgänger, der Spongiologe Professor Walther Arndt, wegen der von ihm geäußerten Meinung, der Krieg sei verloren, von den Nazis ermordet worden war (Kühlmann, 1985 c). In ihr befanden sich neben den Schwämmen, Stachelhäutern, Manteltieren und einigen zahlenmäßig kleineren Tierstämmen auch die Cnidaria (Nesseltiere) mit den Steinkorallen. Zum zweiten wurde ich 1973 auf dem „Second International Symposium on Coral Reefs“ in Australien als Mitglied des „International Committee of Coral Reef Research“ mit Konsultationsstatus zur UNESCO gewählt. Letztgenannte Position bewirkte sowohl das Bekanntwerden in internationalen Fachkreisen als auch eine positive Einstellung vorgesetzter Dienststellen zu meinen Arbeiten. Beides war wichtig. Ich erhielt Einladungen nach Übersee und zweimal die Möglichkeit, auf Frachtschiffen der Deutschen Seereederei preisgünstige Forschungs- und Sammelreisen nach Ostafrika und in das Rote Meer zu unternehmen. Meine Frau, bislang im Institut für Allgemeine Botanik tätig, wurde in meine Abteilung übernommen. So war ich sicher, daß während meiner Abwesenheit die äußerst notwendig gewordenen Ordnungs- und Pflegearbeiten in den Sammlungen planmäßig weitergeführt wurden. Der Aufstieg aus über 70 m Tiefe hatte mein Selbstvertrauen so gestärkt, daß ich auch in den folgenden 30 Jahren oft die auf 40 m Tiefe festgelegte Sicherheitsgrenze - z. B. im Roten Meer, vor den US-Virgin Islands, in Französisch Polynesien oder auf den Philippinen - untertauchte. Bei Tauchaktionen in über 70 m Tiefe erwies es sich als günstig, ein zweites Druckluft-Tauchgerät an einer Boje auf halbe Tiefe zu legen. Wenn man lotrecht ab- und wieder auftaucht, verfehlt man es nicht, legt das leergeatmete Gerät ab, schlägt es an der Bojenleine an und nimmt das volle Gerät auf. Der Aufstieg erfolgt arbeitend, wobei man gleichzeitig dekomprimiert - eine sehr effektive Methode. Abgesehen davon, daß es einfach reizvoll ist, in die stille, dunkelblaue Tiefe hinabzuschweben, verfolgte ich dabei die Frage nach der Tiefenverteilung der riffbildenden Korallenarten (Kühlmann, 1983). Dabei stellte sich heraus, daß die meisten, die im Flachwasser anzutreffen sind, auch in die Ruhigwasserzone unterhalb 30 m vordringen. Umgekehrt fand ich fragile Tiefwasserarten, wie *Leptoseris incrustans*, *Leptoseris mycetoseroides*, *Coscinarea monile*, *Alveopora verrilliana* und *Mycedium elephantotus*, auch an schattigen Steilwänden in energiearmen Flachwasserbereichen. Im Flachwasser häufige Arten, die sich in der Tiefwasserzone eines Riffes angesiedelt hatten, zeigten abgewandelte fächer-, scheiben- oder schindelförmige Ökomorphe. Eine Tiefwasser-Korallenassoziation zeichnet sich also einerseits durch spezielle Arten, andererseits auch durch stark abgeflachte Wuchsformen aus, die besonders geeignet sind, das in der Tiefe vorhandene Restlicht optimal für die Assimilation ihrer Symbiosealgen zu nutzen.

Im Roten Meer per Frachtschiff

Zwei Sammel- und Forschungsreisen unternahm ich 1970 und 1976 mit Frachtschiffen nach Ostafrika und



Abb. 7: Korallenarbeiten vor Ostafrika. Indik, Kenia.

in das Rote Meer. Beide Male begleitete mich Jörg-Sepp Lüdecke, ein ebenso begeisterter wie befähigter Präparator aus dem Museum für Naturkunde in Berlin. Er war außerdem technisch begabt und hatte das entsprechende Gemüt, monatelange Seereisen ohne psychische Schwierigkeiten zu überstehen. Überdies lassen sich Frachtschiffe von einer kleinen Forschungsgruppe gut nutzen, wie ich schon von meiner Kubareise und von Reedeliegezeiten vor Veracruz, Mexiko, wußte, die ich zur Erkundung und Beschreibung dortiger „Kranzriffe“ nutzen konnte (Kühlmann, 1975). Sie haben trotz Frachtgut immer Platz zum Unterbringen mitgebrachter kleiner Arbeitsboote und der Tauch- und Arbeitsausrüstung, einschließlich des Hochdruckkompressors. Auf ihnen findet man ausgeglichene, freundliche, hilfsbereite Menschen, denn

Abb. 8: Funken- oder Fahnenfische (*Anthias squamipinnis*) im Schutze einer mehrere hundert Jahre alten Porenkoralle (*Porites lobata*, Dana). Rotes Meer, Sudan.



Seeleute sind nun einmal so. Außerdem konnten Ingenieure und Funker Außenbordmotore und Elektroblitzgeräte reparieren. Und vor allem waren die oft wochenlangen Reede- und Hafentiegezeiten gut zum Arbeiten in den Korallenriffen nutzbar.

Im Juni 1976 lag unser 10.000-t-Frachtmotorschiff „Georg Schumann“ auf der Außenreedee von Hodeida, Jemen, vor Anker und wartete auf den Bescheid, in den Hafen verholen zu können, um Ladung zu löschen. Da konnten wir lange warten, wochenlang, denn 18 Schiffe waren vor uns. Unser Trinkwasser ging zur Neige. Mit unserer Aufbereitungsanlage konnten wir zwar selbst solches herstellen, aber das Wasser um uns wies milchige Wolken auf. Irgendein Schiff hatte mit Giften und Detergenzien seine Tanks gesäubert. Die Giftwolken trieben hinüber ins Riff und vernichteten, wie wir feststellen mußten, alles Leben. Scharen von Seeschwalben und Möwen hatten sich schon über die aufgetriebenen toten Fische hergemacht und vergifteten sich nun auch. Da wir hier ohnehin nichts bewirken konnten, liefen wir 50 m südwärts und ankerten in der Südbucht der Vulkaninsel Djebel Sukar, wo das Wasser sauber und der Fischreichtum groß war. Das hatte mehrere Vorteile: Wir konnten unbesorgt unsere Trinkwassertanks füllen, die Angler zogen begeistert „Kingfische“ (*Acanthocybium solandri*), und kupferrote Schnapper (*Lutjanus bohar*), hin und wieder einen Hai, einmal sogar den hochgiftigen Steinfisch (*Synanceja verrucosa*) an Bord. „Kingfische“ und Schnapper sorgten in unserem Speiseplan für Abwechslung.

Die schönste Insel aber lag westlich querab: Tongue Island. Sie war ringförmig wie ein Atoll, das teilweise aus dem Wasser lugte. Der Durchmesser ihrer 40 m tiefen Lagune betrug vier Kabellängen. Das ganze Gebilde war ein kleiner Nebenkrater von dem Vulkan Djebel Sukar, der abgesunken und durch den postglazialen Anstieg des Meeresspiegels teilweise unter Wasser geraten war. An neun Tauchtagen wurden wir um 5.30 Uhr geweckt, um 6.15 Uhr ausgesetzt. Näherten wir uns mit unserem kleinen Boot nach ein- einhalb Stunden Fahrt der Insel, flogen uns die dort brütenden Tölpel entgegen. In der Morgensonne lag Tongue Island vor uns wie ein zusammengefallener, alter Napfkuchen: ein gelblicher, 51 m hoher, kahler Sandsteinhügel, durchsetzt mit schwärzlichen Vulkanbomben und bedeckt mit Erosionsrinnen. Aber dieser klägliche Eindruck änderte sich sofort, wenn sich unser Boot am Nordostende der größeren Insel vorbeischoob. Von der Lagune aus betrachtet, glich nun der Napfkuchen der imposanten Kulisse eines verfallenen Kolosseums. Wir beschlossen, an dem in Lee gelegenen Felsrücken zu arbeiten. Der steil in die Lagune abfallende Innenhang war von vielen verschiedenen Korallenarten bewachsen. Durch die Caldera vor Ab- rasionen geschützt, hatten die Kolonien teilweise Riesenwuchs erreicht. An auffälligen Großfischen begegneten mir schon bei dem ersten Orientierungstauchgang eine ausgewachsene Muräne (*Lycodontis undulatus*), eine Schar Barrakudas (*Sphyræna* sp.) und ein kleiner dicker Schwarzflossenhai (*Carcharhinus brevipinna*). Zusammen mit der bunten Schar der kleineren Riffische zeugte das von einem vor Leben strotzenden Korallenriff.

Nach sechs Tauchtagen hatte Sepp eine geschwollene und aufgeplatzte Unterlippe. Meerwasser brannte darauf wie Feuer. Er mußte aussetzen. Meine Arme und Beine waren zerschunden und verbrannt von scharfspitzigen Korallen, vor allem *Galaxea*, und anderen am Boden wachsenden Nesseltieren. Wenn wir am frühen Nachmittag an Bord zurückkamen, waren wir so richtig schön fertig. Trotzdem war der nächste Tauchgang vorzubereiten. Wir tauchten drei Tage hintereinander und setzten dazwischen einen Tag aus. Wir freuten uns dieser extravaganten Gelegenheit zum Arbeiten und beendeten die korallensoziologischen Aufnahmen am Ostriff. Der Außenhang lag in Lee. Deshalb war sein Bewuchs nicht krass zoniert. Der in den dunklen Vulkankessel hinabführende Innenhang nahm bei der Vielfalt seiner Korallenarten, die abschnittsweise gesammelt werden mußten und deren Deckungsgrade artenweise zu ermitteln waren, viel Zeit in Anspruch. Das gesamte üppig bewachsene Riff war nichts weiter als der unter Wasser geratene Kraterstand des erloschenen kleinen Vulkans. Die von Korallen und Kalkalgen in seiner oberen Hälfte gebildete Kruste war so dünn, daß die Strukturen und Schichtungen des verworfenen Gesteins noch deutlich zu sehen waren. Wir hatten hier offenbar eine sehr junge geologische Struktur vor uns, ein Atoll im Sinne von Alexander von Humboldt (1806), der ein Korallenatoll als auf einem Vulkankrater aufgewachsen erklärte. Das wurde zwar später durch Darwin (1837) widerlegt, doch in diesem seltenen Fall hatte A. von Humboldt recht: Auf der Caldera war ein junges Korallenriff entstanden (Kühlmann, 1994).

In der Südsee

Das Muséum National d'Histoire Naturelle in Paris besaß eine kleine Außenstelle auf der zauberhaft schönen Vulkaninsel Moorea, gegenüber von Tahiti in Französisch Polynesien. Zackig erhob sich der halbe Kraterstand bis in über 1.000 m Höhe, die andere Hälfte war kollabiert und im Meer versunken. Moorea war eine grüne Insel von etwa 30 km Durchmesser, denn man hatte darauf geachtet, daß der Wald, der im vergangenen Jahrhundert der Plantagenwirtschaft zum Opfer gefallen war, mit schnellwüchsigen Kiefern nachgeforstet wurde. Die Küste säumte ein breiter Kokospalmengürtel. In seinem Schatten lagen zerstreut Häuser. Moorea wurde von einem Wallriff umgeben. Durch die 500 bis 1.000 m breite Lagune wand sich eine gut gekennzeichnete Fahrwinne, die von kleinen Booten befahren werden konnte. Die Außenstation lag an der Nordküste. Sie bestand aus einer Baracke mit einem kleinen Anbau. Hier arbeiteten zur Zeit meines Aufenthaltes 1978 Odile, Gilbert und Jean. Gilbert war der Leiter der Station. Er schlief draußen in einem Zelt, weil für vier Mann nicht genug Platz war. Wir waren guter Dinge, denn die Arbeiten gingen voran und das einfache feldmäßige Leben gefiel uns. Täglich tauchte ich am Riff und führte soziologische Untersuchungen an dem üppigen Korallenbewuchs durch. Die Arten wuchsen bis in 10 m Tiefe ungeordnet durcheinander, wobei *Acropora* und *Pocillopora* dominierten. Darunter ging der Anteil der gegen stärkere Wasserbewegung resistenten und tisch-



Abb. 9: Den Gelbschwanzbarschen (*Dascyllus flavicaudus*) dient eine „Wohnkoralle“ (*Pocillopora elegans* Dana) als Zufluchtsort. Moorea, Französisch Polynesien.

förmigen *Acropora robusta*, *A. hyacinthus* und *A. humilis* zurück und feiner verzweigte *Acropora nobilis*, *A. microphthalmia*, *A. nasuta* und *A. valida* wurden auffällig. Ab 20 m Tiefe wurden *Acropora*-Arten selten, dafür z. B. *Psammocora*, *Astreopora*, *Montipora*, *Pavona*, *Leptastrea*, *Leptoseris*, *Napopora* und *Pachyseris* häufiger. Die unterschiedlichen Korallengesellschaften bildeten sich auch hier unter Einfluß der differenzierenden Faktoren Licht, Wasserbewegung, Substrat und Sedimentation (Chevalier & Kühlmann, 1983).

Das wurde auch bei den sich anschließenden analogen Untersuchungen im Atoll Takapoto, das im Tuamotu-Archipel gelegen ist, deutlich, wo in Luv am Außenhang in 20 m bis 50 m Tiefe überwiegend schindel- und fächerförmige Kolonien von *Porites australiensis*, *Leptoseris incrustans*, *L. mycetoseroides* und *Synaraea convexa* das Bild der Korallenasoziation am Steilhang bestimmten. Hierbei wurde einmal mehr deutlich, daß z. B. im Flachwasser mas-

Abb. 10: Auf ebenem Felsgrund in 5 - 6 m Tiefe dominieren gegen kräftige Hydrodynamik resistente Arten, wie *Acropora hyacinthus* (Dana), *A. robusta* (Dana), *Pocillopora verrucosa* (Ellis & Solander) und *Pocillopora elegans* Dana. Moorea, Französisch Polynesien.



siv wachsende *Porites australiensis* und nach oben verzweigte *Pocillopora verrucosa* ihre Kolonien abflachten (Kühlmann & Chevalier, 1986).

Sieben Jahre später war ich wieder Gast der Außenstation auf Moorea. Sie war in neu errichtete Gebäude mit Laboratorien, Bibliothek und Schlaf- und Gesellschaftsräumen umgezogen. Ich tauchte wieder an meinem altbekannten Riff vor Tiahura und war erschrocken: „Was war aus dem 1978 mit einem dichten Bestand gesunder Steinkorallen überzogenen Hang geworden? Alle, aber auch wirklich alle Korallen waren tot. Ihre Skelette waren bereits so abgeschliffen und mit Kalkalgen bewachsen, daß sie sicher schon vor mehreren Jahren abgestorben waren. Ein französischer Kollege erzählte mir nach dem Tauchgang: Vor sechs Jahren sind sie kontinuierlich eingegangen. Sie bekamen weiße Flecken, verloren ihre Symbiosealgen und starben ab. Dornenkronen mögen dann den Prozeß beschleunigt haben. Die extreme El-Niño-Wetterlage im Südpazifik mit der starken Erwärmung war erst danach, konnte also der Grund nicht sein. Eine Mehrbelastung des Wassers durch anthropogene Abstoffe war nicht ersichtlich. Wahrscheinlich war also das spontane Auftreten einer Korallenkrankheit der Grund. Oder die Atombombenversuche auf dem um 300 sm südlich gelegenen Atoll Mururoa, wie einige meinten. Doch war der Nachweis nicht zu führen.“ (Tagebuch, 9.6.1985).

Ishigaki: Korallenriffe unter Stress

1984 folgten der Australier Charlie Veron und ich einem japanischen Regierungsauftrag auf die Insel Ishigaki, weit südlich in der Riukiu-Kette. Dort sollte auf einem Korallenriff ein großer Flughafen angelegt werden, um den vorhandenen kleinen zu ersetzen. Die ganze Insel war im Rahmen eines sogenannten Entwicklungsprogrammes schon jetzt ein einziger Bauplatz: Der Hafen wurde ausgebaggert und vergrößert, Straßen wurden auf der etwa 35 km langen, rautenförmigen Insel gebaut, Kabel und Leitungen über und unter Wasser verlegt, neue Gebäude entstanden. Zur Ausführung dieser Arbeiten waren viele Arbeiter auf die fruchtbare Tropeninsel gekommen, die alle versorgt werden mußten. Das war die große Stunde der Bauern, verstärkt Reis, Gemüse, Zuckerrohr und Obst anzubauen, Rinder und Schweine zu mästen. Die Felder wurden mit Kunstdünger und giftigen Pflanzenschutzmitteln überladen. Der dort herrschende starke Wind und Regen von über 2.000 mm/Jahr schwemmte den Überschuß in die Korallenriffe. Hinzu kamen das durch Baumaßnahmen freigelegte und durch Regen ins Meer gespülte Erdreich und die durch Baggerarbeiten aufgestörten Sedimente. Jetzt hatten die Fischer protestiert, weil ihr Fang drastisch zurückgegangen war. Nun sollten mein australischer Kollege als Taxonom und ich als Ökologe den Zustand der Korallenriffe erkunden. Wir tauchten rund um die Insel und beobachteten die Folgen dieser vielfältigen Aktivitäten. Ich zitiere dazu die ersten beiden Arbeitsstationen aus dem Tagebuch vom 2.11.1984: „Sehr unfreundliches Wetter, nördlicher Wind, Bewölkung 10/10, zeitweise Regen, Luft 20 °C. Es ging in flotter Fahrt zur Tauchstation 1, einige hundert Meter südlich

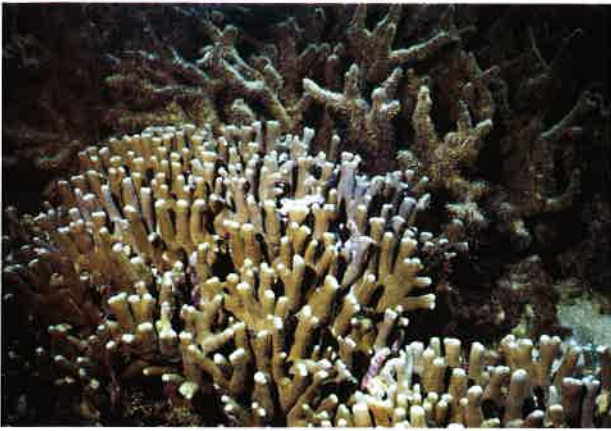


Abb. 11: Bei Veränderungen des Wasserchemismus durch anthropogene Einflüsse sterben zuerst die empfindlichen *Acropora*-Arten, während *Porites* zunächst noch weiterlebt. Ishigaki, Riukiu-Inseln.

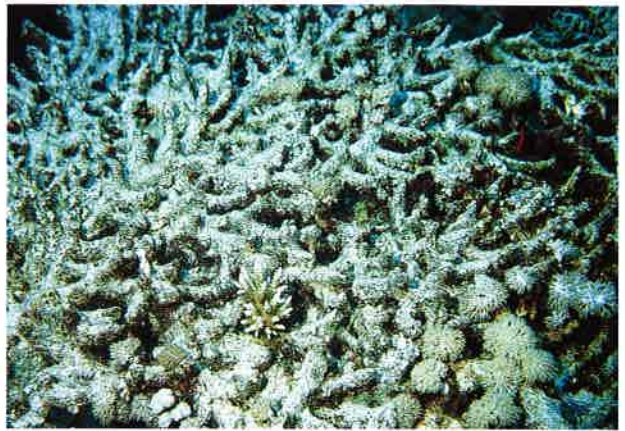


Abb. 13: Skelett einer abgestorbenen *Acropora pharaonis* (Edwards & Haime), auf dem sich hoffnungsvoll eine junge *Acropora* angesiedelt hat. Rotes Meer, Sudan.

Kannon Point. Das Wasser war flach. So schnorchelten wir zunächst zum Ufer und von dort aus wieder seewärts. Insgesamt war der Anblick dieser sterbenden Korallengesellschaften tröstlos. Hier wurde eine Kabelrinne ausgebaggert, etwa 2 m tief in den Grund, die vom Ufer aus zur Nachbarinsel Iriomote hinüberführte. Station 2 lag in der Nagura-Bay. Dort sah es noch tröstloser aus, denn die Küstenstraße, die direkt an der Bucht entlangführte und teilweise aufgeschüttet worden war, war ebenfalls erst vor einigen Jahren fertiggestellt worden. So waren enorme Mengen Erde reich vom Regen in die Bucht eingeschwenkt worden. Wir tauchten bei 3 m Tiefe. Der Grund unter uns war zu 70 % mit toten *Acropora*-Zweigen bedeckt. Auf den toten Zweigen wuchsen Rot-, Braun- und Blaualgen, Alcyonarien, Tunicaten, etwas *Padina*, und Schwämme. Dazwischen lagen vereinzelt auch tote Hirnkorallen und *Favia*, von letzteren einzelne lebend. Der Fischbestand in dieser Thanatozönose (Totengesellschaft) war kümmerlich: einige wenige Mulliden, Pomacentriden, Gobiiden und Siganiden - das war alles. *Acanthaster planci*, der Dornenkronenseestern,

fraß die letzten *Favia*-Kolonien. Die feinen Oberflächenstrukturen der Korallenskelette waren häufig so gut erhalten, daß man noch die Art bestimmen konnte. Das war ein sicheres Indiz dafür, daß der Tod erst vor kurzer Zeit sehr schnell eingetreten war. Doch existierten auch einige wenige, noch gut erhaltene, gesunde Korallenriffe.“ Hierzu eine Tagebuchaufzeichnung vom 8. 11. 1984: „Etwa 2.000 m vor der Küste liegt die Yonehara-Bank, ein ziemlich großes Fleckriff von 500 x 250 m. Wir tauchten am seewärtigen Riffabfall. Hier draußen betrug die Sicht 15 m. Über 500 m lange Riffsporne und -gräben strichen seewärts bis in 20 m Tiefe aus. Die seitlichen Wände der Riffsporne waren ziemlich steil, nicht allzu zergliedert, jedoch mit genügend Nischen für eine vielartige Korallenbesiedlung. So hatte es sicher vor dem Development Programme hier überall ausgesehen.“

Als ich am Ende unseres Arbeitsaufenthaltes die Ergebnisse überblicken konnte, stellte ich Folgendes fest: Die meisten Riffe der Insel Ishigaki zeigten tote oder kranke und stark reduzierte Korallenbestände.

Abb. 12: Auch *Porites cylindrica* Dana stirbt jedoch unter starkem, anhaltendem Stress ab. Ishigaki, Riukiu-Inseln.



Abb. 14: Die Dornenkronen-Seesterne (*Acanthaster planci*) weiden das lebende Gewebe der Steinkorallen ab und lassen nur das tote Skelett zurück. Rotes Meer, Jemen.



Einige wenige aber waren mit gesunden Korallenstöcken normal bewachsen, die einen Gesamtdeckungsgrad von 40 - 80 % aufwiesen. Der Grund für diese unterschiedlichen Zustände lag im Küstenbereich. Dort befanden sich Reste des ursprünglichen Regenwaldes. Der dichte Dschungel fing die herangeschwemmten anthropogenen Schadstoffe ab und absorbierte sie. Sie gelangten nicht in die Riffe. Ich konnte diese interessanten Ergebnisse mit dem F-Test und den Tests nach Wilcoxon sowie nach Cochran und Cox mathematisch absichern (Kühlmann, 1985 a). - Die Schlußfolgerung liegt auf der Hand: Durch dichte Wiederbepflanzung der heute landwirtschaftlich genutzten Uferstreifen könnten Korallenriffe vielfach gerettet werden. Welch ein Gewinn für die Gesundheit des Weltklimas, denn Korallenriffe sind CO₂-Senken (Kühlmann, 1988).

Synthese

Wenn man jahrzehntelang auf einem Gebiet wissenschaftlich arbeitet, bleiben Syntheseversuche nicht aus. Ich möchte abschließend drei nennen:

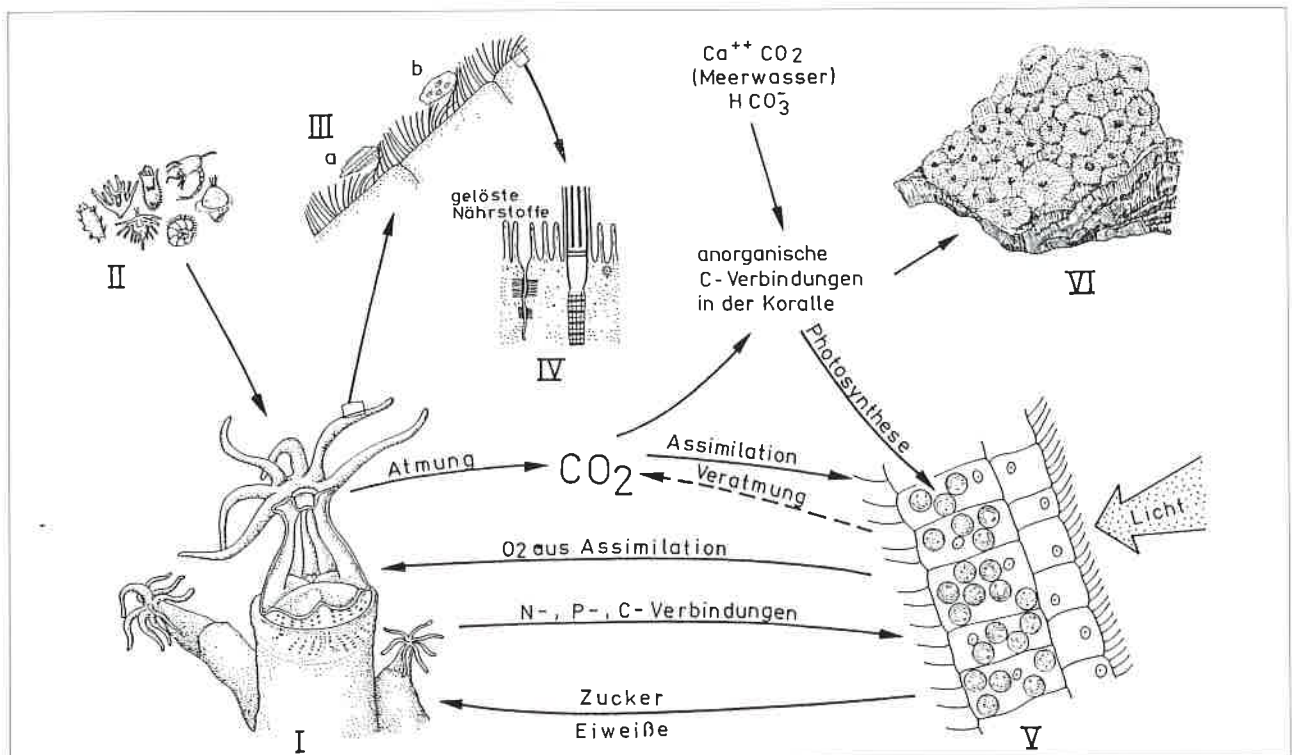
1. Eine Charakterisierung der riffbildenden Steinkorallen nach ökophysiologischen Aspekten. Danach ließen sich zunächst vier Gruppen unterscheiden:

Abb. 15: Schema des differenzierten Ernährungsmusters hermatypischer Steinkorallen, auf dem das schnelle Wachstum mit der hohen CaCO₃-Produktion basiert. I Koralle; II Planktonnahrung; III a Cilientransport größerer, III b mikroskopisch kleiner Nahrungspartikel; IV osmotische Aufnahme im Medium gelöster Nährstoffe durch die Zelloberfläche; V Symbiosealgen in den Endodermiszellen; VI Korallenkolonie (aus Kühlmann, 1991).

- a) Die am zahlreichsten vertretenen hermatypisch-symbiotischen Korallen, also riffbildende, mit einzelligen Algen zusammenlebende Arten;
- b) die selteneren hermatypisch-aposymbiotischen Arten - zwar großwüchsig, aber ohne Symbiosealgen;
- c) die außerhalb tropischer Riffe in warm-gemäßigten Meeren kleinere Riffe bildenden hermatypisch-symbiotischen Korallen und
- d) die in den dunklen, kalten Tiefen lebenden, meist solitären und ahermatypisch-aposymbiotischen Arten (Kühlmann, 1984).

Später ergänzten und präzisierten Schuhmacher & Zibrowius (1985) die Übersicht. Die Gruppe c) untersuchte ich 1992 - 1994 im Mittelmeer und fand, daß die bei optimalen Bedingungen metergroße Kolonien bildende *Cladocora caespitosa* in der Periode nach-eiszeitlicher Erwärmung im Verein mit anderen kalkabscheidenden Organismen kleine, bis 3 m hohe Riffe gebildet hatte (Kühlmann, 1996).

2. Die drei klassischen Rifftypen von Darwin - Saumriff, Barriereriff und Atoll - werden noch immer als Standard verwendet. Sie sollen auch nicht in Frage gestellt werden, doch wäre es befremdend, wenn die inzwischen neben der Senkungstheorie von Darwin gefundenen weiteren Theorien über Korallenriffentstehungen - v. Humboldt, 1806; Daly, 1910; Hoffmeister & Ladd, 1944; Kuenen, 1947; Kühlmann, 1970 a, 1975, 1989 - nicht auch zu weiteren Riffotypen geführt hätten (Kühlmann, 1982). Mit anderen Worten: Man sollte Korallenriffe nicht nur nach ihrem äußeren Erscheinungsbild typisieren, sondern nach ihrer Entstehungsgeschichte (Kühlmann, 1985 b). Ein ringförmiges Korallenriff mit einer Zentrallagune ist nicht immer



ein Atoll. Ich fand vor Veracruz, Mexiko, die völlig anders entstandenen „Kranzriffe“ (Kühlmann, 1975) und im Roten Meer das bereits erwähnte „Kraterriff“. Das „Bankriff“ von Newell (1959) konnte ich als eigenständigen Rifftyp bestätigen. Das „Wallriff“, von Darwin 1837 beschrieben und später nicht mehr weitergeführt, ist m. E. durchaus ein eigenständiger Rifftyp. Es umgibt viele aus Urgebirge bestehende Inselkerne. Alle weisen von den drei „Standardtypen“ auch hinsichtlich Morphologie, Hydrodynamik und Sedimentation abweichende Parameter auf, was nicht ausschließt, daß die anpassungsfähigen Korallen und anderen Lebewesen in verschiedenen Rifftypen analoge Assoziationen bilden.

3. Ich faßte die Anpassungsfähigkeit der Hartkorallen in der Adaptations- und Kompensationstheorie als Grundlage für die Genese aller rezenten Rifftypen zusammen (Kühlmann, 1989, 1991). Sie bildet gleichzeitig die Basis zur Entwicklung spezifizierter Entstehungstheorien für die einzelnen Korallenrifftypen. Neben den Ökofaktoren Substrat, Licht und Wasserbewegung wurden besonders die verschiedenen Ernährungsweisen diskutiert (Schlichter, 1983). Dabei soll hier vor allem auf die „osmotische“ Aufnahme im Wasser gelöster Nährstoffe durch die semipermeablen Zellwände hingewiesen werden. Die Entwicklung dieses an sich sehr vorteilhaften Vermögens, das wir bei vielen im Wasser lebenden Tieren antreffen (Pütter, 1909), ist bei den Korallen jedoch gleichzeitig der Grund, daß sie unter Einfluß gelöster anthropogener Stoffe, die den Chemismus im Umgebungswasser verändern, Schaden nehmen und innerhalb kurzer Zeit absterben können. Es ist auch die Erklärung des schnellen Todes der vor der Insel Ishigaki lebenden Korallen. Es wäre wünschenswert, wenn alle Menschen diese delikatsten Vorgänge begreifen. Sie sollten als permanenter Bestandteil in die Lehrpläne der Schulen aufgenommen werden. Und es wäre eine große Erleichterung für unsere gestreßte Erde, wenn die Menschen dann endlich die Sauberkeit der natürlichen Gewässer als lebenswichtige Elemente unserer Erde respektieren würden.

Literatur:

- Chevalier, J.- P. & D. H. H. Kühlmann (1983): Les scléactiniaires de Moorea. Île de la Société (Polynésie française). J. Soc. Océanistes, 39: 55 - 75.
- Daly, R. A. (1910): Pleistocene glaciation and the coral reef problem. Am. J. Sci., 30: 297 - 309.
- Darwin, Ch. (1837): On certain areas of elevation and subsidence in the Pacific and Indian Oceans, as deduced from the study of coral formations. Proc. Geol. Soc. London, 2: 552 - 554.
- Darwin, Ch. (1899): Über den Bau und die Verbreitung der Corallen-Riffe. E. Schweizerbart'sche Verlagshandlung Stuttgart, 231 S.
- Duarte Bello, P. P. (1961): Corales de los arrecifes Cubanos. Acuario Nacional, Ser. Educacion 2, Marianao, Cuba, 85 S.
- Hoffmeister, J. E. & H. S. Ladd (1944): The antecedent-platform theory. J. Geol., 52: 388 - 402.
- Humboldt, A. v. (1806): Ideen zur Physiognomik der Gewächse. Cottasche Buchhandlung Tübingen, 28 S.
- Kuenen, P. H. (1947): Two problems of marine geology: Atolls and canyons. Verh. Kon. Ned. Akad. Wet., Afd. Nat., 43: 1 - 69.
- Kühlmann, D. H. H. (1970 a): Die Korallenriffe Kubas. 1. Genese und Evolution. Int. Revue ges. Hydrobiol., 55: 729 - 756.
- Kühlmann, D. H. H. (1970 b): Studien über physikalische und chemische Faktoren in kubanischen Riffgebieten. Acta Hydrophysica, 15: 105 - 152.
- Kühlmann, D. H. H. (1971 a): Zur Methodik der Korallenriffuntersuchung. Wiss. Z. Humboldt-Univ. Berlin, Math.-Nat. R., 20: 697 - 705.
- Kühlmann, D. H. H. (1971 b): Die Korallenriffe Kubas. II. Zur Ökologie der Bankriffe und ihrer Korallen. Int. Revue ges. Hydrobiol., 56: 145 - 199.
- Kühlmann, D. H. H. (1974): Die Korallenriffe Kubas. III. Riegegriff und Korallenterrasse, zwei verwandte Erscheinungen des Bankriffs. Int. Revue ges. Hydrobiol., 59: 305 - 325.
- Kühlmann, D. H. H. (1975): Charakterisierung der Korallenriffe vor Veracruz/Mexiko. Int. Rev. ges. Hydrobiol., 60: 495 - 521.
- Kühlmann, D. H. H. (1982): Darwin's Coral Reef Research - a Review and Tribute. Mar. Ecol., 3: 192 - 212.
- Kühlmann, D. H. H. (1983): Composition and ecology of deep-water coral associations. Helgoländer Meeresunters., 36: 183 - 204.
- Kühlmann, D. H. H. (1984): Das lebende Riff. Edition Leipzig, 185 S.
- Kühlmann, D. H. H. (1985 a): The protection role of coastal forests on coral reefs. Proc. Fifth Int. Coral Reef Congr. Tahiti, 6: 503 - 508.
- Kühlmann, D. H. H. (1985 b): Living Coral Reefs of the World. Arco Publishing Inc. New York, 185 S.
- Kühlmann, D. H. H. (1985 c): Professor Dr. Dr. Walther Arndt, Wissenschaftler und Antifaschist, Kustos am Museum für Naturkunde Berlin 1921 - 1944. Mitt. Zool. Mus. Berlin, 61: 287 - 334.
- Kühlmann, D. H. H. (1988): The sensibility of coral reefs to environmental pollution. AMBIO, 17: 12 - 21.
- Kühlmann, D. H. H. (1989): Ecological adaptation and a compensatory theory of coral assemblages in the maintenance of reef growth. Mem. Ass. Australas. Paleontols, 8: 433 - 438.
- Kühlmann, D. H. H. (1991): Adaptationsmuster hermatypischer Korallen als Grundlage zum Verständnis der Korallenriffgenese. Mitt. Zool. Mus. Berlin, 67: 209 - 218.
- Kühlmann, D. H. H. (1994): Tongue Island - an atoll in the making: Among others Alexander v. Humboldt was right. Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, 172: 283 - 292.
- Kühlmann, D. H. H. (1996): Preliminary Report on Holocene Submarine Accumulations of *Cladocora caespitosa* (L. 1767) in the Mediterranean. Göttinger Arb. Geol. Paläont., Sb2: 65 - 69.
- Kühlmann, D. H. H. & J.-P. Chevalier (1986): Les coraux (Scléactiniaires et Hydrocoralliaires) de l'atoll de Takapoto, îles Tuamotu: Aspects écologiques. Marine Ecology, 7: 75 - 104.
- Newell, N. D. (1959): American coral seas. Proc. Int. Congr. London, 15: 251 - 252.
- Pütter, A. (1909) : Die Ernährung der Wassertiere und der Stoffhaushalt der Gewässer. Verlag G. Fischer, Jena.
- Schlichter, D. (1983): Ernährungsstrategien von Nesseltieren. Verh. Ges. Ökol., 10: 591 - 603.
- Schuhmacher, H. & H. Zibrowius (1985): What is hermatypic? Coral Reefs, 4: 1 - 9.

Sokotra - ein Blick auf eine außergewöhnliche Inselgruppe im Indischen Ozean

W. Wranik

Fast unbemerkt von der breiten Öffentlichkeit vollziehen sich derzeit auf der dem Horn von Afrika vorgelagerten Inselgruppe Sokotra tiefgreifende Veränderungen. Das stößt deshalb auf das Interesse vieler Wissenschaftler und internationaler Organisationen, weil sich der zum Jemen gehörende Archipel durch zahlreiche biologische und ethnologische Besonderheiten auszeichnet.

Zum Archipel zählen die mit einer Fläche von ca. 3.600 km² größte und namensgebende Insel Sokotra, das 105 km östlich des Horns von Afrika gelegene Abd al Kuri (162 km²), die als „Brüder“ bezeichneten Inseln Samha (45 km²) und Darsa (10 km²) sowie einige unbewohnte Felsklippen. Die Inselgruppe sitzt auf einem Schelfsockel, der in Verlängerung der nordsoomalischen Gebirge nach ONO zieht, und ist von der afrikanischen und arabischen Festlandsküste durch 1.000 bis 3.000 m tiefe, tertiäre Bruchzonen getrennt (Abb. 1). Stark vereinfacht gliedert sich die Hauptinsel

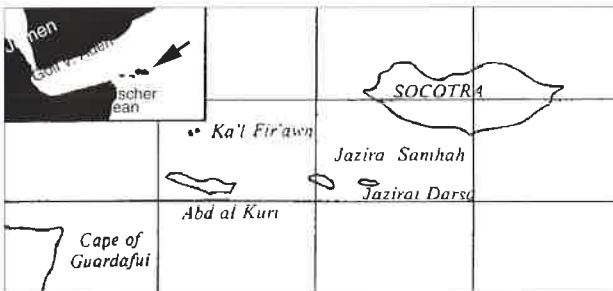


Abb. 1: Die Inselgruppe Sokotra.

Abb. 2: Satellitenaufnahme der Insel Sokotra von Bord der Raumkapsel Gemini VII (Reproduktion mit freundlicher Genehmigung der US- Raumfahrtbehörde NASA).



Sokotra, die im Mittelpunkt dieses Beitrages steht, in ein zerklüftetes Granitmassiv, dem etwas über 1.500 Meter aufragenden Haghier Gebirge, um das sich plattauartig kreidezeitlich bis jungtertiäre Kalkschichten und stellenweise auch jüngere Aufschüttungsebenen erstrecken (Abb. 2).

Man geht heute davon aus, daß die Verbindung mit dem afrikanischen Kontinent möglicherweise schon am Ende der Kreidezeit, vor 70 Millionen Jahren, etwa zur Zeit der Einbrüche des Rotmeer- und Adengolfgrabens, endgültig verloren ging. Da bei allen späteren Schwankungen des Meeresspiegels zumindest die zentralen Teile des Gebirgsmassivs niemals wieder vom Wasser bedeckt waren, gilt Sokotra als eine der isoliertesten Landmassen in der Erdgeschichte (Kossmat, 1907).

Sokotra liegt im Bereich des trocken-heißen Tropengürtels, ist aber eine wasserreiche Insel. Bisher fehlen allerdings genauere klimatische Daten. Die Temperaturen steigen am Tag im Küstenbereich meist über 40 °C, um während der Nacht etwa um die Hälfte abzusinken. Anders sind die Bedingungen in den Bergen. Hier ziehen im Verlauf des Tages fast immer Wolken auf und durch die kühleren Nächte kommt es zu Taufeuchtigkeit und Nebelkondensation. Das scheint eine wesentliche Wasserquelle für die Tier- und Pflanzenwelt in den Höhenlagen zu sein. Besonders ergiebig sind Regenfälle nach Aussagen der Inselbewohner im Herbst, dann ergießen sich auch viele Wasserläufe vom Gebirge ins Meer.

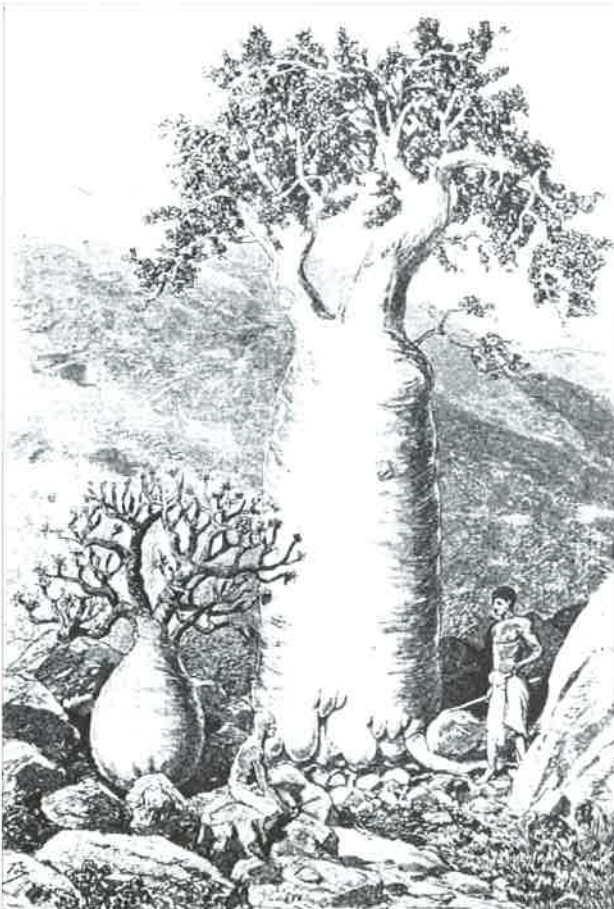
In der Antike und im Mittelalter in zahlreichen Quellen erwähnt, geriet Sokotra später mehr und mehr in Vergessenheit. Für diese Abgeschiedenheit gab es zum einen politische Gründe. So war es bis vor wenigen Jahren ohne Sondergenehmigung des Jemen nicht erlaubt, die Inseln zu betreten. Eine bittere Erfahrung, die selbst Thor Heyerdahl und seiner internationalen Crew bei der abenteuerlichen Fahrt mit dem Schiffsboot „Tigris“ vom Irak nach Djibouti im Jahr 1977 nicht erspart blieb. In der Zeit von Mai bis September existierten jedoch durch das Fehlen eines festen Hafens und eines modernen Flugplatzes bisher auch wirksame natürliche Barrieren. Der Südwest-Monsun bläst dann meist mit einer solchen Heftigkeit, daß die Inseln aus der Luft und von See nicht mehr erreichbar waren.

Diese komplizierten Bedingungen haben unter den Bewohnern traditionelle Formen des Arbeitens und Zusammenlebens fortbestehen lassen, die von Einfachheit, gegenseitiger Hilfe und einer Nutzung der begrenzten Ressourcen im Einklang mit der Natur bestimmt sind. Dadurch gilt Sokotra nach Einschätzung der Internationalen Naturschutzunion (IUCN) als eine der vom Naturzustand her am besten erhaltenen tropischen Inseln der Erde.

Die Tier- und Pflanzenwelt Sokotras

Durch die erdgeschichtlich lange Isolation weist die Inselgruppe eine einzigartige Tier- und Pflanzenwelt auf, was einige Wissenschaftler bewog, von einem „lebenden botanischen Museum der Erdgeschichte“ oder einem „Galapagos des Indischen Ozeans“ zu sprechen (Mies & Zimmer, 1993; Alexander & Miller, 1996). Es finden sich Reliktformen einer afrikanisch-arabischen, alttertiären Flora und Fauna sowie Neoendemiten, die sich nach einem zufälligen Siedeln auf den Inseln ausbreiten und in den zahlreichen ökologischen Nischen des Archipels neue Arten ausbilden konnten. Obwohl biogeographisch besonders enge Verbindungen zum angrenzenden afrikanischen Kontinent bestehen, gibt es neben Beziehungen zum arabischen Raum auch Floren- und Faunenelemente mit einer scheinbar rätselhaften fernerer Verwandtschaft in Madagaskar, auf dem indischen Subkontinent oder den Kanarischen Inseln im Atlantik. Eine Erklärung derartiger, als Disjunktionen bezeichneter Verbreitungsphänomene könnte in plattentektonischen Veränderungen im Verlauf der Erdgeschichte liegen, durch die ursprünglich großräumig auftretende Arten getrennt wurden. Und während sich einige vom Festland isolierte Bestände unabhängig voneinander

Abb. 3: Der endemische Gurkenbaum (größere Form) ist das einzig bekannte baumförmige Gurkengewächs, der äußerlich ähnliche Flaschenbaum gehört dagegen zu den Hundsgiftgewächsen (Schweinfurth, 1887).



weiter entwickelten, starben die gemeinsamen Ursprungsarten in Afrika oder Arabien aus oder wurden von konkurrierenden Arten verdrängt.

Die bedeutendsten Expeditionen, auf der die heutigen Kenntnisse über die Flora und Fauna der Insel im wesentlichen basieren, liegen bereits etwa ein Jahrhundert zurück. Zu den Wissenschaftlern, die in dieser Zeit unter schwierigsten Bedingungen die Inselgruppe bereisten und erforschten, gehörten die Briten Balfour, Bent, Bennett, Ogilvie-Grant und Forbes, die Österreicher Simony, Paulay und Kossmat sowie die Deutschen Schweinfurth und Riebeck.

Von den etwas über 800 bisher auf Sokotra nachgewiesenen Gefäßpflanzenarten gelten knapp 30 % als endemisch (Miller & Nyberg, 1991). Nachfolgend können nur einige der z. T. bizarre Formen und erstaunliche Anpassungen an die extremen Bedingungen zeigende Arten vorgestellt werden. Mit einer Höhe bis zu 5 - 6 m gelten Flaschen- und Gurkenbaum (*Adenium socotranum* und *Dendrosicyos socotranus*) als Riesenformen innerhalb ihrer Gruppen. Ihre stammartig verdickte Wurzelrube dient der Wasserspeicherung (Abb. 3). Einer weiteren Berühmtheit der sokotrischen Flora begegnet man erst in Höhenlagen ab 400 m. Es sind die zu den Agavengewächsen gehörenden Drachenbäume (*Dracaena cinnabari*), die mit ihren weitausladenden, 5 - 8 m hohen Schirmkronen ein pilzartiges Aussehen haben (Abb. 4). Ihr rotes Harz, das „Drachenblut“, wird als Heilmittel und zur Färbung der typischen Töpferwaren verwendet. Das Alter dieser urwüchsigen Bäume, deren Anzahl hier noch in die Tausende geht, wird auf einige hundert Jahre geschätzt (Beyhl, 1995). Bereits in der Antike war Sokotra auch für den Export von Aloe-Extrakt und Weihrauch berühmt. Der fiebersenkende Bitterstoffe enthaltende Aloe-Saft wird nach wie vor auf primitive Weise in ausgespannten Ziegenhäuten aufgefangen. *Aloe perryi* ist dafür die wichtigste der drei vorkommenden Arten. Die harzigen Ausscheidungen der mindestens sieben, teils noch unbeschriebenen *Boswellia*-Arten werden heute nur noch für den lokalen Bedarf gesammelt.

Auch die Zahl der bisher im Land- und Süßwasserbereich erfaßten Tierarten bewegt sich um die 800 (Wraniak, 1997). Sie sind in Form und Größe zwar nicht so spektakulär, aber entwicklungsgeschichtlich und biogeographisch nicht weniger interessant. Allein 19 Reptilien- und mindestens sechs Vogelarten gelten als endemisch. Hoch ist der Endemitenanteil ebenfalls unter den Wirbellosen, auch wenn er durch den begrenzten Kenntnisstand über die meisten dieser Tiergruppen zur Zeit noch nicht genauer zu quantifizieren ist. Zu den zahlreichen offenen oder kontrovers diskutierten Fragen gehören das Vorkommen autochthoner Süßwasserfische und das Fehlen jeglicher Amphibien trotz reichlicher Wasservorkommen. Unklar ist auch, auf welchem Weg und in welchem Umfang ein Austausch mit dem Festland erfolgt. Bei einigen flugaktiven Organismen (Fledermäuse, Vögel, Heuschrecken) deutet vieles darauf hin, daß ein solcher Kontakt besteht. Für eine passive Ausbreitung durch Wind, Wasser und Transportmittel scheinen jedoch größere Bar-



Abb. 4: Der sokotrinische Drachenbaum *Dracaena cinnabari* ist eng mit der kanaro-kapverdischen Art *D. draco* verwandt. Die einstige Buschwaldvegetation wurde durch Beweidung an vielen Stellen bereits stark zurückgedrängt. Auffällig und bedenklich ist nicht nur bei dieser Art das Fehlen von Jungwuchs.

rieren zu existieren. Dafür sprechen zumindest das Fehlen einer Anzahl auf dem Festland weit verbreiteter Tierarten und der mit etwa 3 % sehr geringe Anteil an Neophyten und Adventivpflanzen. Zu den bisher ungelösten Rätseln gehört auch die mögliche frühere Existenz größerer Reptilien. Der einzige, aber glaubwürdige Hinweis darauf findet sich im „Periplus Maris Erythraei“, einem zwischen 40 bis 70 n. Chr. datierten griechischen Seefahrerhandbuch. In ihm wird über die Insel „Dioskurida“ berichtet, sie sei „sehr groß, aber fast unbewohnt, obwohl wasserreich, mit Flüssen, Krokodilen, sehr vielen Schlangen und sehr großen Eidechsen, deren Fleisch man isst, das Fett aber flüssig macht und statt des Oeles gebraucht. ... Es hat aber diese Insel die echte und die Landschildkröte, wie auch die weisse und diese in sehr großer Anzahl und ausgezeichnet durch die grösseren Schalen, ebenso eine übergroße Gebirgsschildkröte, welche die dickste Schale hat, deren werthlose Theile um den Bauch sich nicht zerschneiden lassen, da sie eben zu hart sind.“ (Fabricius, 1883).

Vergleicht man die Faunenstruktur anderer indo-pazifischer Inseln, so ist ein früheres Vorkommen derartiger Reptilien nicht auszuschließen. Über einen Meter große Schildkröten sind u. a. von Mauritius, Reunion und Rodriguez bekannt. Sie wurden über die Jahrhunderte hinweg wahrscheinlich zu Abertausenden als „lebende Fleischtöpfe“ von Segelschiffen an Bord genommen und nach und nach geschlachtet. Begehrt waren aber auch ihre Rückenpanzerschilder, das sogenannte Schildpatt, für die Herstellung von Gefäßen,

Schmuck und Behältnissen. Einem derartigen Raubbau hielten die Populationen der wehrlosen und eine geringe Vermehrungsquote aufweisenden Riesentiere meist nur eine begrenzte Zeit stand. Von den etwa neun bisher bekannten Riesenschildkrötenarten des Indischen Ozeans hat lediglich die ursprünglich auf Aldabra heimische, in großer Zahl aber auch nach Sansibar, die Seychellen und Sri Lanka verschleppte *Megalochelys gigantea* überlebt. Mögliche Krokodilararten wären das Nilkrokodil (*Crocodilus niloticus*) und das Leistenkrokodil (*C. porosus*), die beide auch das offene Meer nicht scheuen. Bei den großen Eidechsen dürfte es sich dagegen um Warane gehandelt haben. Im Arbeitsprogramm einer für den Herbst 1998 geplanten internationalen Expedition sind erstmalig auch Ausgrabungen zu diesen Fragen vorgesehen. Sie sollen sich auf die Bodenschichten in den Höhlen der Bergbewohner konzentrieren.

Zu den wenigen giftigen Landtieren der Inselgruppe gehören fünf Arten Skorpione, einige Spinnen und große Skolopender aus der Gruppe der Hundertfüßer. Da viele Bewohner barfuß gehen, werden alle diese Formen gefürchtet und sofort getötet, wenn man sie irgendwo entdeckt. Viel problematischer sind allerdings Krankheitsüberträger und Parasiten, wie Mücken, Fliegen, Flöhe und Wanzen. Besonders weit verbreitet ist Malaria, denn für Mücken existieren in den Ästuaren des Küstenbereiches und den zahlreichen anderen Wasserstellen nahezu ideale Entwicklungsbedingungen.

Das Meer und seine Bedeutung

Obwohl neben der Viehhaltung und der Nutzung von Dattelpalmen in den letzten Jahrzehnten in kleinen Gärten verstärkt auch etwas Gemüse angebaut wird, sind die landwirtschaftlichen Möglichkeiten Sokotras begrenzt. Ganz im Gegensatz dazu die marinen Ressourcen, denen für die weitere Entwicklung eine entsprechend große Bedeutung zukommt.

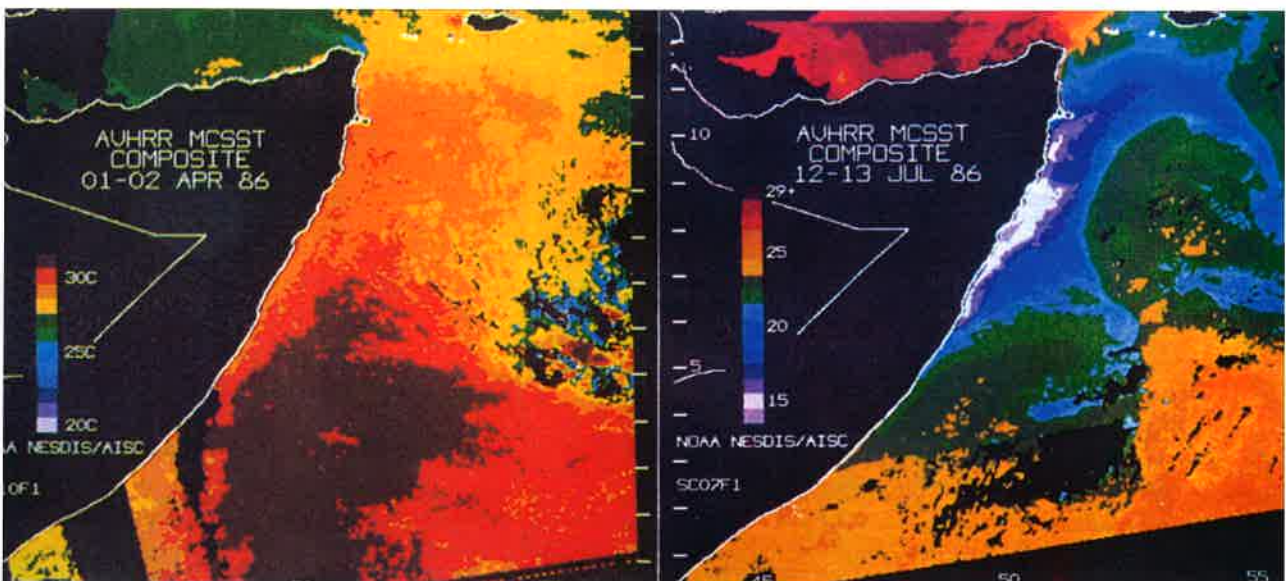
Die Bestände an pelagischen und bodenlebenden Fischen im Schelfbereich des Archipels scheinen beachtlich zu sein. Davon kann man sich nicht zuletzt jeden Morgen bei den Fischern am Strand und auf den Märkten der Küstenorte überzeugen, wo frisch gefangene Tiere, meist Thune, Makrelen, Barrakudas und Zackenbarsche, unter der Aufsicht eines Strandmeisters zum Verkauf angeboten werden (Abb. 5).

Dieser Fischreichtum hat etwas mit den bereits erwähnten, im Jahresverlauf wechselnden Monsunwinden zu tun, unter deren Einfluß sich jeweils auch die Strömungsverhältnisse entlang der ostafrikanischen Küste ändern. Der Nordost-Monsun im Winterhalbjahr weht relativ konstant mit mittlerer Stärke von 4 - 5 Beaufort und erzeugt eine südwestlich gerichtete Strömung. Die Turbulenzen sind dabei gering und im Oberflächenbereich des Meeres werden großräumig Temperaturen zwischen 28 - 30 °C erreicht. Der im Sommer vorherrschende Südwest-Monsun ist dagegen ungleich kräftiger und weht nicht selten mit Sturmstärke. Durch sein Wirken bewegt sich das Oberflächenwasser in nordöstliche Richtung. Typisch für diese Periode ist dabei ein als „upwelling“ bezeichnetes Aufsteigen kalten, aber nährstoffreichen



Abb. 5: Täglich wird auf dem Markt von Hadibo frischer Fisch angeboten.

Abb. 6: Satellitenaufnahmen (NOAA-AVRR) der Oberflächentemperaturen vor der Küste Somalias im April und Juli 1988 (Szekielda, 1988).



Tiefenwassers in den lichtdurchfluteten Oberflächbereich, dem sich eine intensive biologische Produktion bis hin zum Fisch anschließt. Durch seewärts gerichtete Quäzirkulationen bilden sich vor der Küste Somalias Verwirbelungen und große Strömungskreise, deren Radien über 300 km betragen können und die sich bis in den Bereich der Inselgruppe erstrecken (Currie et al., 1973; Szekiela, 1988; Baars, 1994) (Abb. 6).

Die traditionellen Boote der Fischer bestehen aus Hartholz und werden von einer aus zwei oder drei Personen bestehenden Besatzung mit Paddeln bewegt. Inzwischen dominieren aber modernere Glasfiboote mit Außenbordmotor, durch die man leichter und weiter aufs offene Meer gelangen kann. Gefischt wird mit Angeln, Harpunen, Körben, Reusen, Stell- und Wurfnetzen, wobei letztere meist im seichten Wasser ausgeworfen werden und in erster Linie dem Fang von Köderfischen dienen

Kommerziell bedeutsam sind Thunfische, Makrelen und Haie, d. h. räuberische, sehr schwimmaktive offshore-Formen, deren Nahrungsgrundlage wahrscheinlich entscheidend über den Kaltwasserauftrieb gesichert wird. Große Haie werden mit einer Harpune gejagt und außenbords zum Landeplatz geschleppt (Abb. 7). Ihre Fangzahlen waren in den letzten Jahren aber rückläufig. Ob es sich dabei um Überfischungsercheinungen handelt oder ob es andere Ursachen gibt, weiß derzeit niemand. Bei der Bedeutung des Haifischfanges würde ein weiterer Rückgang größere sozio-ökonomische Folgen für viele Fischer nach sich ziehen. Da Haie aber für das marine Ökosystem ebenfalls wichtige Glieder innerhalb der Nahrungsketten sind, müßte bei ihrem Ausfall auch mit ökologischen Wirkungen gerechnet werden. In Ermangelung moderner Anlagen wird der für den Export vorgesehene Fisch durch Salzen, Trocknen oder Räuchern haltbar gemacht. Mitunter verfangen sich auch kleine Walarten oder Meeresschildkröten in den Netzen, die dann zum lokalen Verbrauch gelangen. Eine Eiablage an den Stränden der Insel wird für die Suppenschildkröte (*Chelonya mydas*) und die Karettschildkröte (*Eretmochelys imbricata*) vermutet.



Abb. 7: Haiﬂischflossen werden für den Export getrocknet, da sie hohe Preise erzielen.

Schnecken, Muscheln, Seegurken oder andere Wirbellose wurden bisher in erster Linie nur als Zusatznahrung von Frauen und Kindern vor allem während der stürmischen Sommermonate, in denen die Fischer nicht auf das Meer können, am Strand gesammelt (Abb. 8). Doch auch hier scheinen die kommerziell nutzbaren Ressourcen noch erheblich zu sein. So z. B. bei den fünf Arten Langusten (Palinuridae), die zu den imposantesten Vertretern der Zehnfußkrebse gehören und deren Fleisch auf dem Weltmarkt hoch geschätzt wird.

Seeohren oder „Abalone“ (Haliotidae) stellen entlang der südöstlichen Küste des Oman einen wichtigen Wirtschaftsfaktor dar. Der jährliche Fang dieser Meeresschnecke beträgt dort etwa 200 Tonnen (Schalengewicht). Dabei handelt es sich allerdings um die Art *Haliotis mariae*, die eine Schalengröße von ungefähr 10 cm erreichen kann (Sander, 1982). Die im Flachwasser Sokotras sehr häufige Art *Haliotis pustulata* erreicht dagegen nur eine Größe von 4 - 5 cm. Etwa bis in die sechziger Jahre des 20. Jahrhunderts wurde um Sokotra auch Perlenfischerei betrieben. Grundlage dafür war das reichliche Vorkommen der Perlmuscheln *Pinctada margaritifera* und *P. radiata*. Die Perlentäucher waren meist afrikanischer Herkunft und nutzten für ihre Arbeiten bis in Tiefen zwischen 10 und 30 m außer einer Nasenklemme keine weiteren technischen Hilfsmittel.

Felsige Steilküsten mit kliffartigen Abbrüchen, ausgedehnte steinig-kiesige sowie sandige Abschnitte in den Aufschüttungsebenen, Schlickflächen im Umfeld der Ästuar- und vereinzelt Mangroven bieten Lebensraumvielfalt für eine artenreiche, aber ebenfalls noch weitgehend unerforschte Unterwasserwelt (Abb. 8 und 9). Erste Erhebungen der letzten Jahre brachten aber bereits sehr interessante und z. T. auch überraschende Ergebnisse. Sie betreffen u. a. die Steinkorallen, die zumindest in früheren Jahren in den Siedlungen der Küstenebene in größerem Umfang auch als Baumaterial für Häuser und Mauern genutzt wurden. Hinsichtlich ihres Vorkommens und ihrer Ausdehnung im Schelfbereich der Inselgruppe ging man in der Vergangenheit davon aus, daß es zwar zur Entwicklung und inselartigen Ansammlung von Steinkorallen kommt, eine eigentliche Riffbildung durch die zeitweilig absinkenden Temperaturen während der Auftriebsperioden aber unterbleibt und das Bild des Meeresbodens vor allem durch Makroalgen bestimmt wird (WCMC, 1993). Scheer (1964) tauchte vor Abd al Kuri und fand den durch steile Hänge gekennzeichneten Meeresgrund ungeeignet für eine Riff-Entwicklung. Er beschrieb ein zerstreutes Vorkommen von Steinkorallen (neun Gattungen) und einen starken Algenwuchs. Etwas differenzierter stellte sich das Bild bereits für Latypov (1987) dar, der im Umfeld von Qalansiyah von Riffen einer mittleren Entwicklungsstufe spricht. Er stellte bei seinen Untersuchungen typische Zonierungen und mit 67 Arten eine große Vielfalt an Steinkorallen fest. Ein 1996 durchgeführter „coastal survey“ bestätigte das Bild starker Unterschiede zwischen den Küstenregionen (Abb. 10 und 11). Während im südlichen Teil der Hauptinsel Algen dominieren, findet sich im Norden ein ausgedehnter, offenbar intakter Korallenaufwuchs (Kemp, 1997). Neben der für den Indo-Pazifik typischen Artenvielfalt zeigen sich auch in der Artenzusammensetzung der Unterwasserfauna interessante Aspekte. So deutet sich eine zoogeographische Grenze zwischen einer in sich möglicherweise noch weiter zu untergliedernden arabischen Subprovinz und einer solchen des westli-

Abb. 8: Derzeit trifft man selbst im Flachwasser der Fischerdörfer noch auf große, attraktive Mollusken, wie diese Helmschnecken (*Cassis cornuta*). Doch derartige Bestände könnten durch ein unkontrolliertes Besammeln relativ schnell nachhaltig geschädigt werden.





Abb. 9: Blick über die Küste westlich des Hauptortes Hadibo, wo inzwischen eine erste einfache Hafenanlage errichtet wurde.



Abb. 10: Steinkorallen, Diademseeigel und ein Exemplar der Riesenmuschel *Tridacna maxima* im Flachwasser der Nordküste Sokotras.

Abb. 11: Besonders häufig im ausgedehnten Korallenaufwuchs der Nordküste sind verzweigte Korallen der Gattung *Acropora*.

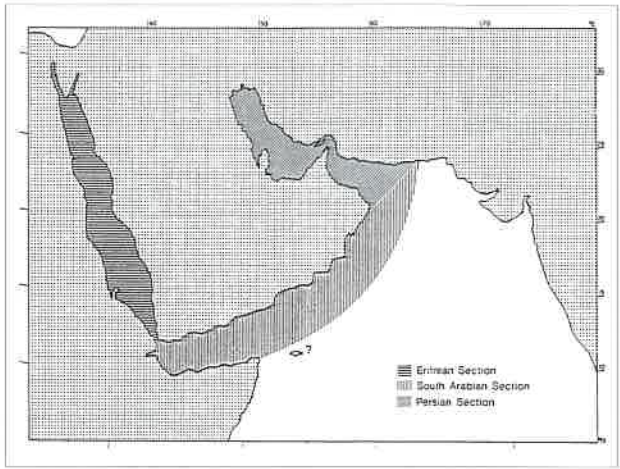


Abb. 12: Zoogeographische Untergliederung des nordwestlichen Indischen Ozeans auf der Basis littoraler Fischgemeinschaften (Klausewitz, 1989).

chen indischen Ozeans an, die sich von der Küste Somalias entlang der Insel Sokotra bis zum Golf von Oman erstreckt (Klausewitz, 1989) (Abb. 12). Sokotra könnte hier ein wichtiges Verbindungsglied zwischen den Meeresgebieten Arabiens und dem Indischen Ozean sein, mit endemischen Formen beider Regionen. Dafür gibt es zumindest für die Fischfauna inzwischen auch deutliche Hinweise (Kemp, 1997). Auch bei den Geister- oder Reiterkrabben (Ocypodidae), die zu den auffälligsten Tieren des Gezeitenbereiches der Sandstrände gehören (Abb. 13), treffen auf Sokotra ostafrikanische und arabische Elemente aufeinander (Türkay et al., 1996). Die für die nächsten Jahre geplanten intensiven meeresbiologischen Untersuchungen in den Gewässern der Inselgruppe werden diese Verhältnisse nicht nur exakter dokumentieren,

Abb.13: Die Reiterkrabben tragen die Augen auf langen Stielen. Sie legen ihre bis 60 cm tief reichenden spiraligen Höhlen, in denen sie meist den Tag verbringen, kurz über der Hochwasserlinie an und gehen in der Dämmerung oder der Nacht an der Wassergrenze auf Nahrungssuche. Neben der für die Arabische Halbinsel typischen Art *Ocypoda saratan*, kommen auf Sokotra auch die ostafrikanischen Formen *O. ceratophthalma* und *O. ryderi* vor.





Abb. 14: Blick über einen Teil des Hauptortes Hadibo. Noch vor einem Jahr mußten alle ankommenden Güter mühsam auf See übernommen und mit Flößen und Booten an Land gebracht werden.

sondern ebenfalls genauere Erklärungen der Ursachen geben. Dann wird man u. U. auch die Bedeutung der komplizierten Strömungsverhältnisse für die großräumige Verbreitung der Arten besser einschätzen können, als auch die mögliche Barrierewirkung, die der Kaltwasserauftrieb auf wärmeliebende Formen ausübt.

Bevölkerung und Ausblick

Der exakte Zeitpunkt für die Erstbesiedlung Sokotras ist heute ebensowenig zu ermitteln wie die genaue Herkunft der frühesten Inselbewohner. Man kann aber davon ausgehen, daß die ersten Menschen bereits vor einigen tausend Jahren auf dem Seeweg auf die Inseln gelangten, denn früheste Belege für Seefahrt am Rande des Indischen Ozeans existieren für das 3. Jahrtausend v. Chr. Die Wurzeln der heutigen Bevölkerung sind auf verschiedenen Kontinenten zu suchen, Spuren ihrer Herkunft führen nach Südarabien und die Westküste Indiens, nach Afrika und nach Europa.

Regelmäßig bewohnt scheinen heute nur Sokotra und Abd al Kuri zu sein. Die Angaben zur Bevölkerungszahl gehen weit auseinander. Sie schwanken zwischen 15.000 und 80.000. Etwa 30 - 35 % der Menschen sind Bergbewohner. Sie werden zu den Nachfahren der Ureinwohner gerechnet, leben in Großfamili-

en nach sehr traditionellen Prinzipien und betreiben Viehzucht. Sie sprechen „Socotri“, eine sehr alte, schriftlose Sprache, die ihre Wurzeln in der jemenitischen Provinz Mahra hat. In den Siedlungen der Küstenebene leben dagegen vor allem Handwerker, Händler und Fischer südarabischen und afrikanischen Ursprungs (Abb. 14).

Zu den bereits erwähnten traditionellen, naturverträglichen Grundsätzen der Bergbewohner gehören gemeinsame Beratungen über das Abholzen von Bäumen sowie die Umtriebsweide, die das Übernutzen von Flächen verhindert. Wirksame Absprachen gibt es in ähnlicher Form auch unter den Fischern hinsichtlich der Gebiete, Zeiten und Methoden des Fanges.

Doch Naturnähe und harmonisches Zusammenleben der Menschen ist nur die eine Seite des Inseldeins. Die andere besteht in den sehr schwierigen Lebensbedingungen, die ihren Ausdruck u. a. in einer hohen Kindersterblichkeit und zahlreichen Krankheiten findet. Deshalb sind Entwicklung und Veränderungen notwendig. Doch durch die besondere Empfindlichkeit von Inselökosystemen können die Folgen unüberlegter Maßnahmen erheblich sein. Die komplizierten Wechselbeziehungen können hier nur an wenigen Beispielen angedeutet werden.

Nach Schätzungen gab es 1985 auf der Inselgruppe Sokotra etwa 70.000 Ziegen, 17.000 Schafe, 500 Dromedare und 1.800 Rinder. Auch wenn genaue Zahlen fehlen, so scheinen die vorhandenen Viehbestände bereits an der für die Bedingungen der Insel verträglichen Grenze zu liegen. Gegenwärtig wird der Bestand noch sehr stark durch das natürlicherweise nur begrenzt vorhandene Angebot an Futter und Oberflächenwasser reguliert. Jedes Jahr sterben deshalb nicht wenige Tiere. Würde man hier durch Futterim-

port und die Anlage von Tränken eingreifen, so könnten die Folgen für die Vegetation erheblich sein. Die Pflanzendecke hat aber eine Schlüsselrolle bei der Vermeidung von Bodenerosion. Aus gleichem Grund wäre deshalb auch die Beibehaltung strenger Bestimmungen für die Holznutzung wichtig. Doch durch den Ausbau der Infrastruktur und die ständig wachsende Zahl an Fahrzeugen wird der ohnehin schon starke Druck auf die Baumbestände für Brenn- und Bauholz Zwecke weiter steigen und sich auch auf bisher schwerer erreichbare Gebiete ausdehnen.

Ist man in den Bergen Sokotras unterwegs, so kann man heute noch bedenkenlos aus zahlreichen glasklaren Bächen sauberes Wasser trinken. Für die Menschen eine Selbstverständlichkeit. Doch immer häufiger wendet man zur Säuberung des Geschirrs und der Wäsche chemische Mittel an, die es inzwischen in den Läden der Küstenregion zu kaufen gibt. All das erfolgt direkt im Gewässer, ohne Kenntnis und Beachtung der möglichen Nebenwirkungen dieser freudig begrüßten „Wundermittel“. Ähnlich sorglos geht man mit Plasterverpackungen und leeren Getränkedosen um, die mittlerweile ebenfalls die Geschäftsregale füllen. Gegenüber diesen Resten sind selbst die Schmutzgeier (*Neophron percnopterus*), deren Bestand auf ca. 1.000 Brutpaare geschätzt wird, als wichtigste Abfallverwerter machtlos. Daß die Strände Sokotras dennoch relativ sauber sind, ist den intensiven Umlagerungen während der sommerlichen Monsunstürme zu verdanken, durch die die besonders im Umfeld der Ortschaften angehäuften Abfälle immer wieder entfernt werden und sich nicht wie an anderen Küsten ansammeln können. Da aber dadurch die Probleme nicht gelöst, sondern nur verlagert werden, wird langfristig ein weiteres Anwachsen von Zivilisationsmüll und chemischer Inhaltsstoffe nicht ohne Folgen für die marinen Lebensräume bleiben. Wie wenig man auf die neue „Weltoffenheit“ vorbereitet ist, zeigt auch die Hilflosigkeit der Fischer gegenüber einer verstärkten Raubfischerei größerer Fangschiffe um Sokotra, die durch den rücksichtslosen Einsatz schweren Fanggeschirrs wahrscheinlich auch wertvolle Laichplätze zerstören.

Nach Öffnung der Insel gab es in den ersten Jahren auch keinerlei Regelungen zur Entnahme von Tieren und Pflanzen. Wenn man aber um die Bedeutung endemischer Arten für die Suche nach wirtschaftlich nutzbaren Substanzen und die Liebhaberpreise für „Raritäten“ im internationalen Tier- und Pflanzenhandel weiß, so stimmen Berichte über Sammelaufenthalte von Ausländern und größere, z. T. durch große Unternehmen finanzierte Expeditionen nachdenklich. Gleichermäßen problematisch sind Überlegungen zur Errichtung von Hotelkomplexen in besonders attraktiven Teilen der Insel.

Schwer abzuschätzen ist vor allem auch die Frage, wie sich in diesem Prozeß der Veränderungen zukünftig die Beziehungen zwischen den in Tradition und Lebensweise doch sehr unterschiedlichen ethnischen Gruppen gestalten werden.

Noch bietet Sokotra die Möglichkeit, durch internationale Zusammenarbeit ein Beispiel für „nachhaltige Entwicklung“ im Sinne der Umweltkonferenz von Rio zu schaffen. Doch ob die geplante Ausweisung von

land- und seeseitigen Schutzgebieten rechtzeitig und in ausreichendem Maße erfolgen kann, erscheint unter den derzeitigen Bedingungen eher zweifelhaft. So könnte die Tier- und Pflanzenwelt Sokotras sehr bald schon die derzeit noch vorhandene Sonderstellung einer nicht akuten Gefährdung verlieren und in größerer Zahl die ohnehin bedenklichen Roten Listen der ausgestorbenen oder vom Aussterben bedrohten Arten verlängern.

Literatur:

- Alexander, D. & T. Miller (1996): Saving the spectacular flora of Socotra. *Plant Talk*, The Botanical Information Company Ltd. Kingston, 7: 19 - 22.
- Baars, M. A. (Ed.) (1994): Monsoons and Pelagic Systems. Report on three cruises of RV Tyro in the Somali Current, The Gulf of Aden and the Red Sea during the southwest monsoon of 1992 and the northeast monsoon of 1993. *Cruise Reports Netherlands Indian Ocean Programme*, Vol. 1, National Museum of Natural History, Leiden: 1 - 143.
- Beyhl, F. E. (1995): Der Drachenbaum und seine Verwandtschaft: II. Der Echte Drachenbaum, *Dracaena cinnabari*, von der Insel Sokotra. *Der Palmengarten* (Frankfurt a. Main), 59: 140 - 145.
- Currie, R. I., A. E. Fischer & P. M. Hargreaves (1973): Arabian Sea upwelling. *The Biology of the Indian Ocean*. Springer Verlag New York: 37 - 52.
- Fabricius, B. (1883): *Der Periplus des Erythräischen Meeres. Von einem Unbekannten. Griechisch und Deutsch mit kritischen und erklärenden Anmerkungen nebst vollständigem Wörterverzeichnis*. Leipzig.
- Kemp, J. (1997): Socotra - Unexpected Findings. *Arabian Wildlife*, 3, 3: 28 - 31.
- Klausewitz, W. (1989): Evolutionary history and zoogeography of the Red Sea ichthyofauna. *Fauna of Saudi Arabia*, 10: 310 - 337.
- Kossmat, F. (1907): *Geologie der Inseln Sokotra, Semha und Abd El Kuri*. Denkschr. Kais. Akad. Wiss. Wien, Mat.-Nat. Kl., 71: 1 - 62.
- Latypov, J. J. (1987): Sostav i raspredelenie skleraktinij ostrova Sokotra. *Biologija Morja*, 4: 35 - 41.
- Mies, B. & H. Zimmer (1993): Die Vegetation der Insel Sokotra im Indischen Ozean. *Natur und Museum*, 123, 9: 253 - 264.
- Miller, T. & J. A. Nyberg (1991): Patterns of endemism in Arabia. *Fl. Veg. Mundi*, 9: 263 - 279.
- Sanders, M. J. (1982): Preliminary stock assesment for the Abalone taken off the south east coast of Oman. *FAO/UNDP Report*: 1 - 48.
- Scheer, G. (1964): Korallen von Abd-el-Kuri. *Zoologisches Jahrbuch Jena*, 91: 451 - 466.
- Schweinfurth, G. in Lojander (1887): Beiträge zur Kenntnis des Drachenblutes. Straßburg.
- Szekielda, K. H. (1988): Investigations with Satellites on Eutrophication of Coastal regions. Part VII: Response of Somali upwelling onto monsoonal changes. *Mitt. Geol.-Paläont. Inst. Univ. Hamburg, SCOPE/UNEP Sonderband*, 66: 1 - 30.
- Türkay, M., S. Katsushi & M. Apel (1996): The Ocypode ghost crabs (Crustacea: Decapoda: Brachyura) of the Arabian Peninsula and adjacent regions. *Fauna of Saudi Arabia*, 15: 99 - 117.
- World Conservation Monitoring Centre (1993): *Environmental Profile: Socotra and its marine environment and El Mukalla Republic of Yemen*. WCMC, 1-50.
- Wranik, W. (1997): Socotra Island - a special part of Yemen's natural heritage. *Rostocker Meeresbiologische Beiträge*, 5: 157 - 192.

Korallen im Meeresmuseum

G. Schulze

Als das Natur-Museum Stralsund 1951 eröffnet wurde, präsentierte es in einer Vitrine auch Korallen. Das Korallenmeer als bedeutender Lebensraum sollte wenigstens andeutungsweise dargestellt sein. Der Gründer des Natur-Museums, Prof. Dr. Otto Dibbelt (1881 - 1956), arrangierte eigenhändig die wenigen vorhandenen Stücke. Diese Darstellung ist noch auf einer alten Postkarte festgehalten (Abb. 1). Was das Museum besaß, war kärglich. Dibbelt konnte nicht auf eine alte Sammlung zurückgreifen und nach dem Krieg war es zudem in Ostdeutschland aussichtslos, Korallen sammeln oder erwerben zu wollen.

Sein Nachfolger, Dr. Sonnfried Streicher, erarbeitete 1957 die Konzeption zum Aufbau eines meereskundlich orientierten Museums, die unter seiner Leitung (1956 - 1995) verwirklicht wurde. Seitdem ist die Meeresbiologie Schwerpunkt aller Aufgabenpläne des Hauses. Zwar war zunächst der Aufbau regionaler Ausstellungen, die Erweiterung der Aquarien und das Sammeln von Ostseematerial vordringlich, aber durch die enge Verbindung zur Flotte, vor allem zur Beschaffung von Aquarientieren aus tropischen Regionen, kamen auch Sammlungsstücke in das Museum. Es waren meist Zufallsfunde, und sie waren als Dekorationsmaterial für die Korallenriffbecken des Aquariums gedacht. Da das Herkunftsgebiet dieser Korallen bekannt war, wurden aber etliche Stücke (76) auch in die Sammlung gegeben. Mit der Erweiterung des Museums in der Katharinenhalle wurde bei der Themenplanung auch das Korallenmeer berücksichtigt. Korallen, Korallenriffe, ökologische Zusammenhänge im Riff, das mußte einfach in einem Meeresmuseum dargestellt sein. Bevor aber eine umfangreiche Behandlung dieses Themas begonnen wurde, gestaltete man zunächst für die Sonderausstellung „Tiere ferner Meere“ (1975), gewissermaßen als Test, eine 2 x 2 x 2 m große Vitrine (Abb. 2) mit Korallen aus dem Roten Meer.

Für die geplante Dauerausstellung „Leben im Meer“ bestand dann der Wunsch nach einer größeren, lebensnäheren Darstellung. Im Naturkundemuseum Berlin war 1974 ein Riff aus der Karibik, ein Kubanisches Bankriff, nachgebaut worden. Bensch (1979) und Kühlmann (1980) berichteten darüber. Für Stralsund wurde eine Darstellung der Riffstruktur des Roten Meeres geplant. Mit Schiffen der DDR-Handelsflotte, die in dieses Gebiet fuhren, bestanden ja bereits beste Verbindungen. Mehrmals hatten Kapitäne dieser Schiffe die Stralsunder Museumsmitarbeiter zu Sammelreisen eingeladen. In den 70er Jahren gab es dort für die Schiffe lange Liegezeiten, weil die Häfen überlastet waren, und während dieser Zeit würde genügend Gelegenheit zum Tauchen und Sammeln bestehen.

Dieses Angebot wurde aufgegriffen, und so erfolgten 1976 und 1979 zwei Sammelreisen in das Rote Meer. Eine schwimmende Expeditionsbasis mit allen technischen Voraussetzungen, mit viel Platz und allem

Komfort, war ideal für einen maximalen Erfolg. Während dieser Reisen wurde auch der Gedanke entwickelt, die Riffdarstellung in Form eines Riffpfeilers auszuführen in einer Großvitrine, die über drei Ausstellungsetagen reicht. Ein Riffpfeiler sollte es sein, weil er auf engstem Raum komprimiert alle Bereiche eines Saumriffs aufweist.

Als Beispiel wurde eine Situation des Wingate Riffs bei Port Sudan gewählt und hier an einem Pfeiler die Zusammensetzung der Korallen studiert, Vermessungen durchgeführt, Fotos von den Arten angefertigt und das notwendige Material geborgen (Abb. 3 u. 4). Nicht nur die Korallen, auch alle am Riff lebenden makroskopischen Arten wurden für diesen Zweck beschafft und präpariert. Das war das wichtigste Anlie-

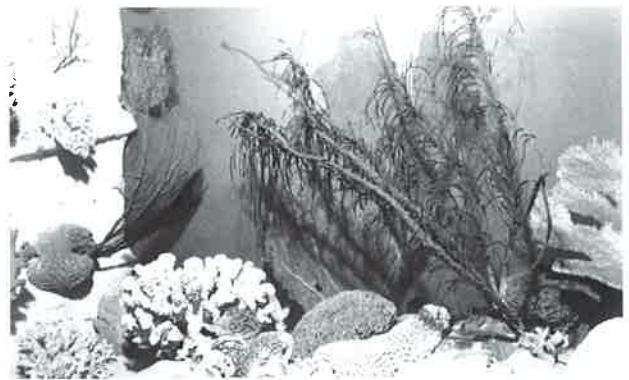
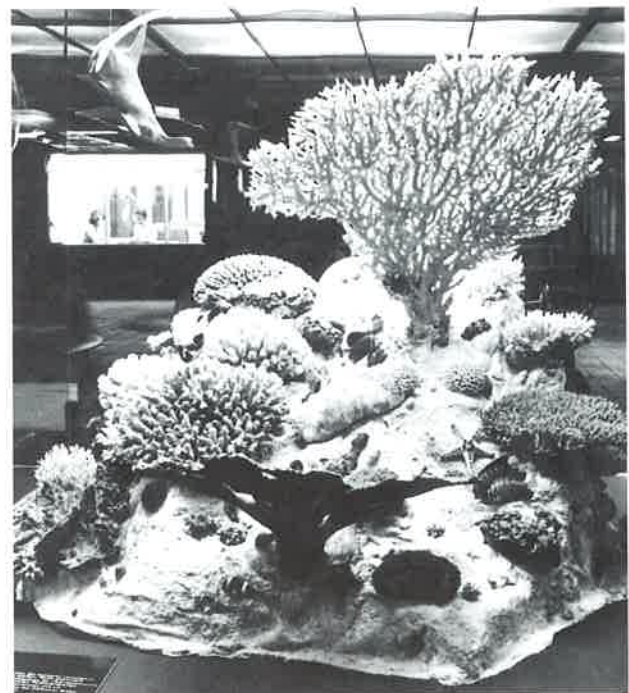


Abb. 1: Die erste Korallenvitrine im 1951 gegründeten Natur-Museum Stralsund.

Abb. 2: Kleines Korallenriff in der Ausstellung „Tiere ferner Meere“, 1975.





gen, aber daneben konnten für die wissenschaftliche Sammlung zahlreiche Arten von verschiedenen Positionen und in unterschiedlichen Wuchsformen gesammelt werden. Dies geschah überall da, wo sich Liegezeiten der Schiffe ergaben.

Die wichtigsten Stationen zur Sammlung von Korallen waren aber bei der ersten Reise im mittleren Roten Meer Port Sudan und im südlichen Roten Meer die Insel Djebel Zuqur. Bei der zweiten Reise war es neben Port Sudan im südlichen Roten Meer die Insel Ummal-Sciora bei Assab. Von diesen Stationen liegen für jedes Exponat genaue Sammlungsangaben in großer Qualität vor, und fast jedes Stück wurde zuvor unter Wasser fotografiert (Abb. 5). So war die Expeditionsausbeute beachtlich. In „Meer und Museum“ wurde darüber ausführlich berichtet (Streicher et al., 1981). Die Ergebnisse der ersten Sammelreise wurden 1977 im Museum in Form einer Sonderausstellung „Acropora 76 - Expedition zum Roten Meer“ den Besuchern vermittelt, zwei Bücher über diese Reise entstanden (Streicher, 1980; Wagner, 1981).

1977 konnte bereits mit dem Nachbau eines Riffpfeilers begonnen werden. In einer großen, über drei Stockwerke reichenden Vitrine von 3,50 m Breite, 2,60 m Tiefe und 8,65 m Höhe wurde die Grundkonstruktion, ein Hohlkörper aus Beton, eingebaut. Diese 4,3 m hohe Pfeilerkonstruktion ist begehbare und erlaubte die Montage der Korallen und der Elektronik

Abb. 3 (links oben): Die Situation am Riffpfeiler wurde unter Wasser dokumentiert.

Abb. 4 (links Mitte): Schwere Stücke wurden mit einem Hebeschirm zur Wasseroberfläche transportiert.

Abb. 5 (links unten): Von den gesammelten Korallen wurden fast alle Arten vor ihrer Bergung an ihrem Standort fotografisch dokumentiert.

Abb. 6 (oben rechts): Präparator E. Kretschmann bestückt den Riffpfeiler mit Fischen.





Abb. 7: Der obere Teil der Rifffeilergestaltung im Meeresmuseum.

von innen. Etwa 45 m² Fläche wurden dann gestaltet, das Riffgestein nachgebildet und mit Korallen besetzt. Neben den Steinkorallen wurden aber auch noch viele andere auf dem Korallenfels wachsende Tierarten montiert, z. B. verschiedene Schwämme, große Partien Feuerkorallen, mehrere Arten Leder- und Hornkorallen, Riffanemonen und Krustenanemonen. Dazwischen, in Höhlungen, Spalten und im Gewirr der Korallenäste, sind viele größere Tierarten eingefügt, die während der Expeditionen gesammelt worden waren: mehrere Riesenmuscheln, Seeigel, ein Dornenkronen-Seestern, mehrere See- und Schlangensterne, Seeurken, viele kleine Krabben, eine Languste und

Abb. 8: Ausschnitt aus einem Korallenriff. Darstellung in der Auslandsausstellung „Meer und Museum“ während der Präsentation in Esbjerg/Dänemark 1981.



natürlich viele, viele Fische. Die Besetzung dieses Pfeilers mit Fischarten und Wirbellosen hat Jahre gedauert und wurde eigentlich nie ganz abgeschlossen (Abb. 6 u. 7). Beese und Schulze (1981) berichteten über den Aufbau dieses Rifffeilers.

Korallen wurden aber auch noch in weiteren Ausstellungsbereichen verwendet. Die Einführungsvitrine zur Ausstellung „Mensch und Meer“ zeigt am Beispiel der Korallen einen gesunden und einen geschädigten Lebensraum. Hornkorallen sind in einer Darstellung über die Nutzung von Korallen als Schmuck gezeigt.

Auch eine Sonderausstellung über das Meeresmuseum, „Meer und Museum“, die von 1981 - 1990 in neun verschiedenen westdeutschen und ausländischen Städten aufgebaut worden war, enthielt einen Mini-Korallenriffurm (Abb. 8).

Die Sammelausbeute der beiden „Acropora-Reisen“ und Mitbringsel der Schiffsbesatzungen von Handelsschiffen waren zu DDR-Zeiten die einzigen Möglichkeiten, die wissenschaftliche Korallensammlung zu erweitern. Später kamen einige Ankäufe von Naturalienhandlungen mit den entsprechenden CITES-Papieren hinzu. Eine bedeutende Erweiterung erhielt die Sammlung durch die Übernahme von determinierten Sammlungsstücken mit genauen Fundangaben aus der Karibik von Prof. D. H. H. Kühlmann.

Heute besteht die relativ kleine Sammlung des Deutschen Meeresmuseums aus insgesamt 790 inventarisierten, hermatypischen Korallen (Stand Ende 1997). Davon ist ein bedeutender Teil (409) aus dem Roten Meer (vorwiegend von den beiden Museumsexpeditionen „Acropora 76 und 79“) und aus der Karibik (152 determinierte Sammelstücke von D. H. H. Kühlmann). Beim Versuch einer systematischen Einarbeitung in die Sammlung wurde das Material bis zur Gattung determiniert. Dabei sind sicher noch etliche Fehler enthalten und die Sammlung bedarf dringend einer weiteren Bearbeitung.

Als eine kleine Besonderheit sei vermerkt, daß einige der Korallen, die das ehemalige, im Kriege zerstörte Museum für Meereskunde in Berlin ausgestellt hatte, durch Zufall erhalten blieben und sich heute in der Sammlung des Deutschen Museums für Meereskunde und Fischerei in Stralsund befinden.

Literatur:

- Beese, U. & G. Schulze (1981): Der Aufbau eines Korallenriffpfeilers im Meeresmuseum. *Meer und Museum*, 2: 64 - 67.
- Bensch, W. (1979): Die Entstehung des Korallenriff-Dioramas „Kubanisches Bankriff“ im Museum für Naturkunde an der Humboldt-Universität zu Berlin. *Neue Museumskunde* 22, 3: 209 - 217.
- Kühlmann, D. H. H. (1980): Das Korallenriff-Diorama. *Neue Museumskunde* 23, 3: 209 - 215.
- Streicher, S. (1980): 90 Tage im Korallenmeer. Hinstorff Verlag Rostock, 192 S.
- Streicher, S., G. Schulze, H. Schröder, J. Wagner & K.-H. Tschiesche (1981): Acropora 1976 und 1979, zwei meeresbiologische Sammelreisen ins Rote Meer. *Meer und Museum*, 2: 2 - 64.
- Wagner, J. (1981): Im Roten Meer - Ein Tauchertagebuch. Brockhaus Verlag Leipzig, 174 S.



Abb. 1: Ausschnitt aus dem Steinkorallen-Aquarium nach etwa dreijähriger Laufzeit mit Anemonen-Pilzkoralle (*Heliofungia*), Blasenkorallen (*Plerogyra*), Bukettkorallen und Hammerkorallen (*Euphyllia*), Geweihkorallen (*Acropora*), Straußenfeder-Weichkorallen (*Anthelia*), Riesenmuscheln (*Tridacna*) u. a.

Riffaquaristik im Meeresmuseum Zu Problemen der Pflege und Vergesellschaftung

K.-H. Tschiesche

Bereits zur Eröffnung des Museums im Jahr 1951 gab es einige sehr kleine Meeressaquarien. Die Haltung lebender Tiere hat bei uns also eine lange Tradition. Wurden anfangs auch Süßwasser- und Landtiere gepflegt, so veränderte sich mit der zunehmenden Spezialisierung des Museums in den späteren Jahren nicht nur die Anzahl und Größe der Aquarien, sondern auch das Artenspektrum (Tschiesche, 1980). Heute stellt das Meeressaquarium eine sehr wichtige Ergänzung und Bereicherung der musealen Ausstellungen dar. Es ist ein nicht wegzudenkender Besuchermagnet, ein Schwerpunkt der pädagogischen Arbeit des Hauses, sowie integrierter Bestandteil der studentischen Ausbildung der benachbarten Universitäten Rostock und Greifswald.

Bei einem Gang durch das Aquarium erleben die Besucher die heimische Flora und Fauna der Boddengewässer und der Ostsee, sie erhalten einen Eindruck von den Lebensformen der Nordsee und anderer nordischer Meere, und sie können sich letztlich an der Farben- und Formenfülle tropischer Meerestiere erfreuen.

Die gegenwärtige Schauanlage besteht aus 35 Aquarien mit einer Größe von etwa 1.000 bis 50.000 l Meerwasser. In den Aquarien (ohne Filter) bewegen sich 160.000 Liter. Werden Filteranlagen, Quarantänebecken, Labor- und Planktonzuchtquarien sowie die Reservewassertanks hinzugerechnet, ergibt sich eine Gesamtwassermenge in den Anlagen von 310.000 l Wasser.

Nach der Eröffnung der restaurierten frühgotischen Katharinenhalle für museale Ausstellungen 1974 sah

die Konzeption vor, dem bedeutenden maritimen Lebensraum Korallenriff aussagekräftige Darstellungen zu widmen und gleichzeitig wissenschaftliche Sammlungen anzulegen (s. Beitrag Schulze in diesem Band).

Korallenriff-Aquarien wären schon in den siebziger Jahren die richtige „lebende“ Ergänzung zur Ausstellung gewesen. Das war jedoch nicht möglich, denn zum einen war die Riffaquaristik in der DDR nahezu unbekannt und steckte deutschlandweit ohnehin noch in den Kinderschuhen, und zum anderen war die Beschaffung lebender Korallen über den einzigen Großhandelsbetrieb der DDR für Aquarientiere, die „Zoologica“ in Berlin, fast unmöglich.

Seit der politischen Wende in Deutschland und der Eröffnung unseres neuen Tropenaquariums (1992) widmen wir uns auch der Pflege von Korallen.

Ein gutes Aquarium vermittelt dem Betrachter einen Einblick in einen Lebensraum. Es hängt ausschließlich von der Erfahrung, dem Geschick sowie dem ästhetischen Empfinden des Aquarianers ab, ob er es versteht, einen kleinen Biotop hinter Glas naturnah aufzubauen. Der Lebensraum Korallenriff ist so vielseitig, daß der gestaltenden Phantasie kaum Grenzen gesetzt sind. Ob Höhlen, Spalten, Riffwand und -dach oder Miniatoll – jedes Aquarium läßt sich in Abhängigkeit von Beckengröße und -form sehr individuell gestalten. Dabei sind die Lebensbedürfnisse der künftig zu pflegenden Arten bereits beim Aufbau der Inneneinrichtung vorrangig zu berücksichtigen.

Die Dekoration ist jedoch nur ein Aspekt. Mindestens genauso wichtig ist die Schaffung der erforderlichen

Milieufaktoren. Was nützt die ansprechendste Aquariengestaltung, wenn die Wasserströmung nicht ausreicht, Licht mit einem falschen Spektrum die Korallen beleuchtet oder ungeeignete Werkstoffe toxisch wirkende Substanzen an das Wasser abgeben? Von solchen Bedingungen ist ein funktionierendes Korallen-Aquarium viel abhängiger als z. B. ein Fischbecken. Wie bei jeder Tierhaltung, so sind auch für die Haltung von Korallen umfangreiche Kenntnisse über ihre natürlichen Lebensbedingungen Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Pflege. Nur darauf aufbauend wird es möglich, mit ausgewählter Technik annähernd optimale Bedingungen zu simulieren (Fossa & Nilsen, 1992).

Trotz sorgfältiger Vorgehensweise und guter Beratung mußten wir beim Betreiben unserer Korallenaquarien dennoch mehrfach Rückschläge einstecken.



Abb. 2: Zweigkorallen (*Acropora spec.*). Nachzuchten dieser Korallen haben im Aquarium bessere Überlebenschancen als Importe aus dem Riff.

Zwei unserer Aquarien sind mit Korallen besetzt. Das eine Becken (Nr. 20) mit einer Grundfläche von 2,75 m x 1,50 m und 1,50 m Wasserstand (5.000 l im Schaukasten) beherbergt fast ausschließlich Weichkorallen. Es ist ein Betonbecken, dessen Wände mit Polyesterlaminat abgedichtet sind. Die dekorierenden Riffschluchten wurden aus Polyurethanschaumkernen herausgeformt und mit Polyesterlaminat in mehreren Lagen überzogen. Dekorationsaufbauten dieser Herstellungsart würden wir mit unseren heutigen Erfahrungen nicht mehr anwenden.

Im zweiten Korallenaquarium (Nr. 27) werden vorrangig Steinkorallen gehalten (Abb. 1). Die Grundfläche beträgt 4,25 m x 0,80 m bei einem Wasserstand von nur 0,75 m (1.800 l im Schaukasten). Es simuliert den Flachwasserbereich und bietet besonders sehr lichtbedürftigen Tieren beste Bedingungen. Das Becken besteht allseitig aus Glas. Für den dekorativen Einbau wurde ausschließlich originales Riffgestein, also Naturmaterial, verwendet. Der Wasserkreislauf erfolgt in beiden Becken prinzipiell gleich. Ein Unterschied besteht im Füllmaterial der Filter. Während wir das Weichkorallen-Aquarium über Travertinsplitt, ein Kalkgestein, filtern, sind die Filterkammern des Steinkorallen-Aquariums ausschließlich mit „lebenden Steinen“ gefüllt. Über den Wert dieser Materialien, das Für und

Wider von Filtern oder anderen technischen Details soll hier nicht diskutiert werden. Interessenten finden ausführliche Darstellungen in aquaristischen Fachzeitschriften und -büchern (Wilkins, 1987).

Als wichtigste technische Errungenschaft für eine erfolgreiche Meerwasser-Aquaristik sind die Eiweißabschäumer anzusehen. Im Handel ist eine Vielzahl von Modellen mit unterschiedlichen Funktionsweisen erhältlich. Das Prinzip der Wirkungsweise ist jedoch gleich: Das Aquarienwasser wird in einem Zylinder möglichst lange mit kleinsten Luftbläschen in Kontakt gebracht. An der Oberfläche der Bläschen lagern sich Eiweißstoffe an, die durch tierische Ausscheidungen, Futterreste und abgestorbene Organismen in das Wasser gelangen. Mit den Schaumbälchen werden diese Eiweiße aus dem Aquariumwasser entfernt, bevor ihre giftig wirkenden Zerfallsprodukte entstehen (Delbeek & Sprung, 1996).



Abb. 3: Doldenkorallen (*Lobophyllia hemprichi*, *L. hataii*). Unter den Tieren haben sich Kalkrotalgen (*Lithothamnion*) angesiedelt, ein Zeichen für gute Wasserhältnisse.

In den Korallenriffregionen unserer Erde herrschen durch Brandung und Wellengang meist starke Wasserbewegungen, zu deren Nachahmung wir mehrere Tauchkreislaspumpen einsetzen. Mittels Zeitschaltung erzeugen sie wechselnde Stömungsrichtungen. Etwa das Zehnfache des Aquariuminhalts wird stündlich durch diese Pumpen bewegt.

Sehr bedeutsam für die Existenz der Korallen ist der Faktor Licht. Die Tiere leben in den lichtdurchfluteten Gebieten unserer Erde um den Äquator. Das Licht ermöglicht den mit Korallenpolypen symbiontisch vereinten Algen, den Zooxanthellen, die Photosynthese. In einem Meter Wassertiefe im Riff wird um die Mittagszeit immerhin noch eine Beleuchtungsstärke von ca. 45.000 Lux gemessen, an der Oberfläche sind es etwa 100.000. Von wesentlicher Bedeutung ist auch das Lichtspektrum, das in seiner Zusammensetzung dem Tageslicht möglichst nahe kommen muß. Unsere Korallenaquarien werden mit Halogen-Metallampfen von 250 bis 1.000 W bestrahlt. Das Licht kommt mit seiner Farbtemperatur von etwa 5.000 bis 6.000 Kelvin (hoher Violett- und Blauanteil) dem natürlichen Sonnenlicht sehr nahe. 12 Stunden täglich ist die Beleuchtung angeschaltet. Zusätzlich und etwa 16 Stunden lang brennen blaue Leuchtstofflampen erprobter Typen (Fossa & Nilsen, 1992)

Das wichtigste Lebenselement der Korallen ist das Meerwasser. Im Vorteil sind große Aquarien, die an relativ sauberen und salzreichen Meeren liegen. Sie verwenden meist nach kurzer Aufbereitung das natürliche Meerwasser. Inlandaquarien, und dazu zählt trotz seiner Lage an der Ostsee das Meeresaquarium Stralsund, stellen das benötigte Meerwasser in der Regel künstlich her. Wir kaufen jährlich z. Zt. etwa 15 Tonnen handelsübliches Meersalzgemisch. In Leitungswasser aufgelöst ergibt es brauchbares Aquarienvasser. Das klingt relativ einfach, verkompliziert sich aber durch die Tatsache, daß unser Trinkwasser unbehandelt nicht risikolos einsetzbar ist.

Natürliche Korallenriffe leben in absolut nährstoffarmen Gewässern. Nitrate, Phosphate oder Silicate sind nicht oder nur in kaum meßbaren Größenordnungen vorhanden. Korallen sind an diese Verhältnisse angepaßt. Eine erfolgreiche Aquarienhaltung ist also nur möglich, wenn auch diese Parameter nicht wesentlich überschritten werden.

Unser Leitungswasser enthält aber diese Verbindungen in meist unbekannter Konzentration. Außerdem können auch Aluminium, Kupfer oder Zink, eingeschwemmt durch sauren Regen oder Wasserleitungen, enthalten sein. Die Ionen dieser Metalle wirken schon in geringen Konzentrationen giftig oder sogar tödlich auf die empfindlichen Organismen.

Bevor wir daher Leitungswasser zur Ergänzung des ständig verdunstenden Aquarienvassers einsetzen oder daraus Meerwasser herstellen, wird es über eine sogenannte Umkehr-Osmose-Anlage geleitet. Der ablaufende Prozeß ist einer äußerst feinen Filterung vergleichbar. Das erhaltene Permeat gleicht der Reinheit destillierten Wassers. Nährstoffe und schädigende Metallionen sind größtenteils oder völlig entzogen. In je tausend Liter dieses Wassers werden nun 35 kg Meersalzgemisch aufgelöst und bei starker Belüftung mindestens zwei Wochen einer „Reifung“ überlassen. Gute Meersalze haben ihren Preis. Sie enthalten aber auch alle lebensnotwendigen Substanzen, einschließlich vieler Spurenelemente. Wie sonst wäre es zu erklären, daß die äußerst sensiblen Korallentiere in guten Aquarien nicht nur lange haltbar sind, sondern auch wachsen und sich sogar vermehren.

Einwandfreies und unbelastetes Meerwasser ist also eine Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Korallenpflege. Allerdings ist ein steter Wasseraustausch um die Korallen wie im Riff nicht möglich, denn ein Aquarium ist ein geschlossenes System. In seinem Wasserkörper finden durch Futtereintrag, Ausscheidungen der Tiere, abgestorbene Organismen und den Entzug von Stoffen zum Aufbau z. B. der Kalkskelette der Korallen oder der Schalen der Riffmuscheln, ständig Veränderungen statt. Regelmäßige Messungen wichtiger Wasserparameter, wie Salinität, pH-Wert, Redoxpotential, Carbonathärte und Calciumgehalt sind unverzichtbar. Die Erfassung anderer wichtiger Werte wie Strontium, Jod oder der Nachweis von Spurenelementen ist durch den hohen technischen Aufwand in der aquaristischen Praxis nicht möglich. Auf der Grundlage der Meßergebnisse werden, falls erforderlich, die notwendigen Korrekturen durchgeführt. Auch ohne wasserverbessernde Eingriffe läuft ein Aquarium über einen bestimmten Zeitraum problemlos. Das Erscheinungsbild und Verhalten der Tie-



Abb. 4: Dieser Aquarienausschnitt ist der gleiche wie in Abbildung 5. Er zeigt das Becken während der Einlaufphase nach etwa 2 Monaten.

re zeigt dann dem Pfleger, ob die Wasserverhältnisse in Ordnung sind oder nicht. Läßt er die Signale der Tiere unbeachtet, kommt es sehr bald zum Zusammenbruch ganzer Tierbestände. Es ist also sinnvoller, die Wasserwerte kontinuierlich zu ermitteln und Korrekturen vorzunehmen, bevor die Tiere den bereits hohen Grad negativer Veränderungen anzeigen. Unseren Riffaquarien werden neben dem teilweisen Austausch von Altwasser gegen Frischwasser in bestimmten Zeitabständen auch regelmäßig Strontium, Spurenelemente und über Kalkreaktoren Calcium zugeführt.

In einem Riffaquarium bilden natürlich die Korallen den hauptsächlichen Tierbesatz, was allerdings nach unserer Auffassung nicht ausschließt, daß sie mit anderen Wirbellosen und auch Fischen vergesellschaftet werden. Erst dadurch entsteht der Eindruck eines natürlichen Biotopausschnitts.

Die Korallen erwerben wir über den Tierhandel. Als öffentliches Schauaquarium müssen wir dabei streng auf die gesetzlichen Einfuhr- und Handelsbestimmungen achten, denn Steinkorallen unterliegen dem Washingtoner Artenschutzabkommen. Nur wenn der Händler die erforderlichen Genehmigungsunterlagen

Abb. 5: Das „eingelaufene“ Aquarium nach etwa 3 Jahren. Rechts eine rosafarbene Rindenkoralle (*Pseudopterogorgia americana*), darüber eine karibische Hornkoralle (*Pseudoplexaura spec.*).



(CITES) mitliefert, werden die Tiere übernommen. Bereits beim Einkauf ist auf die Ansprüche der Arten zu achten. Wird das Aquarium den Anforderungen der Tiere hinsichtlich ihres natürlichen Standortes gerecht? Lichtbedürftigkeit, Strömung, Verträglichkeit zu anderen Arten sind einige Gesichtspunkte der Auswahl. Im Aquarium werden die Korallen an Stellen platziert, die wir für geeignet erachten. War die Standortwahl nicht richtig, zeigen das die Tiere sehr bald durch ihr Verhalten an. Das zu erkennen, ist die Aufgabe des einfühlsamen Tierpflegers. Mehrfaches Umsetzen der Korallen kann durchaus notwendig werden. Unsere Korallenaquarien werden von meiner Stellvertreterin, Frau Jutta Randzio, äußerst sorgfältig betreut. Ihr sind auch die taxonomischen Zuordnungen zu diesem Beitrag, die hier nur zusammenfassend dargestellt sind, zu danken.

In Becken Nr. 20 leben Hornkorallen (Plexauridae), Lederkorallen (Alcyoniidae), Schleierkorallen (Nephtheidae), Röhrenkorallen (Clavulariidae) und wenige Steinkorallen (Caryophylliidae) zusammen. Im Korallenaquarium Nr. 27 liegt der Schwerpunkt auf den



Abb. 6: Ausschnitt aus einer Orgelkoralle (*Tubipora musica*). Sie nehmen gelöste organische Verbindungen über die gesamte Tentakeloberfläche auf.

Steinkorallen. Hier sind Arten aus folgenden Gruppen vergesellschaftet: Steinkorallen (Caryophylliidae, Oculinidae, Faviidae, Mussidae, Trachyphylliidae, Poritidae, Dendrophylliidae, Fungiidae, Acroporidae), Rindenkorallen (Gorgoniidae), Hornkorallen (Plexauridae), Lederkorallen (Alcyoniidae), Schleier- und Straußenkorallen (Nephtheidae, Xeniidae), Kalkkachsenkorallen (Briareidae, Anthothelidae), Orgelkorallen (Tubiporidae) und Röhrenkorallen (Clavulariidae, Cornulariidae) (Baensch & Debelius, 1995).

In den Riffaquarien pflegen wir nicht nur Korallen, sondern auch Tiere anderer Tiergruppen, um unseren Besuchern einen möglichst natürlichen Einblick in das Leben in einem Korallenriff zu bieten. Dabei wird da-

rauf geachtet, daß möglichst keine Arten eingesetzt werden, die die künstlich erzeugte Lebensgemeinschaft stören. Das kann zum Beispiel durch Schnecken erfolgen, die Korallen als Nahrung bevorzugen, oder wenn kräftige Seeigel bei ihrer Fortbewegung Korallen oder Dekorationsteile umstoßen. Auch korallenfressende Fische sind denkbar ungeeignet.

Die Partnerwahl wird also mit größter Sorgfalt durchgeführt. Und dennoch bleiben unangenehme Überraschungen nicht aus. Sie können durch Fehler in der Besetzung oder, und das kommt häufiger vor, durch „blinde Passagiere“ ausgelöst werden. Beim Kauf von Korallenstöcken oder „lebenden Steinen“ werden Larven oder winzige Jugendstadien von Arten eingeschleppt, die sich nach einiger Zeit als Störenfriede im Riffaquarium entpuppen.

Ein gewissenhafter Tierpfleger merkt es den Tieren an, wenn etwas nicht in Ordnung ist. Veränderungen im äußeren Erscheinungsbild, wie sich nicht mehr öffnende Polypen, farbliche Abweichungen, Schleimbildung oder das Erschlaffen der Körper, sind Ausdruck wirkender Störfaktoren. Es ist jedoch in vielen Fällen schwer, die Ursachen eindeutig zu erkennen. Neben tierbedingten Einflüssen können Veränderungen in der Wasserqualität dafür verantwortlich sein. Mitunter ist es dann unerlässlich, das Riffaquarium nachts mit der Taschenlampe zu untersuchen, da schädigende Weichtiere oder Würmer häufig erst bei Dunkelheit sichtbar und wirksam werden.

Die bereits erwähnten „lebenden Steine“ sind eine Fundgrube für die Riffaquaristik. Es handelt sich dabei um poröses Originalgestein aus dem Korallenriff, das auf dem Luftwege schnellstens naß transportiert in die Tierhandlungen gelangt. Das Gewicht der Steine bedingt natürlich die hohen Preise. Wenn es auch vorteilhaft wäre, die Dekoration eines Aquariums ausschließlich aus solchem Gestein aufzubauen, so setzen die Kosten zumindest in großen Anlagen klare Grenzen. „Lebende Steine“ sind besetzt durch eine Vielzahl unterschiedlichster Organismen, die im Aquarium für abwechslungsreiche Besiedlung sorgen. Daß dabei auch unerwünschte Arten eingeschleppt werden können, wurde bereits erwähnt. Die positiven Aspekte überwiegen jedoch eindeutig. Auf „lebenden Steinen“ finden sich Schwämme (Porifera), Nesseltiere (Cnidaria), verschiedene Würmer (Nematoda, Annelida), Krebstiere (Crustacea), Weichtiere (Mollusca), Moostierchen (Bryozoa), Stachelhäuter (Echinodermata), Seescheiden (Asciacea) und auch verschiedene Algen. Die Steine werden vor dem Einsetzen auf abgestorbene Organismen untersucht, die möglichst vollständig zu entfernen sind. Die Bewohner der „lebenden Steine“ breiten sich im Aquarium auch auf andere „tote“ Dekorationsmaterialien aus und bilden den Grundstock eines naturnahen Riffaquariums. Aber Geduld ist vonnöten! Jedes Riffaquarium muß über eine längere Zeit „eingefahren“ werden. Etwa drei Monate dauert es, bis sich ein ausreichender Bestand an nitrit- und nitratreduzierenden Bakterien entwickelt hat, die diese schädigenden organischen Abbauprodukte entfernen. Auch das Algenwachstum durchläuft unterschiedliche Stadien. Sind es anfangs besonders Kieselalgen (Diatomeen), die mit unschönen braunen Belägen die Dekoration überziehen und solange auftreten, bis der hohe Siliciumgehalt des

Wassers abgebaut ist, folgen ihnen Blaualgen (Cyanophyta) und letztlich unerwünschte fädige Grünalgen (Chlorophyta). In diesem Stadium können die ersten algenfressenden Fische (*Zebrasoma*, Blenniidae) eingesetzt werden. Allmählich, und je nach dem Entwicklungsstand des Aquariums, wird der Bestand an Wirbellosen und Fischen aufgebaut. Der Abschluß der Einfahrphase kann sich durchaus über ein Jahr hinziehen. Geduld und Vorsicht werden dann aber mit einem sich nahezu im biologischen Gleichgewicht befindlichen und gut funktionierenden Korallenriffaquarium belohnt.

Die beiden Riffaquarien des Museums werden außer den erwähnten Korallen von folgenden Tiergruppen besiedelt:

1. Schwämme (Porifera):
Gemeine Schwämme (Axinellidae, Halidonidae, Aplysinidae).
2. Kalkröhrenwürmer (Serpulidae)
3. Nesseltiere (Cnidaria):
Wirtsanemonen (Stichodactylidae),
Sandanemonen (Phymantidae),
Glasrosen (Aiptasiidae),
Krustenanemonen (Zoanthidae),
Scheibenanemonen (Discosomatidae, Ricordeidae).
4. Weichtiere (Mollusca):
Porzellanschnecken (Cypraenidae),
Wurmschnecken (Vermetidae),
Turbanschnecken (Turbinidae),
Ohrschnellen (Trochidae),
Käferschnellen (Chitonidae),
Nerithaschnecken (Neritidae),
Spaltnapfschnecken (Fissurellidae),
Napfschnecken (Patellidae),
Riesenmuscheln (Tridacnidae).
5. Stachelhäuter (Echinodermata):
Schildtentakel-Seewalzen (Holothuridae),
Querigel (Echinometridae),
Diademseeigel (Diadematidae),
Kissensterne (Oreasteridae),
Schlangensterne (Ophiocoreidae).
6. Krebstiere (Crustacea):
Einsiedlerkrebse (Diogenidae),
Putzergarnelen (Hippolytidae),
Scherengarnelen (Stenopodidae),
Porzellankrebse (Porcellanidae),
Spinnenkrabben (Majiidae).
7. Faltenkiemen-Seescheiden (Stylidae)
8. Knochenfische (Osteichthyes):
Doktorfische (Acanthuridae),
Schmetterlingsfische (Chaetodontidae),
Kaninchenfische (Siganidae),
Zackenbarsche (Serranidae),
Korallenwächter (Cirrhitidae),
Riffbarsche (Pomacentridae),
Trompetenfische (Aulostomidae),
Lippfische (Labridae),
Feenbarsche (Grammidae),
Grundeln (Gobiidae),
Leierfische (Callyonymidae),
Schleimfische (Blenniidae),
Zwergbarsche (Pseudochromidae).

Korallenaquarien sind sehr arbeitsintensive Anlagen. Zu den täglichen Aufgaben des Pflegers gehört die gewissenhafte Kontrolle des Tierbestandes und der umfangreichen technischen Einrichtungen. Auch die erforderliche starke Beleuchtung führt zu Problemen. Auf den Scheiben wachsen großflächig Algen, die die Sicht beeinträchtigen und ständig beseitigt werden müssen. Über die Messungen und die sich daraus ergebenden Korrekturen der Wasserwerte wurde bereits berichtet. Ein hoher Arbeitsaufwand ist mit der Fütterung verbunden. In den Riffaquarien leben unterschiedlichste Organismen zusammen, entsprechend differenziert sind die Nahrungsansprüche und die sich daraus ergebenden Fütterungsmethoden.

Ein sehr wertvolles Futter für viele Aquarientiere sind die Schwebegarnelen (Mysidacea), die wir in den Boddengewässern fangen, lebend verfüttern oder als Wintervorrat einfrieren. Auch vom Handel werden unterschiedlichste Futtertiere, bis hin zum Plankton, gefrostet angeboten. Speziell für die Planktonfresser unter den Pfleglingen, wie verschiedene Anemonen, Korallen und manche Fischarten, ist lebendes Plankton erforderlich. In einem besonderen Raum werden planktonische Salzkrebschen (*Artemia salina*) angezogen und Rädertierchen (*Brachionus*) gezüchtet. Um letztere in den benötigten großen Mengen zur Entwicklung zu bringen, sind als Futtergrundlage mikroskopisch kleine Grünalgen erforderlich. Auch diese müssen in Massen gezüchtet werden. Die Zucht- und Aufwuchsbehälter für Algen, Rädertierchen oder *Artemia* sind ständig zu warten, zu reinigen und neu zu besetzen. Bereits geringe Unachtsamkeiten im Pflegerhythmus können zum Zusammenbruch ganzer Futterkulturen und somit zum Verlust der Ergebnisse wochenlanger Arbeit führen.

Die meisten Fische bereiten bei der Fütterung wenig Probleme. Sie nehmen lebende Schwebegarnelen oder Artemien, aber auch Frostfutter. Besonderes Augenmerk muß auf langsame Fresser oder solche, die sich ihr Futter vom Boden aufsammeln, gelegt werden. Auch Einsiedlerkrebse und Garnelen suchen sich ihre Nahrung selbst. Die Größe des Futters muß natürlich auf die Arten abgestimmt sein. Seenadeln oder Schnepfenmesserfische z. B. benötigen die *Artemialarven*, da sie ein sehr kleines Maul besitzen. Schwieriger gestaltet sich das Füttern vieler festsitzender Tiere. Verschiedene Seeanemonen, Pilzkorallen oder die Steinkorallen *Tubastrea* erhalten ihr Futter gezielt mit der Pinzette verabreicht. Anderen kleinpypigen Korallen genügt das Futter, das durch die Wasserströmung an ihrem Körper vorbeigetrieben und von den Tentakeln erfaßt wird. Mehrere Arten nehmen gelöste organische Stoffe direkt aus dem Wasser über ihre Körperoberfläche auf oder leben mit symbiontischen einzelligen Algen zusammen. Diese Zooxanthellen, winzige Grünalgen im Hautgewebe vieler Korallen und z. B. der Riesenmuscheln (Tridacnidae), produzieren aus dem Kohlendioxid des Wassers und den Ausscheidungsprodukten der Wirtskorallen mit Hilfe des Sonnenlichts organische Verbindungen wie Glucose, Glycerin oder Aminosäuren. Die Algen übertragen diese Nährstoffe in den Korallenkörper und nehmen aus diesem gleichermaßen die Ausscheidungsprodukte zur Wiederverwertung auf. Diese

spezielle Art der photosynthetischen Ernährungsweise von Grünalgen und Korallen stellt in dem nährstoffarmen Milieu der Korallenmeere eine hervorragende Ernährungsstrategie dar (s. Beitrag Schlichter in diesem Band). Ob im Aquarium diese Ernährung für alle Korallen völlig ausreicht, ist nicht sicher. Durch den Zusatz von Planktonorganismen ist jedoch im Bedarfsfall der Partikelfang durch die Polypen abgesichert. Die Fütterung der Organismen in der vielfältigen Lebensgemeinschaft eines Riffaquariums ist eine komplizierte Aufgabe für die Tierpfleger, zumal dabei



Abb. 7: Mehrere Fischarten eignen sich zur Vergesellschaftung mit Korallen. Ein Langnasen-Korallenwächter (*Oxycirrhites typus*) auf einer Rindenkoralle.

auch sehr auf die zu verabreichende Menge geachtet werden muß. Der Deckung des Nahrungsbedarfs steht die zunehmende Belastung des Wassers durch organische Abbauprodukte gegenüber, die auch durch abgestorbene Futtertiere oder -reste erfolgt. Wie schnell ein gut eingefahrenes Riffaquarium geschädigt werden oder völlig zusammenbrechen kann, sollen abschließend folgende Beispiele zeigen: Unser Riffbecken Nr. 27 befand sich nach langer Einlaufphase in optimalem Zustand. Plötzlich wurden an den Korallen und Riesenmuscheln Veränderungen bemerkt. Die Muscheln öffneten sich kaum, und an den Korallenstöcken waren keine oder nur wenige Polypen zu sehen. Einigen Arten sah man den nahenden

Tod an. Die von uns meßbaren Wasserwerte ließen keine negative Schlußfolgerung zu. Erst die Analysen eines Labors gaben Aufschluß. Eine hohe Belastung mit Kupferionen war die Ursache des fortschreitenden Absterbens. Alle technischen Geräte und die Wasseraufbereitungsanlagen wurden genauestens überprüft – kein Ergebnis. Erst die totale Beräumung der Filteranlagen brachte die Aufklärung. Ein Stückchen Kupferkabel der Elektriker war bei nachträglichen Installationsarbeiten trotz gewissenhafter Sicherungsmaßnahmen in das Filtermaterial geraten. Nur wenige Tiere konnten gerettet werden. Die gesamte Anlage wurde völlig beräumt, behandelt und konnte erst nach längerer Zeit wieder in Betrieb genommen werden.

Im vergangenen Jahr fiel durch technischen Mangel unsere Revers-Osmose-Anlage zur Reinigung des Trinkwassers für einige Wochen aus. Die Ergänzung des Verdunstungswassers wurde nun mit normalem Leitungswasser durchgeführt. Auch das Meerwasser mußte aus Leitungswasser hergestellt und bei Teilwasserwechseln verwendet werden. Schleimabsondernde Korallen, sich nicht öffnende Polypen und verschlossene Riesenmuscheln waren das Ergebnis. Zum Glück konnte aufbereitetes Leitungswasser den Schaden noch rechtzeitig begrenzen. Ähnliche Vorfälle sind z. B. auch aus den wunderschönen Riffaquarien des Tierparks Hagenbeck in Hamburg bekannt.

Wird aus diesen Ereignissen in einem Aquarium nicht deutlich, wie sensibel diese Organismen auf geringfügige Abweichungen von den normalen Umweltfaktoren reagieren? Nicht anders verhalten sich die Korallen in ihrer natürlichen Umwelt. Tankerunfälle, Verklappungen oder gar die globale Erwärmung bedeuten für diesen faszinierenden und für die Menschen dieser Regionen bedeutenden Lebensraum den sicheren Tod.

Öffentliche Schauaquarien tragen eine große Mitverantwortung. Sie dürfen nicht nur Schönheit und Vielfalt der Riffe den Besuchern suggerieren, sie müssen in besonderem Maße auf die Bedrohung dieser Lebensräume aufmerksam machen. Viele hervorragende Hobbyaquarianer haben den Weg für erfolgreiche Riffaquaristik mitbereitet. Je besser es gemeinsam gelingt, Korallen in Aquarien nicht nur zu erhalten, sondern sie auch zu vermehren, um so mehr werden die natürlichen Ressourcen geschont. Den gemeinsamen Bemühungen von Wissenschaftlern und Aquariern ist es zu verdanken, daß bereits erfolgversprechende Versuche der Wiederbesiedlung fast abgestorbener Riffe aufgenommen wurden.

Literatur:

- Baensch, H. A. & H. Debelius (1995): Meerwasseratlas. 2. überarbeitete Auflage. Melle: Mergus.
- Delbeek, J. C. & J. Sprung (1996): Das Riffaquarium. Ricordea Publishing Inc. Florida, USA.
- Fossa, S. A. & A. J. Nilsen (1992 bis 1996): Korallenriff-Aquarium, Bände 1 bis 5. Birgit Schmettkamp Verlag, Bornheim.
- Tschiesche, K.-H. (1980): Das Meeresaquarium. In: Das Meeresmuseum Stralsund - Entwicklung, Aufgaben, Arbeitsergebnisse. Meer und Museum, 1: 28 - 35.
- Wilkens, P. (1987): Niedere Tiere im tropischen Seewasser-aquarium. 2. veränderte Auflage. Wuppertal-Elberfeld. Priem Verlag.



Abb. 1: Jeder Besucher konnte während der Veranstaltungen des Meeresmuseums zum IYOR 1997 diesen Anstecker nach eigenem Geschmack farblich selbst gestalten.

Das „Internationale Jahr des Riffs 1997“ im Deutschen Museum für Meereskunde und Fischerei

U. Maschow

Kaum einem der hunderttausenden Besucher, die im vergangenen Jahr das Meeresmuseum besichtigten, dürfte entgangen sein, daß 1997 zum „Internationalen Jahr des Riffs“ (IYOR) deklariert war. Denn bereits im Foyer des Museums erregten ein „Korallenriffpfeiler“ mit bunten „Korallenfischen“ - von Kindern erbaut -, eine Stellwand mit einer phantastischen Unterwasseraufnahme von einem lebenden Riff und entsprechenden Aussagen, sowie ein Tisch mit Informationsblättern und einer Internet-Adresse die Aufmerksamkeit der Besucher. Wer dieses Ensemble nicht nur im Vorbeigehen wahrnahm, konnte sich mit solchen Flyern und über die Internet-Adresse Wissenswertes über Korallenriffe und das Anliegen des IYOR einholen, aber sich auch an der Stellwand über die vielfältigen Aktivitäten des Deutschen Museums für Meereskunde und Fischerei aus diesem Anlaß informieren.

Wie beteiligte sich nun das Meeresmuseums an den in vielen Ländern durchgeführten Aktionen zum „Internationalen Jahr des Riffs“?

Anfang März 1997 wurde eine große Vitrine mit dem Thema „Korallen - Kunstformen der Natur“ gestaltet. Wer hat schon Gelegenheit, die bizarre Schönheit dieser, von winzigen Korallenpolypen erbauten „Kunstwerke“ in der Natur zu erleben! Mit dieser Ausstellungsvitrine, die eine Ergänzung zum 4,30 m hohen Korallenriffpfeiler daneben darstellt, werden nicht nur die „Baumeister“ und ihre Biologie vorgestellt, es wird auch ein Eindruck vermittelt von der erstaunlichen Vielfalt der Erscheinungsformen, in denen Korallen auftreten.

Frau Dr. Helen Yap, Professorin an der Universität in

Manila (Philippinen), ist eine bekannte Wissenschaftlerin, deren Forschungsarbeit sich auf die Wiederbelebung (Rehabilitation) geschädigter oder zerstörter Riffbereiche konzentriert. Da sie im Juni 1997 anläßlich eines UN-Umweltkongresses in Amsterdam weilte, gelang es, Frau Prof. Yap für einen öffentlichen Vortrag über diese aktuellen Forschungen zur Korallenriff-Ökologie zu gewinnen.

Höhepunkt der Aktivitäten des Meeresmuseums zum IYOR waren allerdings die „Tage des Meeres“, vom 6. bis 10. Oktober. Diese, jedes Jahr in den Herbstferien stattfindende Veranstaltungsreihe stand 1997 unter dem Motto „Wissenswertes und Unterhaltsames rund um Korallenriffe und deren Schutz“. Täglich von 10 bis 15 Uhr wurden eine Reihe von Informations- aber auch Betätigungsmöglichkeiten für alle kleinen und großen Besucher des Hauses angeboten.

So ging es am ersten Tag um die Geschichte eines der attraktivsten Ausstellungsobjekte im Meeresmuseum, den Korallenriffpfeiler. Teilnehmer der Expeditionen „Acropora 76“ und „Acropora 79“ ins Rote Meer, die seinerzeit das Material für den Aufbau dieses Riffpfeilers gesammelt haben, berichteten über ihre Erlebnisse, zeigten Sammlungsobjekte und Ausrüstungsgegenstände und standen natürlich für die Fragen der Besucher zur Verfügung. Man konnte aber auch den interessanten Skelettaufbau ausgewählter Korallen im Stereo-Mikroskop betrachten, sein Wissen über diese Tiere bei einem Quiz unter Beweis stellen oder sich einen Anstecker (Button, s. Abb. 1) anfertigen.

Am zweiten Tag hieß es dann „Tauchen, Taucher, Tauchgeräte“. Vier Sporttaucher waren mit ihrer

Tauchtechnik, vom Schnorchel bis zur Unterwasserkamera, ins Museum gekommen. So konnten sich interessierte Besucher fachkompetent beraten lassen, wie man die faszinierende Unterwasserwelt hautnah erleben kann, gelegentlich vielleicht sogar auch selbst im Korallenriff! Für die Kinder war es an diesem Tag ein besonderer Spaß zu erleben, wie man selber mit Tauchermaske unter Wasser sehen und dort mit Schnorchel bzw. Preßluftflasche atmen kann. Bei diesem „Taugang“ (Abb. 2) konnten sie sogar kleine Meerestiere (Spielzeug) erbeuten.

In ähnlicher Weise verliefen die weiteren Tage. Informationen und Betätigungsmöglichkeiten für alle Besuchergruppen gab es also auch, als es unter dem Tagesthema „Sesam öffne dich ...“ um die Korallensammlung hinter den Kulissen des Museums oder unter dem Thema „Modellieren, mazerieren, konservieren“ um Präparationsmethoden von Korallen ging.

Am letzten Tag hieß es dann „Korallen im Meeresaquarium“. Hier hatten die Besucher nicht nur Gelegenheit, den Unterschied zwischen einem Korallenskelett und einem lebenden Korallenstock kennenzulernen, sondern konnten auch Einblicke in die aufwendige Haltung und Pflege dieser sensiblen Geschöpfe erhalten.

Das war aber noch nicht alles, was den Stralsundern und ihren Gästen zu den „Tagen des Meeres“ geboten wurde. Eine Reihe von Abendveranstaltungen rundeten das Programm ab. So konnten für je einen Abend zwei der namhaftesten Korallenforscher Deutschlands für einen öffentlichen Vortrag gewonnen werden. Prof. Dr. Helmut Schuhmacher von der Universität Essen stellte in einem beeindruckenden Lichtbildervortrag die „Riffkorallen - Baumeister am Meeresgrund: gestern, heute, morgen“ vor. Prof. Dr. Dietrich Kühlmann, ehemals Kustos der Abteilung „Marine Tiere“ am Museum für Naturkunde Berlin, berichtete interessant und anregend „Vom Werden und Vergehen der Korallenriffe“. Im Anschluß daran wurde eine kleine informative Personalausstellung anlässlich seines 70. Geburtstages mit dem Titel „Ein Leben für Korallen - Professor Dr. D. H. H. Kühlmann, Biologe, Ökologe und Korallenriffsforscher“ eröffnet (Abb. 3).

Der Schlußpunkt unter diese erlebnisreiche Woche wurde mit der Veranstaltung „Im Aquarium bei Nacht“ gesetzt. Der Leiter des Meeresaquariums, Dr. Karl-Heinz Tschiesche, führte in erfrischender Art die Gäste durch ein abwechslungsreiches Programm. Das Spannendste des Abends war dabei ganz sicher die Möglichkeit, mit einer Taschenlampe gewissermaßen in die „Schlafzimmer“ der Fische zu schauen. Insgesamt erlebten 8.034 Besucher die „Tage des Meeres“. Und noch einmal war das Internationale Jahr der Riffe Mittelpunkt im Meeresmuseum. Der im Winterhalbjahr einmal im Monat stattfindende Familiensonntag, besonders beliebt bei Familien mit Kindern aus der Region, stand im November unter dem Motto „1997 - Internationales Jahr der Riffe“. 1.121 Besucher machten an diesem Aktionstag Gebrauch von der Möglichkeit, sich rund um Korallen und Korallenriffe zu informieren und zu betätigen.

Nicht zuletzt ist auch der vorliegende Band der mu-



Abb. 2: Interessenten konnten ausprobieren, wie Schnorchel, Tauchermaske und Lungenautomat „funktionieren“.

seumseigenen Publikationsreihe „Meer und Museum“ dem IYOR gewidmet.

Mit diesen Aktivitäten im Jahr 1997 hat das Deutsche Museum für Meereskunde und Fischerei seinen speziellen Beitrag zum Anliegen des Internationalen Jahres des Riffs, nämlich Kenntnisse über Korallenriffe, deren Schutzbedürftigkeit und Bedrohung zu vermitteln, geleistet.

Abb. 3: In einer besonderen Vitrine (hier ein Ausschnitt) wurden, aus Anlaß seines 70. Geburtstages, die Forschungen von Prof. Dr. Dietrich H. H. Kühlmann in den Korallenriffen vorgestellt und gewürdigt. Kühlmann hat durch die Übergabe seiner exakt dadierten Korallensammlung und seines umfangreichen Bestandes an Separata zur Korallenforschung an das Meeresmuseum die wissenschaftlichen Sammlung und die Fachbibliothek des Museums wesentlich bereichert.



Das Jahr 1997 der Stiftung Deutsches Museum für Meereskunde und Fischerei

H. Benke

Das Deutsche Museum für Meereskunde und Fischerei (DMMF) steht vor sehr wichtigen Entscheidungen. Die heutigen Anforderungen an die Institution durch den Status als Stiftung mit gesamtstaatlichen Aufgaben, die Aufnahme in die dauerhafte Förderung durch den Bund und die anhaltende, sehr hohe Frequentierung durch die Öffentlichkeit sind Notwendigkeit und Chance für eine grundlegende Zukunftsplanung zugleich. Während im Besucherbereich alle Möglichkeiten genutzt werden, das Erscheinungsbild und die Bildungsangebote in gewohnt engagierter Weise weiterzuentwickeln, wird hinter den Kulissen mit großer Energie an einer technischen Modernisierung sowie an Konzepten zur Erweiterung der Einrichtung gearbeitet.

Wichtige Bau- und Werterhaltungsmaßnahmen

Das aufwendigste und weithin sichtbare Großprojekt war die im April begonnene Sanierung des Daches der Katharinenhalle. In der ersten Phase dieser Maßnahme wurde 1997 der gesamte Südteil sowie der Chor eingerüstet, um den Dachstuhl zu einem erheblichen Teil zu erneuern und das Dach neu einzudecken. Trotz der Großbaustellen in den Außenanlagen und im

Magazinbereich über dem Gewölbe konnte der Museumsbetrieb vollständig aufrechterhalten werden. Die Maßnahme wird finanziert durch Förderungen des Bundesministeriums des Innern und der Deutschen Stiftung Denkmalschutz. Planungen sehen vor, in den kommenden Jahren zunächst die Dachsanierung der Katharinenhalle abzuschließen, dann den Haselbergbau instand zu setzen und als nächstes die Innenarchitektur - vor allem das Gewölbe - der Katharinenhalle zu restaurieren. Damit sind gute Voraussetzungen gegeben, die kostbare historische Klosteranlage mit der gebotenen Sorgfalt zu sichern.

Drei weitere Baumaßnahmen von größerem Umfang sind festzuhalten. Erstens wurde der Ostsee-Rund-

Die wichtigste Bau- und Werterhaltungsmaßnahme 1997 war die Erneuerung erheblicher Teile des Dachstuhls und die Neueindeckung der Südseite des Daches. Die Katharinenhalle hat mit etwa 2.200 m² das größte Ziegeldach Stralsunds (unten links).

Der 1949 gebaute 17-m-Kutter „Adolf Reichwein“, ein technisches Denkmal der Fischerei auf dem Museumshof, wird seit 1996 völlig restauriert. Am 15. 9. 1997 erfolgte mit dem Mastsetzen der Abschluß der Rohbauarbeiten.





Der 1997 neugestaltete Museumsladen ermöglicht jetzt, ein noch vielseitigeres Angebot an maritimen museumsbezogenen Verkaufserzeugnissen zu präsentieren.

gang einschließlich des Museumsladens technisch vollständig renoviert. Fußboden, Bodenbelag, elektrische Anlagen, Inneneinrichtungen und Ausstellungen dieses ältesten Ausstellungsbereiches des Museums wurden erneuert bzw. überarbeitet und die Räume bis zum Aquarienkeller neu gestrichen. Zweitens wurde das alte Nordsee-Aquarium stillgelegt, ausgeräumt und anschließend der historische Gewölbekeller baulich saniert. Dabei zeigte sich leider, daß von außen Wasser durch das Fundament und die Wände eindringt. Die Sanierung wird dadurch wesentlich aufwendiger als ursprünglich angenommen und wird vermutlich erst 1999 abgeschlossen werden können. Drittens wurde der historische 17-m-Kutter „Adolf Reichwein“ von Grund auf rekonstruiert. Mit Spenden der Ostdeutschen Sparkassenstiftung, der Sparkasse Stralsund und regionaler Betriebe sowie durch sieben ABM-Kräfte war es möglich, dieses einmalige historische Großobjekt, welches seit mehr als 25 Jahren zum Erscheinungsbild des Museums gehört, komplett zu rekonstruieren. Am 15.9.1997 erfolgte das Mastsetzen; die Restaurationsmaßnahme wird Mitte 1998 abgeschlossen.

Die Aufwendungen des Museums zur Instandhaltung der historischen Bausubstanz und der Großexponate sind also beträchtlich. Im Jahre 1997 konnten hier sehr gute Fortschritte erzielt werden. Dabei muß aber berücksichtigt werden, daß sowohl die hohen Kosten als auch die Notwendigkeit, den Besucherbetrieb täglich zu gewährleisten, den Rahmen des Realisierbaren enger halten, als es uns aus technischer Sicht notwendig erscheint.

Wissenschaftliche Öffentlichkeitsarbeit

Ein besonderer Schwerpunkt unserer laufenden Arbeit liegt auf der Profilierung der wissenschaftlichen Öffentlichkeitsarbeit. Wie in den Vorjahren richtete das Museum national und international bedeutsame Fachtagungen aus. Vom 9. – 12.3.1997 fand in Stralsund die 11. Jahrestagung der „European Cetacean Society“ statt, an der über 350 Walforscher aus 27 Län-



1968 wurde der erste Raum der Kaltwasserabteilung des Meeresaquariums eröffnet. Nach fast 30 Jahren war eine Sanierung und Neugestaltung dringend erforderlich.

dern teilnahmen. Im Rahmen der „Podiumsgespräche“ führten wir am 22. Mai 1997 eine Fachtagung zum Thema „Warnsignale aus der Ostsee“ durch, an der Meeresforscher der Universitäten Greifswald, Kiel und Rostock, vom Institut für Ostseeforschung Warnemünde und vom Bundesamt für Naturschutz eine aktuelle Bilanz der ökologischen Situation der Ostsee vorlegten. Die Beiträge der letztgenannten Tagung sind in Band 13 von „Meer und Museum“ veröffentlicht worden. Dieser besonders umfangreiche Band enthält zudem die viel beachtete monographische Bearbeitung der wissenschaftlichen Untersuchungen über die Wismar-Bucht und das Salzhaff; er entstand in Zusammenarbeit mit dem Institut für Angewandte Ökologie, Broderstorf, und zahlreichen anderen Wissenschaftlern. An dieser Stelle ist auch die Veröffentlichung von Band 4 (1997) des „Historisch-Meereskundlichen Jahrbuches“ zu nennen, welches in acht Beiträgen über die Entwicklung der deutschen Meereskunde am Beispiel des ehemaligen Institutes und Museums für Meereskunde in Berlin berichtet und damit u. a. die Wurzeln unseres Museums in besonderer Weise aufzeigt.

Die 11. Internationale Jahrestagung der „European Cetacean Society“, an der über 350 Walforscher teilnahmen, war 1997 die wichtigste Veranstaltung des DMMF.





Die stets im Herbst stattfindenden „Tage des Meeres“ wurden im Jahre 1997 dem „International Year of the Reef“ gewidmet. Namhafte deutsche Korallen-Forscher gewährten Einblicke in ihre Forschung. Ein reichhaltiges pädagogisches Programm begeisterte Jung und Alt. Die auch in Fachkreisen beachteten Beiträge, ergänzt durch weitere Themen, sind in diesem Band von „Meer und Museum“ „Korallenriffe - bedrohte Wildnis tropischer Meere“ veröffentlicht.

Der wissenschaftlichen Öffentlichkeitsarbeit dienen verstärkt auch von Mitarbeitern des Museums konzipierte und an andere Kultureinrichtungen verliehene Sonderausstellungen. 1997 gelang es, vier Beiträge zu erarbeiten:

- „Das Meer im Museum – das Meer am Museum“, Sonderausstellung des Meeresmuseums in der URANIA Berlin vom 17.4. – 30.5.1997.
- Aufbau eines Finnwalskelettes in der Kunst- und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland in Bonn anlässlich der viel beachteten Ausstellung „Arktis – Antarktis“.
- „Schweinswale in Not“, Sonderausstellung des Meeresmuseums anlässlich der 2. Vertragsstaatenkonferenz zu dem Kleinwalschutzabkommen ASCOBANS im Wissenschaftszentrum in Bonn vom 17. – 19.11.1997. Die Ausstellung wurde ab Dezember auch in Stralsund gezeigt.
- „Zwischen Rügen und Darß“, Sonderausstellung des Meeresmuseums im Natureum Niederelbe in Balje, Landkreis Stade (Eröffnung Januar 1998).

Jährlich besuchen Gäste aus vielen Ländern das DMMF. Museumsdirektor Dr. H. Benke begrüßt die Mitarbeiter des Chinesischen Staatszirkus. Darüber ist das im Berichtsjahr montierte Skelett des 1993 bei Hiddensee gestrandeten Entenwals zu sehen.

Weitere fünf Ausstellungen wurden in Stralsund gezeigt:

- „Umweltkritische Kunst“, Sonderausstellung von Professor B. Löbach-Hinweiser, in Kooperation mit dem Kulturhistorischen Museum Stralsund, vom 19.1. – 23.2.1997.
- „Pro Natur – Angler als Biotop- und Artenschützer“, Sonderausstellung des Deutschen Anglerverbandes e.V. Berlin, verbunden mit „Die Meerforelle - der Fisch des Jahres 1997“ des FB Biologie der Universität Rostock und „Angeln im Spiegel der Literatur“ vom 1.1. – 23.2.1997.
- „Rettet die Wale“, Ausstellung der Preisträger des Zeichenwettbewerbes anlässlich der 10. ECS-Taugung in Stralsund vom 3.3. – 6.4.1997.
- „Professor Dr. D. H. H. Kühlmann – ein Leben für Korallen“, Personalausstellung anlässlich des 70. Geburtstages, Eröffnung am 8.10.1997.

An den 476 Veranstaltungen, die 1997 stattfanden (Führungen, fachspezifischer Unterricht, Vorträge, Förderverein, Projekttag, Ferien- und Vorschulveranstaltungen, Kinderklub, Lehrerfortbildungen, Familiensonnentage und „Tage des Meeres“), nahmen 30.690 Besucher teil.

Zukünftig ist es erforderlich, die notwendigen räumlichen und technischen Voraussetzungen für eine derart umfangreiche wissenschaftliche Öffentlichkeitsarbeit im Museum zu schaffen. Diese Planungsziele sind allerdings nur in engem Zusammenhang mit dem Ausbau der Museumspädagogik und der Besucherbetreuung sinnvoll.

Wissenschaftliche Arbeit

Die wissenschaftliche Arbeit (Sammlungen, Ausstellungen, Publikationen) konzentrierte sich vorrangig auf die Arbeitsschwerpunkte in den Ausstellungsbereichen Ostsee (Rundgang), Mensch und Meer (2. OG), Meeresgeologie (Erdgeschoß) und Fischerei-Geschichte (1. OG). Bemerkenswerte Neuzugänge in den Sammlungen betreffen vor allem die Wirbellosen (Korallen, Weichtiere) und die Meeresbotanik (Vorpommersche Boddengewässer und Schwarzes Meer) sowie die Beschaffung von vier vollständigen Skeletten der in der Nordsee gestrandeten Pottwale. Von der Schwedischen Firma Ölandsten in Sandvik erhielt das Museum eine hervorragende Orthocerenkalk-Platte aus dem Ordovizium, die demnächst in den Dauerausstellungen zu sehen sein wird. Mehrere umfangreiche Schenkungen von Fachliteratur sind zu verzeichnen. Die Bestandszugänge betragen insgesamt in den Sammlungsbereichen Zoologie (vornehmlich Wirbellose) etwa 4.800 Tiere, Botanik 575 Herbarbelege, Fischerei und Meereskunde 52 Objekte, Geologie etwa 200 Stücke, maritime Philatelie 101 Positionen. Die Bibliothek wurde durch 753 Bücher, Publikationen von 190 Schriftentauschpartnern sowie den Zugängen von 217 Zeitschriftentiteln und Serien bereichert. In das Betriebsarchiv erfolgte die Einarbeitung von etwa 1.000 Schriftdokumenten. Das Fotoarchiv übernahm 916 Farbdiaspositive und Aufnahmen auf 72 Farbnegativfilmen.

In den Dauerausstellungen wurden im Erdgeschoß fünf Vitrinen zur Meeresbiologie neu eingerichtet, und im Chor erfolgte die Endmontage des Skelettes eines Entenwales, der am 23.8.1993 vor Hiddensee strandete (in „Meer und Museum“ Band 11/1995 wurde darüber berichtet). Drei Vitrinen wurden in der Fischereiausstellung neu gestaltet (Anfänge der Fischerei, Eisfischerei, Kuttermodelle) und zwei weitere Vitrinen und zwei Großexponate gestalterisch überarbeitet. Im oberen Bereich „Mensch und Meer“ wurden vier Vitrinen neu eingerichtet (Kühlmann, Schweinswale, Fischschwärme, pelagische Fische). Über die Rekonstruktion des gesamten Ostsee-Rundganges wurde bereits berichtet.

Am Aufbau dieser Ausstellungsabschnitte waren vor allem beteiligt: Dipl.-Biol. Klaus Harder, Dipl.-Biol. Erika Hoppe, Dipl.-Biol. Ines Podszuck, Dipl.-Geol. Rolf Reinicke, Dipl.-Biol. Horst Schröder, Dipl.-Biol. Gerhard Schulze, Dr. Dirk Stechmann, Dr. Sonnfried Streicher und Dr. Harald Benke (wissenschaftliche Exposés), Roland Heppert, Anita Riechert und Ines Westphal (Gestaltung und Graphik), Uwe Beese, Annerose Goldbecher, Jens Heischkel und Volkhardt Heller (Präparation).



Im Winter 1997/98 strandeten an der deutschen Nordseeküste fünf Pottwale. Vier Skelette davon erhielt das DMMF. Das erste wurde am 12. 12. 97 nach Stralsund transportiert. Allein der mächtige Schädel wog 1,6 Tonnen.

In den begleitenden Freiland-Untersuchungen setzten die wissenschaftlichen Mitarbeiter die Arbeiten in folgenden Projekten fort: Ökologie und Arteninventar des Strelasundes (Hoppe, Koschmieder, Podszuck, Schröder), Schweinswale im östlichen Grenzbereich der Verbreitung (Dr. Benke, Schulze), Untersuchungen zur Populationsstruktur der Schweinswale in deutschen Gewässern (Dr. Benke, Huggenberger),

Präparatorin A. Goldbecher bei der Montage von Heringspräparaten in der neu gestalteten Vitrine „Fischschwärme: natürliche Schutzgemeinschaften - durch die Fischerei bedroht“.



Robben-Monitoring (Harder) und Grundlagen der Küstendynamik in Vorpommern (Reinicke). Die Wissenschaftler nahmen an 22 Fachtagungen teil und brachten 13 Manuskripte zur Publikation.

Aquarium

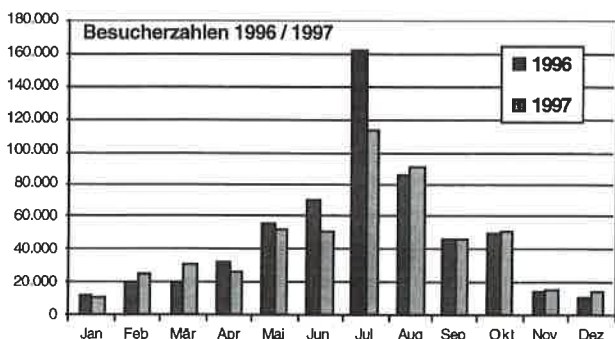
Die Meeresaquarien als Publikumsmagnet des Museums sind einerseits eine lebende Ergänzung der Themen der Ausstellung, andererseits dienen sie aber einer lebensnahen Gestaltung des Biologieunterrichtes der allgemeinbildenden Schulen sowie der Gestaltung eines praxisnahen Biologiestudiums an den benachbarten Universitäten. Ausgehend von der lokalen Meeresfauna werden in einem ausgewählten Spektrum marine Organismen der kalten, gemäßigten, subtropischen und tropischen Zonen präsentiert. In den insgesamt 230.000 Liter fassenden Schau-, Quarantäne- und Zuchtaquarien wurden 1997 ca. 300 Arten gehalten. Wichtigste Neuzugänge waren verschiedene Kaiser- und Falterfischarten sowie ein Riesenzackenbarsch. Wiederholt gelang die erfolgreiche Nachzucht des Indonesischen Kardinalbarsches.

NATUREUM Darßer Ort

Die Außenstelle NATUREUM Darßer Ort des DMMF im Nationalpark Vorpommersche Boddenlandschaft erreichte weiterhin eine zunehmend größere Ausstrahlung. Sie wurde 1997 von 114.578 Gästen besucht. Damit gehört diese besonders attraktive Anlage zu den fünf am meisten besuchten musealen Einrichtungen in Mecklenburg-Vorpommern. Im Berichtsjahr wurde die Ausstellung „Naturraum Darßer Ort“ vollständig überarbeitet und ergänzt. Der erste Teil der Fotoausstellung „Leuchttürme an der deutschen Ostseeküste“ konnte fertiggestellt werden. Durch eine wesentliche Verbesserung der Aquarientechnik (u. a. Erneuerung von Kompressor, Kühlaggregat und Reservebehälter) wurden die Bedingungen für die für 1998 geplante Erweiterung des Ostsee-Aquariums geschaffen. Umfangreiche Arbeiten im Freigelände führten zu einer wesentlichen Verbesserung des Gesamterscheinungsbildes der Einrichtung.

Besucherentwicklung

Die Gesamtbesucherzahl des DMMF betrug im Berichtsjahr 529.582. Damit ist das Meeresmuseum weiterhin das am meisten besuchte Museum ganz Nord-



deutschlands und zählt zu den wenigen Museen in Deutschland, die Jahr für Jahr über eine halbe Million Besucher aufzuweisen haben. Die Besucherzahlen in den einzelnen Monaten sind in dem Diagramm aufgeführt. Daraus ist ersichtlich, daß der Juli und der August die besucherstärksten Monate darstellen, in denen mitunter bis zu 6.000 Besucher täglich das Haus aufsuchten, was hohe Anforderungen für das Kassen- und Aufsichtspersonal bedeutet.

Verwaltungsrat und Beirat

Die beiden die Stiftung beratenden und kontrollierenden Gremien sind der Verwaltungsrat und der Beirat.

Dem Verwaltungsrat gehörten an (Stand September 1997):

Wolfgang Fröhling, Vorsitzender (Vertreter der Bürgerschaft) (seit 15.4.1996),
 Prof. Dr. Ernst-Albert Arndt, stellvertretender Vorsitzender (Vorsitzender des Beirates der Stiftung),
 Dr. Manfred Ackermann (Vertreter des Bundesministeriums des Innern),
 Ministerialrat Gerhard Bley (Vertreter des Kultusministeriums) (seit Mitte 1997),
 Falk Meyer (Vorsitzender und Vertreter des Vereins der Freunde und Förderer des Meeresmuseums e. V.) (seit 24.1.97),
 Karsten Neumann (Vertreter der Bürgerschaft),
 Thomas Nitz, MdL (Vertreter der Bürgerschaft),
 Kurt Pagels (Vertreter der Bürgerschaft).

Der Beirat der Stiftung setzte sich aus folgenden Vertretern der Wissenschaft, Wirtschaft, Verwaltung und Verbände zusammen (Stand September 1997):

Prof. Dr. Ernst-Albert Arndt, Vorsitzender, Universität Rostock, Wissenschaftsbereich Meeresbiologie;
 Reimer Schoof, stellvertretender Vorsitzender, Präsident des Landgerichtes, Stralsund;
 Prof. Dr. Dieter Adelung, Direktor des Instituts für Meereskunde, Kiel;
 Winfried Burke, Vorstandsvorsitzender Sparkasse Stralsund;
 Lothar Fischer, Geschäftsführer des Deutschen Fischereiverbandes e. V., Hamburg;
 Prof. Dr. Gotthilf Hempel, Institut für Ostseeforschung, Warnemünde;
 Dr. Lebrecht Jeschke, Leiter des Landesnationalparkamtes M-V, Speck;
 Hartmut Klatt, Direktor der Filiale Deutsche Bank Stralsund;
 Ulrich Köhler, Wasser- und Schifffahrtsamt Stralsund;
 Dr. Ralph Labes, Referent Naturschutz und Landschaftspflege im Ministerium für Landwirtschaft und Naturschutz des Landes M-V, Schwerin;
 Prof. Dr. Lutz-Arend Meyer-Reil, Direktor des Instituts für Ökologie der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Kloster/Hiddensee;
 Dr. Henning von Nordheim, Fachgebietsleiter Meeres- und Küstennaturschutz beim Bundesamt für Naturschutz, INA Insel Vilm;

Dr. Jens Regg, Direktor des Arbeitsamtes Stralsund;
Prof. Dr. Jörn Thiede, Direktor GEOMAR, Kiel;
Gerd Wegner, Bundesforschungsanstalt für Fischerei,
Hamburg;
Holger Wesemüller, Leiter des Fachbereiches Meere
und Küsten, WWF, Bremen.

Personelles

Seit Überführung des Museums in eine Stiftung und Aufnahme des Hauses in die Liste der „Leuchttürme“ des Bundes sind die Aufgaben des DMMF enorm gewachsen, die jedoch mit einem stets reduziert werdenden Mitarbeiterstab bewältigt werden müssen. Die Mitarbeiter befinden sich an ihrer Leistungsgrenze. Daß dennoch die umfangreichen Aufgaben erledigt werden können, liegt daran, daß das Museum erfreulicherweise über einen stabilen, erfahrenen Stamm von Beschäftigten verfügt.

Für ihre langjährige Tätigkeit an unserem Museum konnten 1997 folgende Mitarbeiter besonders geehrt werden:

25 Jahre, Dr. Karl-Heinz Tschiesche,
25 Jahre, Dagmar Putnies,
25 Jahre, Michael Elflein,
20 Jahre, Bärbel Schröder,
20 Jahre, Detlef Bittner,
15 Jahre, Renate Arndt,
10 Jahre, Harald Lüdtke,
10 Jahre, Sigrid Wewezer.

Frau Dagmar Putnies, die seit dem 1.2.1972 im Meeresmuseum als Gestalterin tätig war, wurde im Berichtsjahr in den Ruhestand verabschiedet. In den 25 Arbeitsjahren prägte sie stark das äußere Erscheinungsbild des Museums.

Zum 31.12.1996 schied der stellvertretende Direktor und international anerkannte Walforscher, Herr Gerhard Schulze, nach 28-jähriger Tätigkeit am Museum aus. Der heutige Status des DMMF und dessen große Attraktivität ist wesentlich auch auf seine Arbeit und sein großes Engagement für das Meeresmuseum zurückzuführen. Auf die frei gewordene Stelle des

stellvertretenden Direktors wurde zum 1. Juli 1997 Herr Dr. Dirk Stechmann berufen. Herr Dr. Stechmann, der lange Zeit für die Universität Bayreuth tätig war und zwei mehrjährige Forschungsprojekte in der Südsee leitete, war zuletzt stellvertretender Direktor am Museum am Schölerberg in Osnabrück.

Zukunftsplanung

Die Entwicklung vom einzigen Naturkunde-Museum an der Ostseeküste der DDR in den 50er Jahren zum heutigen Deutschen Museum für Meereskunde und Fischerei war stets begleitet von der Notwendigkeit, das Museum zu modernisieren und zu erweitern. Die bisherige museologische Konzeption ist außerordentlich erfolgreich, so daß Modernisierungen nicht methodisch, sondern primär thematisch-objektbezogen sowie besucherbezogen erfolgen sollen.

Die bauliche Enge erfordert eine Entlastung der vorhandenen Strukturen, um neue, große Objekte aus den Themenbereichen Meeresforschung, Meeresbiologie und Fischerei zu zeigen und um auch im Aquarium mit größeren Einheiten arbeiten zu können. Der große Besucherstrom erfordert zudem ein großzügigeres Angebot an Ruhe- und Erholungsbereichen, an kindergerechten Angeboten und an kommerziell attraktiveren Bereichen, vor allem im Gaststättenwesen. Auch sind dem Einsatz moderner audiovisueller Medien in der historischen Klosteranlage enge Grenzen gesetzt.

Die Planungen zur Erweiterung sehen zwei räumliche Varianten vor: (a) die Schaffung von kleinen Außenstellen für Ausstellungszwecke oder als Betriebsareale, wie durch das NATUREUM am Darßer Ort und durch die Burmeister-Gedenkstätte in der Mönchstraße bereits verwirklicht, oder (b) die großflächige Erweiterung mit einem zweiten Standort im Bereich der Altstadt von Stralsund, vorzugsweise in direkter Lage am Strelasund. Zur Zeit befinden sich für beide Varianten neue Konzepte in Arbeit. Angestrebt wird, zunächst die Erweiterungspläne abzusichern und mit der Realisierung zu beginnen. Die Entlastung und Verbesserung der Einrichtungen am bisherigen Standort wird zeitgleich, aber schrittweise umzusetzen sein.

Buchbesprechungen

Life and Death of Coral Reefs

Charles Birkeland (Hrsg.)

Chapman & Hall, New York 1997

536 S., mit 124 Abbildungen und zahlreichen Tabellen

Der Reihe der bisher in unregelmäßiger Folge erschienenen Standardkompendien über Korallenriffe, von Jones & Endean (1976: *Biology and Geology of Coral Reefs*) über Barnes (1983: *Perspectives on Coral Reefs*) und Dubinsky (1990: *Coral Reefs*), wurde eine aktuelle Bestandsaufnahme der Kenntnisse der internationalen Rifforschung hinzugefügt. Ausgehend von einem Überblick über die Entstehungsbedingungen und Erscheinungen fossiler Riffe und biogener Karbonatablagerungen durch die Zeitalter der Erdgeschichte legen der Riffökologe Birkeland (Guam) und 16 weitere, z. T. seit langem international renommierte Autoren inhaltsreiche Übersichten der verschiedenen Faktorenkomplexe vor, die im Zusammenwirken die Entwicklung von Korallenriffen und die Dynamik ihrer Lebensgemeinschaften kontrollieren. Die besondere Stärke des neuen Buches liegt dabei in dem Ansatz, Korallenriffe über die Beschreibung von Einzelphänomenen hinaus als komplexe, dynamische Systeme in Raum und Zeit zu betrachten und Zusammenhänge zu analysieren.

Die Beschreibung der Einflüsse von Tektonik, Meeresspiegel, Klima- und hydrographischen Bedingungen sowie mikro-skalierten Umweltfaktoren wie Licht, Nährstoffe, Temperatur und Sediment auf die Riffentwicklung liefern die Vorlage für die Betrachtung einzelner Systemprozesse: Das dynamische Gleichgewicht von Riffaufbau und Bioerosion, die Interaktionen zwischen Korallen und ihren symbiontischen Algen, Krankheiten von Rifforganismen, organische Produktion und Dekomposition, Reproduktion und Rekrutierung als Schlüsselfaktoren für das Überleben von Riffen und die Einflüsse von Räubern und Weidegängern auf Korallen- und Algengemeinschaften. Zwei Kapitel über indirekte Wechselwirkungen im Riff und geographische Unterschiede ökologischer Prozesse schlagen die Brücke zu Übersichtsbeschreibungen der Einbindung von Riffen in tropischen Küstenökosystemen und die taxonomische Diversität und biogeographische Verteilung von Rifforganismen.

Weiteres besonderes Augenmerk liegt auf der Analyse der Situation und Perspektiven der Korallenriff-Ökosysteme am Ende des 20. Jahrhunderts. B. E. Brown (Newcastle, GB) gibt einen Überblick über wirksame Störungen von Korallenriff-Lebensräumen in der heutigen Zeit, unter Berücksichtigung von natürlichen (z. B. Stürme, Bleaching, Massenentwicklungen von *Acanthaster planci*) und anthropogenen Störungen (z. B. Eutrophierung, Sedimentation, Ölverschmutzung) und versucht eine Voraussage der Entwicklung von Riffen unter veränderten Klimabedingungen. Weitere Kapitel über traditionelles Fischereimanagement, Konflikte und Lösungen von Ressourcenmanagement sowie dessen theoretische Aspekte schließen diesen aktuellen Abschnitt über angewandte Fragestellungen ab.

Neben grundlegenden Darstellungen der wesentlichen Systemfaktoren liefern die Autoren z. T. umfangreiches Datenmaterial, das zunehmend eine quantitative Analyse von Systemprozessen im Riff erlaubt (Kohlenstoff-Kreislauf, Energiebudget der Korallen-Algen-Symbiose, Kalkdeposition und -erosion). Entsprechend den Arbeitsgebieten der beteiligten Autoren des Buches liegen viele Beispiele aus der Karibik, aber auch aus der Indopazifischen Riffregion den Darlegungen und instruktiven Grafiken zugrunde. Eine 90-seitige Bibliografie erschließt einen wichtigen Teil der Originalliteratur der letzten drei Jahrzehnte. Arbeiten und Ergebnisse europäischer Autoren sind hier jedoch unterrepräsentiert - so wurde das Rote Meer weitgehend übersehen, obwohl dort seit über 100 Jahren wichtige Grundlagenkenntnisse der weltweiten Rifforschung erarbeitet wurden.

Das Buch stellt dennoch eine umfassende Informationsquelle über die komplexen Zusammenhänge des Lebens, der Entwicklung, aber auch der Bedrohungen und des Sterbens von rezenten Korallenriffen dar. Es liefert auf detaillierter Basis zusammenfassende Darstellungen des aktuellen Kenntnis- und Diskussionsstandes der internationalen Rifforschung, die nicht nur dem Biologen und Geologen, sondern auch fachinteressierten Einsteigern, politischen Entscheidungsträgern und Praktikern

des Küstenmanagements als ergiebiges Nachschlagewerk ausdrücklich empfohlen werden kann.

Götz B. Reinicke, Stralsund

Niedere Meerestiere. Schwämme, Korallen, Krebse, Schnecken, Seesterne und andere. Rotes Meer, Indischer Ozean, Pazifik.

Helmut Schuhmacher und Johann Hinterkircher

BLV Verlagsgesellschaft mbH, München 1996

320 S., ca. 600 meist farbige Abbildungen

Nach seinem bekannten Handbuch über Korallenriffe, das seit 1976 mehrere Neuauflagen und Übersetzungen erlebte, legt H. Schuhmacher, zusammen mit dem Unterwasser-Fotografen Johann Hinterkircher, ein modernes Bestimmungsbuch vor. Mit diesem Band über wirbellose Meerestiere schließt sich eine wichtige Lücke in der Fülle der lieferbaren Bestimmungsbücher für Taucher und Schnorchler. Die Autoren unternehmen es, aus dem unübersehbaren Artenreichtum wirbelloser Tiere tropischer Meeresgebiete einen Überblick über die Vielfalt der Organisationsformen zu geben und charakteristische, häufige Arten vorzustellen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf Bewohnern von Korallenriffen, die, neben einigen pelagischen Quallen, den Tauchern in tropischen Küstengewässern begegnen.

Nach der „Systematischen Übersicht“ und den knappen Hinweisen zur Benutzung des Buches wird „Die Indopazifische Riffregion und ihre Entdeckungsgeschichte“ vorgestellt. Den Verfahren und Problemen der systematischen zoologischen Bearbeitung der tropischen Meeresfauna ist der Abschnitt „Die Erfassung der Fauna“ gewidmet. Die nachfolgenden Kapitel führen in Aufbau und Gliederung von Korallenriffen, Ernährungs- und Fortpflanzungsstrategien und die Nachtaktivität von Rifforganismen ein. Ein kleiner Exkurs führt in die Mangroven, die das zweite charakteristische Ökosystem tropischer Küstengebiete darstellen.

Der Hauptteil des Buches umfaßt mit rund 280 Seiten den Bestimmungsteil. Er greift die inzwischen gängige Gestaltungsform auf, die eine Identifizierung von Tieren ohne komplizierte Bestimmungsschlüssel ermöglicht. Die Stämme der niederen Tiere werden jeweils kurz systematisch charakterisiert. Besonders diese zoologischen Einführungen fallen durch die Anschaulichkeit der Texte und erklärenden Grafiken auf, die auch dem zoologischen Laien die wichtigsten Informationen über die Gruppen erschließen. Hier wurde ein gescheiter Kompromiß zwischen der gerafften Übersicht biologischer Vielfalt und verfügbaren Druckseiten gefunden. Knappe instruktive Texte zur Vorstellung der Arten werden durch Angaben zu Größe, Biologie, Verbreitungsgebiet und durch detaillierte Farbfotos ergänzt - die Gliederung nach dem üblichen zoologischen System erleichtert die schnelle Orientierung.

Allein der reichhaltige Fundus von brillanten Farbfotos der Tiere in ihrem Lebensraum macht schon das Durchblättern des Buches zu einer Entdeckungsreise. Die Auswahl auffälliger und häufiger Vertreter der verschiedenen Tiergruppen regt an zum genauen Hinsehen im Riff und erleichtert das Wiedererkennen. In seiner Einführung gibt H. Schuhmacher zu bedenken: „Eine Artbestimmung nach Bildern ist bei den meisten Rifftieren nicht möglich, da die Diagnose nicht nur das Objekt selbst, sondern auch umfangreiches Spezialwissen erfordert. Den meisten Abbildungen liegen solch wissenschaftlich überprüfte Proben zugrunde.“ Fast 30 taxonomische Spezialisten haben dazu beigetragen, weiterführende Literatur über die einzelnen Tiergruppen wird darüber hinaus genannt.

Den Autoren ist es gelungen, ein Bestimmungsbuch zu gestalten, das die Begeisterung für die kleinen Tiere im Korallenriff wecken kann und ermöglicht, sie mit Erfolg zu identifizieren. Insgesamt handelt es sich um einen handlichen und fachlich sehr lohnenden Begleiter für Entdeckungsreisen in tropische Riffgebiete oder Korallenriffaquarien, der in Format und Ausstattung (Plasteumschlag) gut in jede Jackentasche paßt.

Ines Podszuck, Stralsund

Mitarbeiter dieses Bandes:

Dr. Harald Benke, Direktor des Deutschen Museums für Meereskunde und Fischerei (DMMF), Stralsund;
Dipl.-Biol. Michael Eisinger, Wiss. Mitarbeiter am Institut für Ökologie, Abt. Hydrobiologie, der Universität GHS Essen;
Prof. Dr. Gotthilf Hempel, Direktor des Zentrums für Marine Tropenökologie, Bremen;
Prof. em. Dr. Dietrich H. H. Kühlmann, F. M. B. A., Ecostation, Schmagerow;
Dipl.-Pädagogin Ute Maschow, Museumspädagogin im DMMF, Stralsund;
Prof. em. Dr. Hans Mergner, Bochum;
Markus Paster, Wiss. Mitarbeiter am Institut für Ökologie, Abt. Hydrobiologie, der Universität GHS Essen;
Dipl.-Biol. Ines Podszuck, Kustodin im DMMF, Stralsund;
Dr. Götz B. Reinicke, Oberkustos im DMMF, Stralsund;
Dr. Claudio Richter, Wiss. Mitarbeiter des Zentrums für Marine Tropenökologie Bremen;
Prof. Dr. Dietrich Schlichter, Zoologisches Institut, Abt. Ökophysiologie, der Universität zu Köln;
Prof. Dr. Helmut Schuhmacher, Institut für Ökologie, Abt. Hydrobiologie, der Universität GHS Essen;
Dipl.-Biol. Gerhard Schulze, Wiss. Mitarbeiter des DMMF, Stralsund;
Peter van Treeck, Wiss. Mitarbeiter des Instituts für Ökologie, Abt. Hydrobiologie, der Universität GHS Essen;
Dr. Karl-Heinz Tschiesche, Fachbereichsleiter für das Meeresaquarium des DMMF, Stralsund;
Dr. Wolfgang Wranik, Wiss. Mitarbeiter im Fachbereich Biologie/Meeresbiologie der Universität Rostock.

Fotonachweis:

Archiv DMMF (1): Seite 93 oben.	Schröder, B. (6): Seiten 103, 104 links, 105 oben, 106.
Eisinger, M. (3): Seiten 8, 57 unten.	Schröder, H. (5): Seiten 93 unten, 94 oben rechts, 104 rechts, 107.
Fiedler, W. (1): Rücktitelfoto.	Schuhmacher, H. (30): Titelfoto, Seiten 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 35 Mitte und unten, 41 oben, 45 oben links und rechts, 46 unten rechts, 52, 53 oben und unten rechts, 58, 59, 66.
Gebhardt, J. (1): Seite 95 oben.	Treeck, P. van (10): Seiten 44, 45 unten, 46 unten links, 47, 48, 53 unten links, 60.
Kampmann, H. und Kuhrau, M. L. (1): Seite 20 unten.	Tschiesche, K.-H. (9): Seiten 95 unten, 96, 97, 98, 99, 101, 105 unten.
Kühlmann, D. H. H. (11): Seiten 76, 77, 79 unten, 81, 82.	Wagner, J. (3): Seite 94 linke Spalte.
Kühlmann, K. (1): Seite 75.	Wranik, W. (9): Seiten 87, 88, 89, 90, 91.
Rauschert, M. (1): Seite 79 oben.	Wunsch, M. (14): Seiten 28, 29, 30, 31, 32, 71, 72 oben und 73.
Reinicke, G. B. (16): Seiten 35 oben, 36, 37, 38, 39, 40, 41 unten, 42, 57 oben, 65.	
Richter, C. (1): Seite 72 unten.	
Schlichter, D. (16): Seiten 14, 15, 18, 19, 20 oben, 21, 23, 25, 67.	

MEER UND MUSEUM, Schriftenreihe des Deutschen Museums für Meereskunde und Fischerei, 14, 1998

In dieser Schriftenreihe sind von 1980 bis 1997 die Bände 1 bis 13 erschienen. Die Bände 1 bis 4 und 6 sind vergriffen, die übrigen Bände können im DMMF bezogen werden.

Herausgeber: Dr. rer. nat. Harald Benke
Redaktion, Layout und Gestaltung:
Dipl.- Biologe Horst Schröder
Dr. Sonnfried Streicher

Bezug: Deutsches Museum für Meereskunde und Fischerei
Katharinenberg 14-20
D 18439 Stralsund
ISSN 0863-1131

Rücktitelfoto:

Ausschnitt aus einem Außenriffhang des Süd-Male Atolls (Malediven) im Indischen Ozean. In gut durchlichteten Bereichen stärkerer Wasserbewegungen herrschen schnellwachsende, verzweigte Kolonieförmige Steinkorallen (z. B. der Gattung *Acropora*) vor. Die Lücken und Nischen im Riffgerüst bieten einer unübersehbaren Vielfalt von Bewohnern Verstecke und Lebensraum.

Druck und buchbinderische Verarbeitung:
Offsetdruckerei Gotthardt Simons
Boninstr. 56, 24114 Kiel



DEUTSCHES MUSEUM
FÜR MEERESKUNDE UND FISCHEREI



Meeresmuseum Stralsund