



Was sind künstliche Riffe?

Von HELMUT SCHUHMACHER*)

Mit 11 Abbildungen

*Riff
Riffmodell
Riffprothese
Korallentransplantation
Schuttakkumulation
Küstenschutz
Fischereiwirtschaft
Tourismus*

Inhalt

Zusammenfassung	399
Abstract	400
1. Einleitung	400
2. Erscheinungsformen künstlicher Riffe	400
2.1. Riffmodell	400
2.2. Riffprothese und Korallentransplantat	401
2.3. Akkumulation von Korallenschutt durch einen Fisch	404
2.4. Schutz und Entwicklung von Makrophyten-Beständen	404
2.5. Steigerung der Fischereierträge	404
2.6. Küstenschutz und Beeinflussung lokaler Meeresströmungen	405
2.7. Förderung des Tauchtourismus	407
3. Diskussion	407
4. Schlußfolgerungen	411
Dank	412
Literatur	412

Zusammenfassung

„Künstliche Riffe“ ist ein populärer Begriff; er wird in zunehmendem Maße und anscheinend beliebig im Kontext mit anthropogenen Strukturen am Meeresboden genannt. Aus der Vielfalt der Erscheinungsformen werden Beispiele gegeben – und zwar nach ihrer Zweckbestimmung in sieben Gruppen geordnet:

- 1) Riffmodell zur Grundlagenforschung,
- 2) Riffprothese zur Rehabilitation zerstörter Riffe,
- 3) Wohnbauten von Torpedofischen,
- 4) Schutz von Makrophyten-Beständen,
- 5) Steigerung der Fischereierträge,
- 6) Küstenschutz und Manipulation lokaler Meeresströmungen,
- 7) Förderung des Tauchtourismus.

Zur inhaltlichen Überprüfung dieser verschiedenen, als künstliche Riffe bezeichneten Strukturen wird zunächst eine Definition eines rezenten Riffes gegeben, welche geologische und biologische Auffassungen vereint. Hieran gemessen können Strukturen auf seichtem Meeresboden, auf denen sich hermatypische Arten in wachsender Zahl einfinden und wo das Potential zur Selbstbildung gegeben ist, als künstliche Riffe gelten. Die anderen Strukturen werden als Bioherm, künstliche Bank oder künstliches Buildup eingestuft. Es muß allerdings hingenommen werden, daß sich in der Fischereiwirtschaft, ausgehend von Japan, der Begriff künstliches Riff für letztgenannte Nicht-Riffe eingebürgert hat. „Artificial Habitat“ und „Fish Aggregation Device“ sind neuere Spezifikationen. Künstliche Riffe im Sinne von Riffmodellen können als ökologische Experimentieranlagen dienen, um die jeweilige Rolle der maßgeblichen abiotischen Faktoren Wasserbewegung, Temperatur, Licht für die Ansiedlung riffbildender Arten, ferner das sukzessive Wirksamwerden von Riffbildungsmechanismen und die Abfolgen von Artengemeinschaften und Besiedlungsmustern zu ergünden. Bei künstlichen Riffen im Sinne von Fischereihilfen ist die Bedeutung der punktuellen Konzentration und effektiven Abfischung der Zielarten für den Gesamtbestand zumeist noch nicht klar. Bisher kaum beachtet ist ferner der Effekt, den die neueingeführten, oft räuberischen Arten auf die etablierte Fisch- und Invertebratenzönosen im näheren und weiteren Umfeld der künstlichen Habitate ausüben. Die zunehmende Deponierung von milieufremden Materialien (auf dem Land als Abfallstoffe klassifiziert) als „künstliche Riffe“ ist sehr bedenklich. Strukturellen Veränderungen auf dem Meeresboden sollten gründliche Umweltverträglichkeitsuntersuchungen, wie auf dem Land, vorausgehen.

*) Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. HELMUT SCHUHMACHER, Universität Essen, Institut für Ökologie, Abteilung Hydrobiologie, Universitätsstraße 5, D-45117 Essen.

What are "Artificial Reefs"

Abstract

The student of corals and reefs may be confused by the wide use of this popular term. Seven categories are differentiated:

- 1) experimental reef models for ecological research,
- 2) prosthesis to enhance rehabilitation of degraded reef areas,
- 3) nest-building of sand tilefish,
- 4) hard-bottom structures to promote the recovery of macrophyte-stands,
- 5) structural devices to enhance fishery,
- 6) banks to manipulate coastal currents,
- 7) man-made scenery for dive tourism.

The materials include natural rock, electrochemical precipitations from the sea water, coral debris, modules of concrete, steel, PVC and coal ash, ship- and car-wrecks, old tires and other scrap material. A definition of a recent reef is given which combines geological and biological understanding. Compared to that the examples are discriminated in reefs and non-reefs; the latter may be classified as bioherm, artificial bank and artificial buildup. Artificial Habitat and Fish Aggregation Device are specific terms recently introduced in fisheries. The ecological and environmental impact of the various man-made structures which are widely dispersed on the seabed, is addressed.

1. Einleitung

Ersten Kontakt mit Riffen hatten wohl Seeleute. Sie beschrieben ihre Lage und Gestalt und begründeten das Interesse der Geographen an dieser Form des Meeresbodens (z.B. WERTH, 1901). Entstehung, Lebensbedingungen und Formwandel von Riffen sind gemeinschaftlicher Gegenstand wissenschaftlicher Auseinandersetzung von Biologen, Geologen und Paläontologen, wobei der interdisziplinäre Ansatz besonders fruchtbar ist (DARWIN, 1842; WALTHER, 1888). „Künstliche Riffe“ (Tsuki Iso – INO, 1974) werden schließlich schon seit mindestens 200 Jahren von japanischen Fischern genutzt, um die Fangträge zu steigern. Mittlerweile hat sich – aus entsprechenden Anwendungen der Fischereiwirtschaft heraus – eine eigene Industrie entwickelt, die verschiedenste Bauelemente für künstliche Riffe herstellt. Darüber hinaus gehören künstliche Riffe auch zu den Mitteln und Maßnahmen, die im Küstenschutz und vom Tourismus-Management eingesetzt werden.

Gerade in planerisch-wirtschaftlichem Kontext taucht der Begriff „künstliche Riffe“ häufig und anscheinend beliebig auf. Ein wissenschaftlicher Diskurs über Riffe, insbesondere rezente Riffe, kann daher deren anthropogene „Stiefgeschwister“ nicht außer acht lassen. Dies umso weniger, als zur Zeit beträchtliche Manipulationen des küstennahen Meeresbodens vorgenommen werden. Vorliegende Arbeit beschreibt und untersucht Strukturen, die als künstliche Riffe bezeichnet werden. Im Hinblick auf natürliche Riffe wird nicht nur die begrifflich korrekte Bezeichnung der diversen Strukturen diskutiert, sondern vor allem auch die ökologische Relevanz der in rasch ansteigender Zahl etablierten Kunstbauten beleuchtet.

2. Erscheinungsformen künstlicher Riffe

Eine Durchsicht der Literatur bringt recht Unterschiedliches unter dem Begriff „künstliche Riffe“ zutage. Nachfolgend wird versucht, diese Vielfalt – ergänzt durch eigene Beobachtungen – zu kategorisieren und durch Beispiele zu beleuchten.

2.1. Riffmodell

Unter dem Blickwinkel der Grundlagenforschung hat SCHUHMACHER (1974, 1977, 1988) Hafentore aus Granitblöcken, die in der Nähe natürlicher Korallenriffe

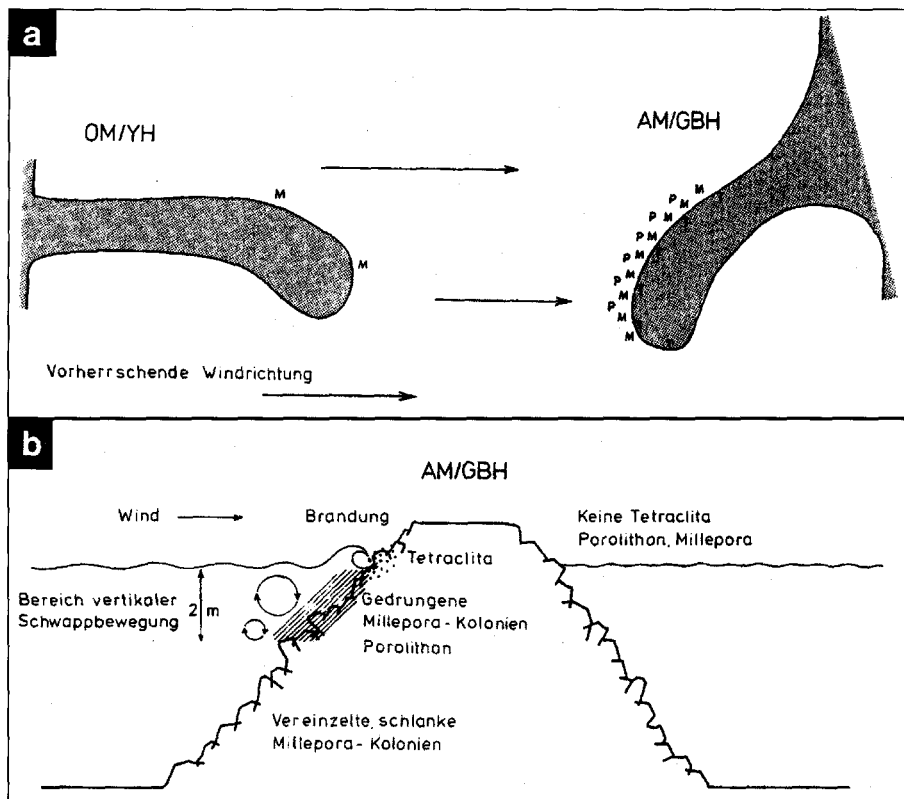


Abb. 1. Die Bedeutung hydrodynamischer Bedingungen für die Ansiedlung von riffbildenden Arten an künstlichen Riffmodellen bei Eilat (Rotes Meer).
 a) Lage der östlichen Mole des Yachthafens (OM/YA) und der alten Mole des Glasbodenboot-Hafens (AM/GBH) zur vorherrschenden Windrichtung (fast permanent N bis NNW).
 b) Brandungsabhängiges Vorkommen der Seepocken *Tetracilita squamosa rufotincta* (T) sowie krustenförmiger Kolonien der Kalkrotalgen *Neogoniolithon fosliei* und *Porolithon onkodes* (P) und der Hydrokorallen *Millepora exaesa* und *M. dichotoma* (M).

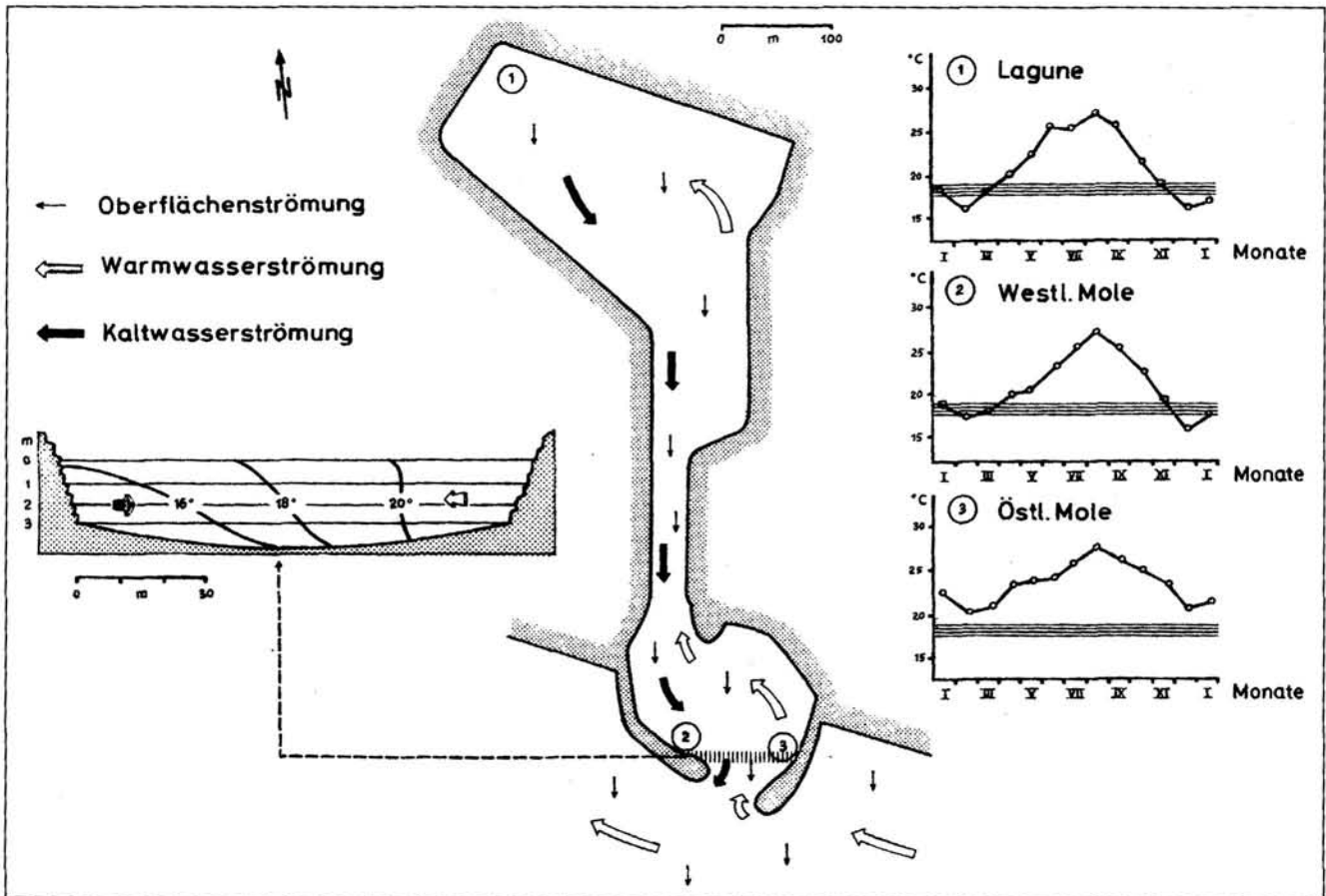


Abb. 2. Die Bedeutung der Wassertemperatur für die Etablierung von Riffkorallen, überprüft an den Molen des Yachthafens von Eilat (Rotes Meer). Das im Winter deutlich unter 18°C abkühlende Wasser einer flachen künstlichen Lagune im Norden des Yachthafens strömt unter dem Einfluß des fast permanenten Nordwindes entlang der westlichen Mole ins Meer; die relativ warme Kompensationsströmung aus dem Golf von Aqaba erfolgt entlang der Ostmole. Nur hier haben sich Korallen langfristig etabliert. Linkes Schnittbild: Temperatur- und Strömungsverteilung zwischen den Stellen 2 und 3 im Winter; rechts Jahrestemperaturgang in der Lagune und an der westlichen und östlichen Mole. Aus SCHUHMACHER (1993, mit freundlicher Genehmigung des Analytica-Verlages).

errichtet worden waren, auf ihre sukzessive Besiedlung durch Korallen und andere Riffbesiedler untersucht. Er betrachtete dabei die Aufbauten von Steinblöcken, die aus Tiefen von 4 bis 10 m bis über die Wasseroberfläche ragen, als künstliche Riffmodelle im Maßstab 1 : 1 – insbesondere hinsichtlich vor- und rückspringender Strukturen, Licht-Schatten-Bedingungen und hydraulischer Gegebenheiten (Abb. 1). Selbst die Temperaturabhängigkeit von Riffkorallen konnte durch geschickte Auswahl der Riffmodelle bestätigt werden (Abb. 2). Binnen zwanzig Jahren haben sich nach einer „Vorbereitungsphase“ des fremden Granitsubstrates durch ubiquitäre Pionierformen sukzessive Gerüstbildner, Gerüstverbinder und Bioerodierer eingefunden, die inselartige Protoriffgemeinschaften entstehen ließen (SCHUHMACHER, 1988). Dieser Prozeß hat geologische Bedeutung, da kristalline Gesteine als primäres Substrat natürlicher Riffe weit verbreitet sind und diese Mechanismen während der Startphase beobachtet werden können (DULLO, 1990; DULLO & HECHT, 1991).

2.2. Riffprothese und Korallentransplantat

Mechanische Schädigungen von Korallenriffen infolge von Dynamitfischerei sowie durch Sprengungen und Abgarnen von Korallen, um Baumaterial zu gewinnen und

Fahrinnen freizumachen, sind heute weit verbreitet. Auf dem kahlen oder mit Schutt bedeckten, eingeebneten Riffboden siedeln sich Korallen und andere Riffbewohner nur stark verzögert an. HILLMER & SCHOLZ (1991) haben vorgeschlagen, über den Meeresspiegel angehobenen fossilen Riffkalk in Blöcken abzutragen und in den degra-

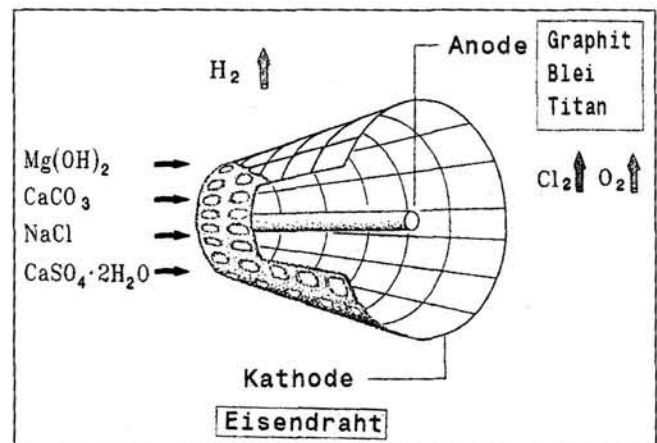
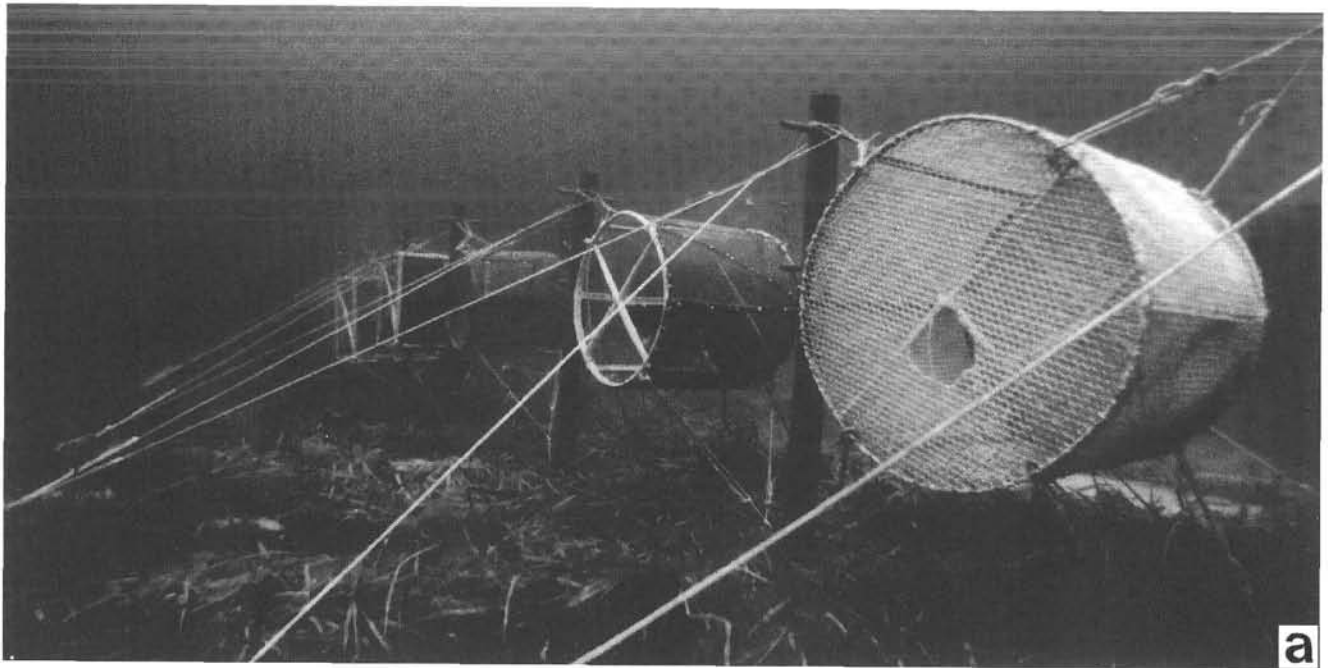
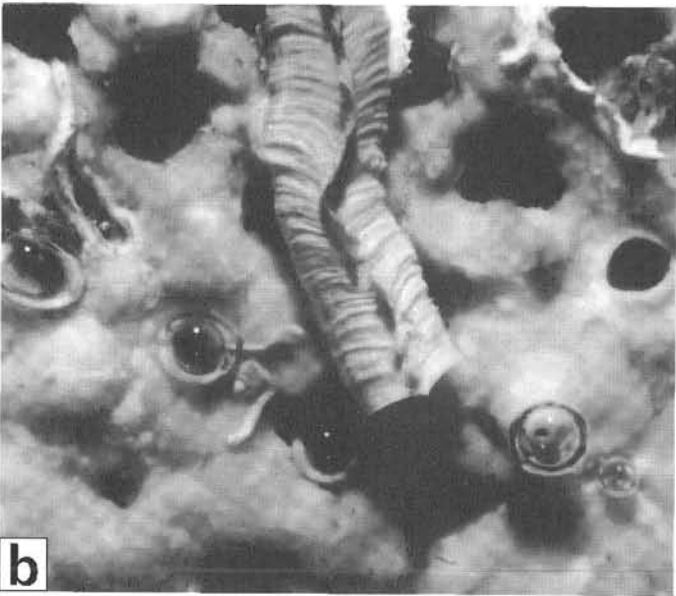


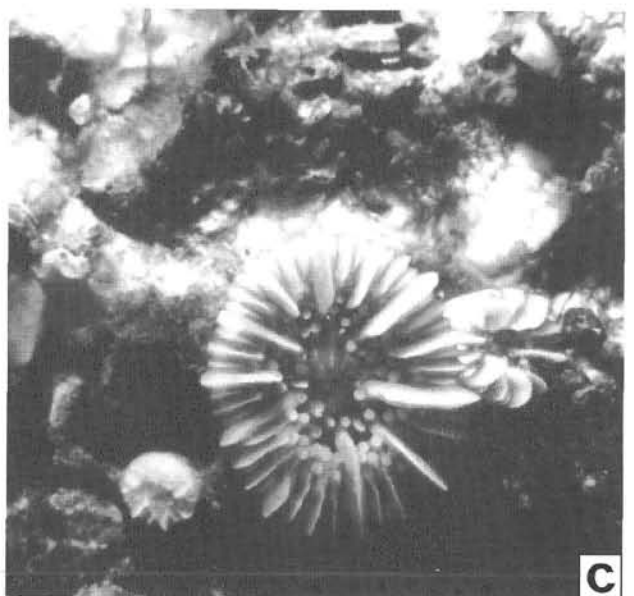
Abb. 3. Prinzip der elektrochemischen Abscheidung von Brucit, Kalk, Gips, Halit (Reihung nach Häufigkeit) auf dem als Kathode geschalteten Maschendrahtgerüst; an der Anode (aus Graphit oder Titan) entsteht gleichzeitig Sauerstoff und Chlorgas.



a



b



c



d

Abb. 4.
Elektrochemisch-biogene Erzeugung von Hartsubstrat in situ im Mittelmeer.

- a) Versuchsmodule bei Calvi (Korsika) in 18 m Tiefe nach sieben Wochen Dauerstrom von ca. 3 A und 10 V; Durchmesser des vorderen Zylinders = 60 cm.
- b) Simultane physikalische Abscheidung von Brucit (erkennbar an den gleichzeitig entstehenden Wasserstoffblasen) und biogene Abscheidung von Kalziumkarbonat durch den Serpuliden *Spirobranchus polytrema* (Durchmesser der Röhre = 4 mm).
- c) Steinkorallen (*Caryophyllia inornata*) tragen nach drei Jahren zum weiteren Aufbau des biogenen Hartsubstrates bei (großer Kelchdurchmesser = 13 mm).
- d) Ausschnitt (20 cm) aus dem Schattenbereich eines Versuchsmoduls nach zwei Jahren Exposition – diverse Besiedlung durch Schwämme, Steinkorallen, Bryozoen, Polychaeten, Ascidien (in Bildmitte *Halocynthia papillosa*).



Abb. 5.
„Nest“- bzw. Wohnbauten des Fisches *Malacanthus plumieri* im Vorriff (ca. 25 m tief) bei Santa Marta (Kolumbien).

- a) Fisch (15 cm lang) vor seinem Bau.
- b) Eingang der Wohnröhre.
- c) Übersicht über Wohnhügel.

dierten Riffbereichen zu verteilen. Die lagestabilen Kalkblöcke würden dann bevorzugter Ansiedlungspunkt und Nukleus für eine neu zu etablierende Riffzönose sein.

Ein anderes, neu entwickeltes Verfahren, um attraktives Ansiedlungssubstrat bereitzustellen, beruht auf der elektrochemischen Abscheidung von Magnesium- und Kalzium-Mineralien (Abb. 3) in situ aus dem Meerwasser auf ein vorgegebenes Maschendraht-Templat (HILBERTZ et al., 1977). Durch eine geeignete Steuerung des Stromregimes wird – intermittierend mit der physikalischen Präzipitation – die Ansiedlung kalkabscheidender Pionierformen aus den Gruppen der Algen, Röhrenwürmer (Abb. 4) und Bryozoen ermöglicht (BUBNER et al., 1988; MEYER & SCHUHMACHER, 1993; SCHUHMACHER & SCHILLAK, i.Dr.). Das so geschaffene Hartsubstrat erleichtert und beschleunigt die Wiederansiedlung von Korallen und anderen Riffbildnern. Das Aussetzen von vegetativ vermehrten Korallen (nur bestimmte Arten sind hierfür geeignet [YAP et al., 1992]), die – analog zu Baumschulen – auf kleinen Betonklötzen herangezogen und dann in das zerstörte Riffareal transplantiert werden (AUBERSON, 1982), kann bei kleinen Arealen den Rehabilitationsprozeß zusätzlich beschleunigen.

2.3. Akkumulation von Korallenschutt durch einen Fisch

Dieser Fall gehört in mehrerer Hinsicht in den Grenzbereich vorliegender Erörterung. Im tropischen Atlantik kommt die Fischart *Malacanthus plumieri* (BLOCH) aus der Familie Branchiostegidae, Torpedofische, vor. Die Fische sind langgestreckt, haben je einen durchgehenden dorsalen und ventralen Flossensaum und werden bis zu 20 cm lang. Nach eigenen Beobachtungen bei Santa Marta (Kolumbien) bauen sie Wohnhöhlen im Sandbereich des Vorrumbes unterhalb des Riffansatzes (meist > 20 m Tiefe). Um den Eingang zu einer Wohnhöhle liegen Korallenstückchen (u.a. *Acropora cervicornis*, *Agaricia* sp.) und Muschelschalen dicht gehäuft auf einer Fläche von 1–3 m² (Abb. 5). Dieses bioklastische Material kann durch Algen, Schwämme, Röhrenwürmer und Bryozoen partiell überwachsen und miteinander verkrustet werden. Es entstehen so inselartige Kleinhabitate für eine z.T. spezifische Invertebraten- und Fischgemeinschaft.

Die *Malacanthus*-Hügel erheben sich nur selten mehr als 30 cm über den umgebenden Sandboden; meistens sind es nicht mehr als 10 cm. Bei einer Inspektion reichte das akkumulierte Korallenmaterial mindestens 40 cm tief. Wenn auch genaue Untersuchungen noch ausstehen (vgl. CLIFTON & HUNTER, 1972), ist es naheliegend, daß der Korallenschutt von mehreren bis vielen Generationen von Fischen zusammengetragen wird, die jeweils denselben Bau als Wohnung benutzen. Ähnliche, bis 80 cm hohe Strukturen des Torpedofisches *Hoplotalilus geo* wurden von FRICKE & KACHER (1982) aus dem Roten Meer von Tiefen zwischen 80–116 m beschrieben.

2.4. Schutz und Entwicklung von Makrophyten-Beständen

Ausgedehnte Wiesen von *Posidonia oceanica* sind charakteristisch für das Mittelmeer. In Tiefen zwischen 2 und ca. 40 m hat dieser endemische Vertreter der Potamogetonaceae eine Schlüsselfunktion gleichermaßen für die Primärproduktion wie für die Sedimentfestlegung. Durch immer intensivere Fischerei mit schweren Grundschlepp-

netzen wurden zahlreiche *Posidonia*-Bestände zerpflegt und zerstört; einschlägige Schutzvorschriften wurden kaum beachtet. Es wurden daher zuerst an der italienischen und dann auch an der französischen und spanischen Mittelmeerküste Felsblöcke, aber auch vorgeformte Betonteile in den bedrohten Arealen versenkt und zu niedrigen (ca. 1 m hohen) Wällen und Haufen aufgeschichtet, um rein mechanisch die Fischerei zu behindern und gleichzeitig Höhlenbewohnern (z.B. Krebsen, *Octopus*) Unterschlupf zu schaffen (BOMBACE, 1989).

Vor der kalifornischen Küste bei Los Angeles und San Diego gehen die Bestände des Riesentang *Macrocystis pyrifera* und damit auch die der hiermit assoziierten Algen und Tiere zurück. Eine Ursache ist die zunehmende Versandung und Verschlammung des reliefarmen Hartbodens infolge Abwässereinleitung und Sedimenteintrag durch ständige Unterhaltungsmaßnahmen an Hafen- und Küstenbauten. Die Tange siedeln sich nur auf Hartsubstrat an, wo sie sich mit mächtigen Rhizoiden verankern können. Schotter- und Blockwälle von 1–2 m Höhe und bis zu 20 m Längsdurchmesser wurden in 8–11 m Tiefe ausgebracht und im Verlauf von wenigen Jahren auch von den Großtang besiedelt (z.B. „Pendleton Artificial Reef“ [CARTER et al., 1985]), wobei diese zunächst auf die neuen Substrate transplantiert worden waren (zusammen mit wirtschaftlich interessanten Tierarten, z.B. Meerohr-Schnecken *Haliotis rufescens*).

2.5. Steigerung der Fischereierträge

Es ist eine sehr alte Erfahrung, daß Fische von strukturreichen Erhebungen über einem ansonsten einförmigen Meeresboden angezogen werden. In Japan haben Verfahren, fischereiwirtschaftlich wichtige Arten an vorbestimmten Stellen durch geeignete Strukturen zu konzentrieren, eine lange Tradition. Nach dem zweiten Weltkrieg setzte weltweit eine Bewegung ein, Kunstprodukte zur Struktur-anreicherung und damit zur Verbesserung der Fischereierträge zu verwenden (Abb. 6). Einen wesentlichen Anstoß hierzu in USA gaben die Untersuchungen von CARLISLE et al. (1964) im Zuge von Pilotprojekten vor der kalifornischen Küste. Hiernach erwiesen sich versenkte Schiffe, Straßenbahnwagen, aber auch spezielle „housing schemes“ aus Beton als attraktive Verstecke für Fische und lockten darüber hinaus fischereiwirtschaftlich wertvolle Raubfische an. Das oft wahllose Versenken von Schiffen, Straßenbahn- und Autowracks (anfangs ohne die geringsten Vorkehrungen, wie Entfernen von Öl und giftigen Anstrichen) wurde Ende der 70iger Jahre durch die Errichtung von Reifen-Riffen abgelöst – Abermillionen von Altreifen wurden bisher auf diese Weise „entsorgt“ (Abb. 7c,d).

In Abhängigkeit vom Material und von der Exposition zu Strömung, Licht und Sedimentation werden diese künstlichen Gerüststrukturen nach wenigen Jahren von kalkabscheidenden Pionierformen (Serpuliden, Aустern) besiedelt, die – zumindest in den Tropen – wiederum Ansiedlungssubstrat für Korallen darstellen (Abb. 8). Nach eigenen Beobachtungen in der Lagune von Truk (Mikronesien) werden japanische Flugzeugwracks aus dem zweiten Weltkrieg heute (also nach knapp 50 Jahren) noch weitgehend blank angetroffen, was wohl an der Aluminiumlegierung liegt; der stählerne Rumpf von gleichzeitig gesunkenen Schiffen ist hingegen weitgehend von sessilen Suspensionsfängern überkleidet (wenn auch noch freie Roststellen zu bemerken sind); außerdem sind Steinkorallen

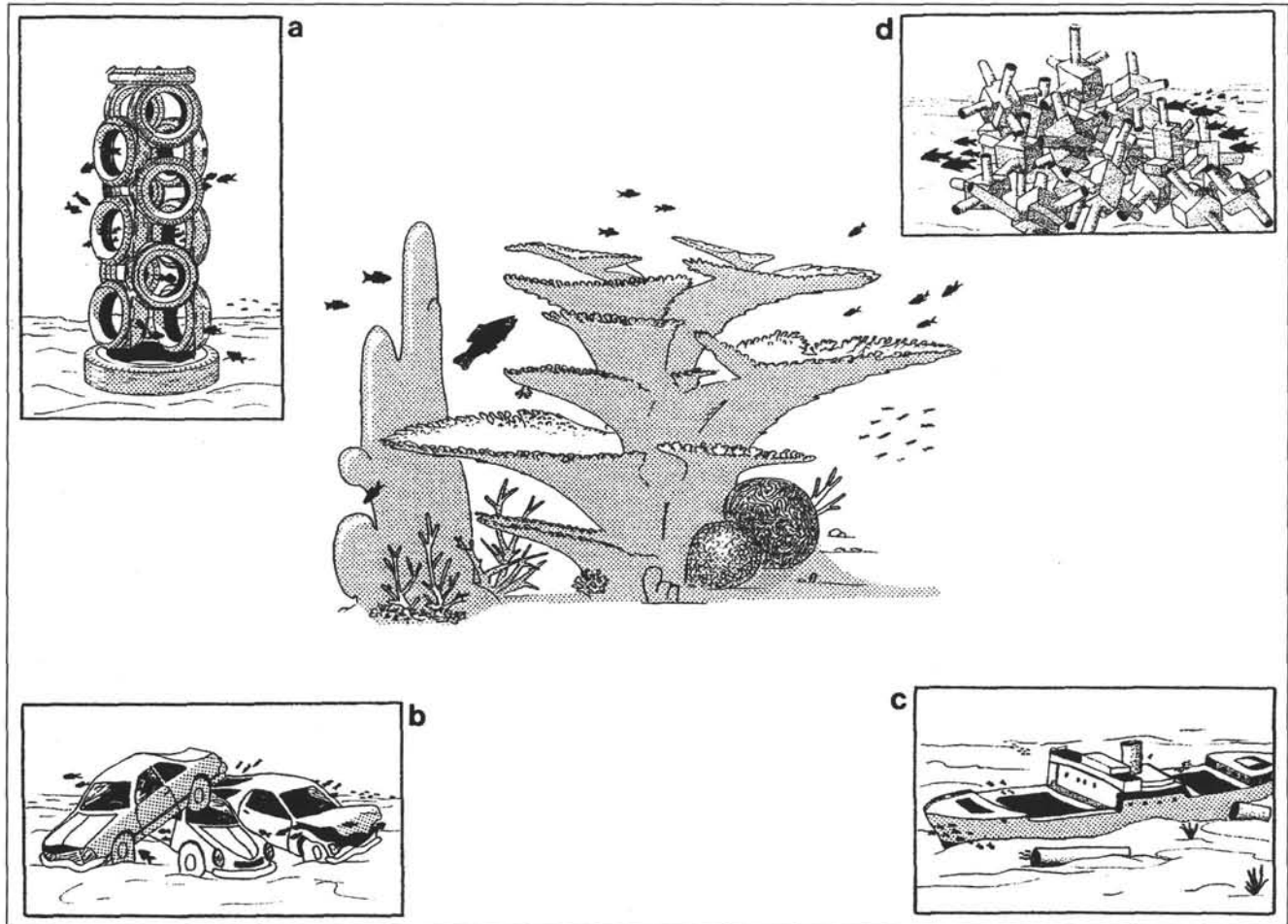


Abb. 6.
 Verschiedene Versuche, auf künstlichem Wege die Strukturvielfalt von Korallenriffen für Fischereizwecke nachzuahmen.
 a = „Reifenriff“ mit Stabilisierungsstangen; b = Autowracks; c = Schiffswrack; d = aufgetürmte Betonmodule.

als Gerüstbildner und *Halimeda* als wesentliche Sedimentlieferanten arten- und individuenreich vertreten.

Bambus ist in Südostasien ein lokal verfügbares vielseitiges Baumaterial. „Bamboo-Reefs“ werden von Südin- dien bis Indonesien jährlich vermutlich zu vielen Tausen- den ausgebracht. Es handelt sich dabei um 2–5 m hohe, oft tetraedrische Konstruktionen aus Bambusstangen und Palmlattwedeln, die mit Stricken und dünnen Bam- busruten miteinander verbunden sind. Mit Steinen beschwert ragen sie nur wenige Jahre vom Meeresboden auf, dann ist das die Konstruktion haltende Pflanzenmaterial verrottet (Abb. 7a,b).

Um die künstlichen Strukturen dauerhaft zu stabilisieren und langfristig über den Meeresboden aufragen zu lassen, hat sich eine eigene Technologie entwickelt. Vor allem in Japan werden seit 10 Jahren Stahl-, Beton- und Kunststoffmodule industriell gefertigt, die, zu haushohen Einheiten zusammengesetzt, spezifisch die Ernte von Al- gen, Muscheln, Krebsen und diversen Fischarten erhöhen soll. Staatliche Unterstützung und die Interessen der In- dustrie um Absatz ihrer Produkte (z.B. Einsatz als „Riff- bausteine“ von 1 m³ großen PVC-Würfeln, die als Tropf- körper für die Abwasserklärtechnik entwickelt wurden) sind Antrieb hinter einem Plan, im Zuge von 2500 größeren Riffprojekten ca. 5 % des japanischen Schelfs mit Kunst- bauten zu besetzen (MOTTET, 1985).

Unter dem Hinweis, die Habitatdiversität und die Pro- duktivität der küstennahen Meeresgebiete zu steigern, wird ferner für das Verbleiben aufgelassener Bohrtürme

(„rigs to reefs“ [PICKEN & MCINTYRE, 1989]) und das Ver- klappen von Asche aus Kohle- und Ölkraftwerken – zu- sammen mit Gips zu Bauelementen verpreßt (WOODHEAD et al., 1982) – argumentiert. Bei der „Fifth International Conference on Aquatic Habitat Enhancement, 1991“ wa- ren allein zehn Beiträge dem Thema „Ash Reefs“ gewid- met.

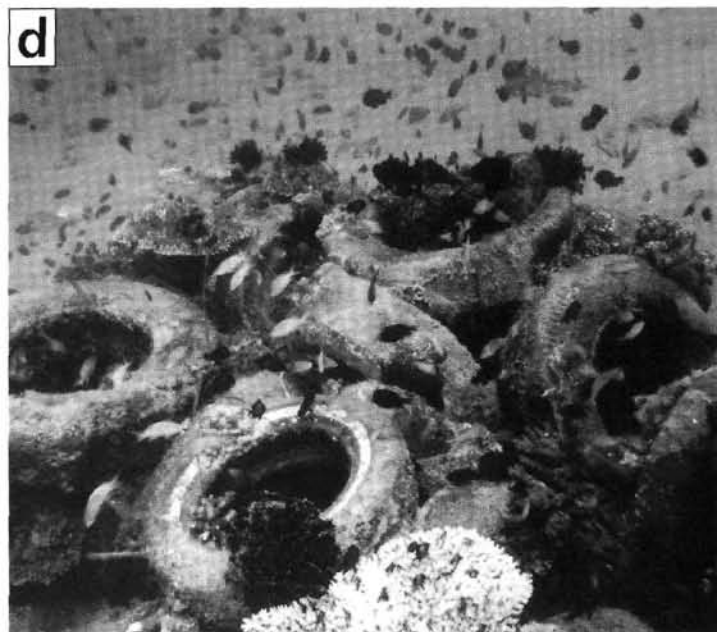
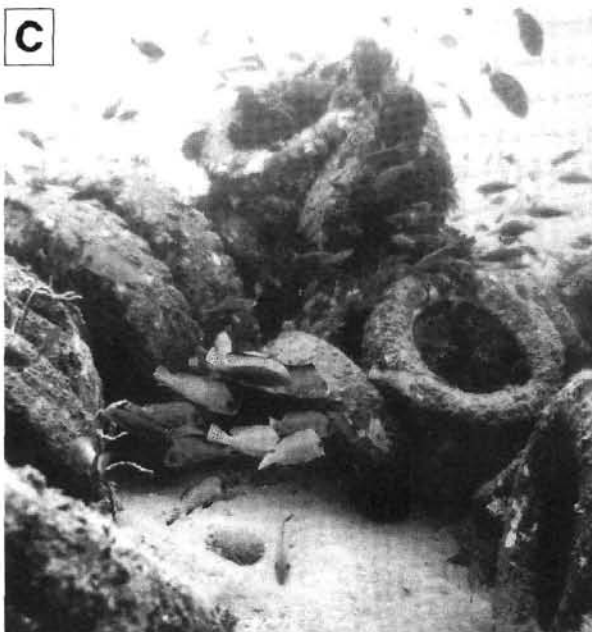
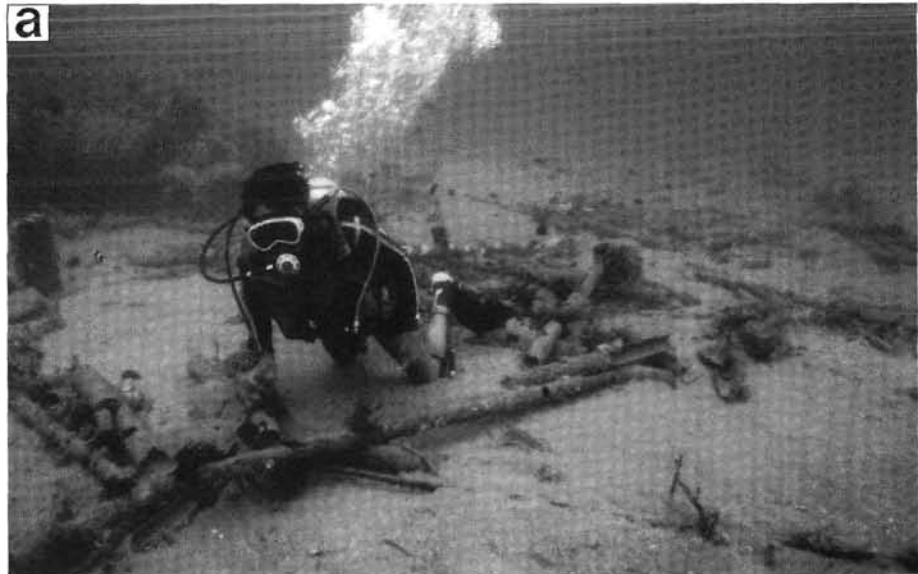
Alle diese Beispiele zusammen illustrieren die Vielfalt der Materialien und Formen, die auf dem Meeresboden ausgebracht wird. Die hauptsächliche Einsatztiefe dieser Kunstbauten liegt im Flachwasserbereich zwischen 10 und 30 m; es wurden aber auch „deep water reefs“ zwi- schen 61 und 117 m etabliert (MOFFITT et al., 1989).

Zu „artificial reefs“ werden schließlich auch „midwater FADs“ (Fish Aggregation Devices) gerechnet: am Grund verankerte, segel- bzw. drachenartige Strukturen im freien Wasser, in deren Schatten sich Fische ansammeln (MYATT, 1985; BOMBACE, 1989). Diese Strukturen können auch an der Wasseroberfläche treiben – „floating reefs“ (TAKEUCHI, 1991).

2.6. Küstenschutz und Beeinflussung lokaler Meeresströmungen

Korallenriffe bilden einen natürlichen Küstenschutz. Wo Riffe zerstört oder abgetragen wurden, wie z.B. bei ver- schiedenen Touristeninseln der Malediven, kommt es zu Ufererosion durch Brandung und veränderte Strömungs-

Abb. 7.
 Experimentelle „fishing reefs“ der Silliman University, Dumaguete (Negros, Philippinen) auf Sandboden in 12 bis 18 m Tiefe.
 a) Zerfallene Reste eines Fish Aggregation Device (FAD) aus Bambusstangen – drei Jahre nach Exposition.
 b) Detail eines Bambusrohres mit Steinkorallen (*Stylophora pistillata*, *Acropora* sp.), Weichkorallen und Haarsternen.
 c) Ausschnitt aus „Reifen-Riff“ mit Süßlippen (*Plectorhynchus gaterinus* – ca. 25 cm lang) – 14 Monate nach Exposition, noch keine Korallenbesiedlung.
 d) Zerfallenes „Reifen-Riff“ mit schütterem Korallenbewuchs – 12 Jahre nach Exposition.



bahnen. Schutzbauten aus übereinander getürmten Tetrapoden (z.B. Male) werden ersatzweise notwendig.

Bodennahe Strömungen werden durch Unebenheiten abgelenkt; es entstehen vertikale Wirbel. Vor der Westküste der Insel Shikoku (Japan) konnten lokale Auftriebsgebiete induziert werden. Hierzu wurden wandartige Betonstrukturen (10 m hoch, 20 m lang) in 50 m Tiefe in geeignetem Abstand voneinander aufgestellt. Plankton und Fische fanden sich gehäuft (OTAKE et al., 1991). In einem nächsten Schritt sollen die zweidimensionalen Ablenkungsstrukturen durch dreidimensionale ersetzt werden. Modellversuche in Strömungstanks empfehlen die Anlage groß dimensionierter Hügelstrukturen am Meeresboden, als deren Material u.a. Asche in Betracht gezogen wird (SUZUKI, i.Dr.).

Aber auch an Abbruchküsten, wo natürliche Wellenbrecher fehlen (z.B. an der kalifornischen Küste nördlich von San Diego), werden Schutzmaßnahmen, in diesem Falle „soft reefs“, geplant (JENKINS et al., i.Dr.). Geeignet angehäufte Sandsäcke sollen der weiteren Küstenerosion entgegenwirken. Der Umstand, daß die Surfrider Foundation diese Maßnahmen finanziert, zeigt, daß auch der Wassersport aus der vorverlagerten Brandungszone seinen Nutzen ziehen will.

2.7. Förderung des Tauchtourismus

Als „ökologische Bereicherung“ und zur Steigerung des Erlebniswertes der Unterwasserlandschaften bei marinen Freizeitanlagen und Tauchzentren sind Schiffe gezielt versenkt worden (z.B. bei Aqaba, Jordanien – Abb. 8a – und Elaidhoo, Malediven).

Mit dem gleichen Ziel wurden am sandigen Nordufer des Golfs von Aqaba Wellenbrecher aus Betonwürfeln mit transplantierten Korallenkolonien umgeben (BOUCHON et al., 1981). Die Anreicherung der Unterwasserlandschaft mit künstlichen Strukturen wird von den Planern tauchtouristischer Anlagen auch damit gerechtfertigt, daß durch touristische und andere Übernutzung degradierte Riffe in ihrer Attraktivität wieder aufgebessert und gleichzeitig der Druck auf intakte Riffe gemindert würde.

Die Einrichtung und Nutzung künstlicher Unterwasserstrukturen als Tauchgebiet schützt die sich hier gleichzeitig einstellenden Fischbestände vor Nachstellungen durch die Fischerei. Insofern seien solche Einrichtungen auch im Sinne der Bestandspflege zu empfehlen (BROCK, i.Dr.).

3. Diskussion

Die in den vorangegangenen Abschnitten vorgestellten Strukturen werden alle (außer Abschnitt 2.3) als „künstliche Riffe“ bezeichnet. Um den inhaltlichen Anspruch hinter diesem Begriff zu prüfen, ist die Definition eines natürlichen rezenten Riffes in die Erinnerung zurückzurufen. Eine Synthese der Definitionen und Auffassungen von CUMINGS (1932), LOWENSTAM (1950), BRAITHWAITE (1973), HECKEL (1974), SCHUHMACHER (1976), SCHUHMACHER & ZIBROWIUS (1985) und FAGERSTROM (1987) lautet ungefähr folgendermaßen:

Ein heute lebendes Riff (tropisch) ist der physiologische und physiographische Ausdruck einer Hartboden-Lebensgemeinschaft, welche ihr eigenes Substrat abschei-

det. Das räumlich eng verzahnte Aufwachsen sessiler, kalkabscheidender Organismen resultiert in einem dauerhaften Gerüstwerk und der Akkumulation von Sedimentmaterial. Die Gesamtstruktur ist langfristig resistent gegenüber hydraulischer Beanspruchung; vorübergehende Schäden werden durch Nachwachsen kompensiert. Ein Riff ragt meist steil vom Meeresboden bis dicht an oder gar über den Wasserspiegel. Typisch ist die vielfältig gegliederte Oberfläche in diverse Kleinhabitate. Entsprechend zeigen die maßgeblichen abiotischen Faktoren Licht, Wasserbewegung, Sauerstoffversorgung und Trübstoffgehalt steile Gradienten. Eine speziell angepasste Lebensgemeinschaft erhält das Riff und kontrolliert seinen Stoffwechsel.

Diese von Geologen und Biologen entwickelte Definition eines lebenden Riffes sieht dieses also nicht nur als Form und Struktur, sondern auch als Lebensraum mit einer charakteristischen Gemeinschaft von Besiedlern.

Die Nähe zum Wasserspiegel ist ein essentielles Kriterium, denn nur nahe an der Wasseroberfläche kommt es zu hydraulischen Effekten wie Brandung und „platzenden Wellen“ (RIEDL, 1964, 1966). Außerdem ist nur hier der Lichtgradient kleinräumig so steil, daß sich ein Habitatmosaik mit der entsprechenden Diversität an Besiedlern ergibt. Ferner zeichnet die Anreicherung der obersten Wasserschicht mit gelösten und partikulären (organischen) Nährstoffen sowie mit positiv phototaktischen Larven und anderen Verbreistadien diesen Abschnitt der Wassersäule vor anderen aus. Insofern ist der Inhalt hinter dem Begriff Riff wesentlich spezifischer als hinter den Termini Bank, Bioherm und Buildup (vgl. z.B. LOWENSTAM, 1950; BRAITHWAITE, 1973; HECKEL, 1974). Letztere sind nicht nur „tiefenneutral“, sondern auch hinsichtlich Form und Dimension der Struktur erheblich breiter und allgemeiner gehalten als der Terminus Riff.

Auch künstliche Riffe sollten wesentliche Kriterien o.g. Definition für Riffe erfüllen, andernfalls ist die Bezeichnung irreführend. Nachstehend werden die unter 2.1 bis 2.7 beschriebenen „künstlichen Riffe“ daraufhin geprüft.

□ Zu 2.1.

Die als Riffmodell betrachteten Blockmolen sind von der Dimension, Struktur und den dadurch bestimmten abiotischen Bedingungen den benachbarten natürlichen Riffen vergleichbar; dies trifft jedoch noch nicht für die biotischen Interdependenzen zu. Während also das Riff als Struktur modellhaft gegeben ist, trifft dieses auf das Riff als Lebensgemeinschaft (vgl. „Structural Reef versus Ecological Reef“ von HECKEL, 1974) noch nicht zu. Das Riffmodell wird aber nach und nach von immer mehr hermatypischen Arten und anderen Riffbewohnern angenommen und kleine „Protoriffgemeinschaften“ sind nach 20 Jahren zu konstatieren (Abb. 9, 10, 11 [SCHUHMACHER, 1988]). Insofern ist das Potential zur Selbstbildung (Selbstorganisation) gegeben, wie man auch in den pleistozänen Terrassen um das Rote Meer beobachten kann. Es handelt sich in diesem Falle um ein künstliches Riff im Sinne o.g. Definition.

□ Zu 2.2.

Auch hier handelt es sich um eine modellhafte künstliche Riffstruktur, die nach und nach von standorttypischen Riffbewohnern besiedelt wird. Wie ein künstliches Knochenstück – eine Prothese – ist sie in ein natürliches Riff eingefügt. Insofern ist auch hier der Begriff „künstliches Riff“ zutreffend.

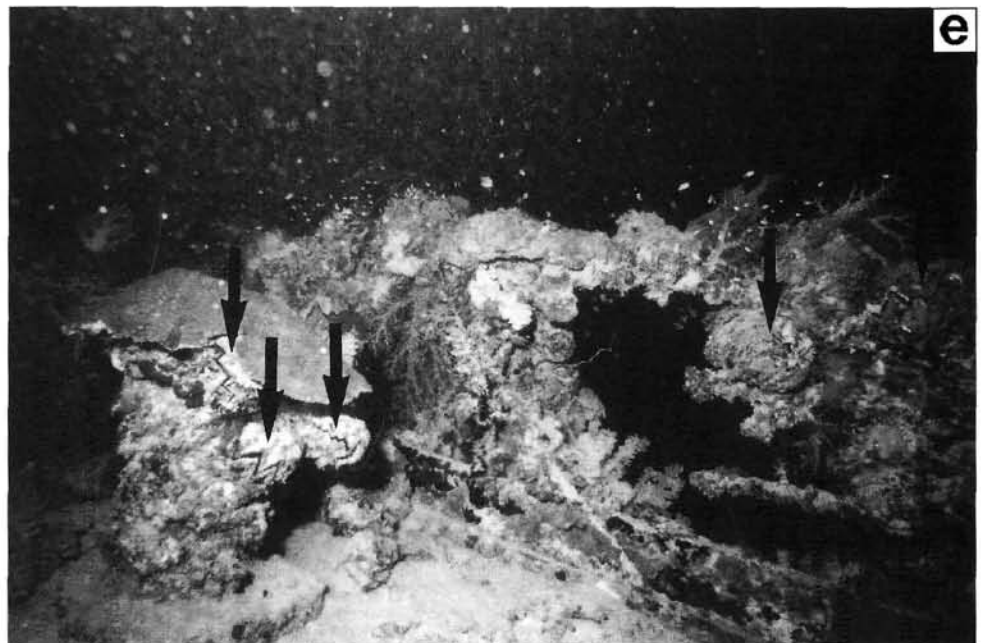
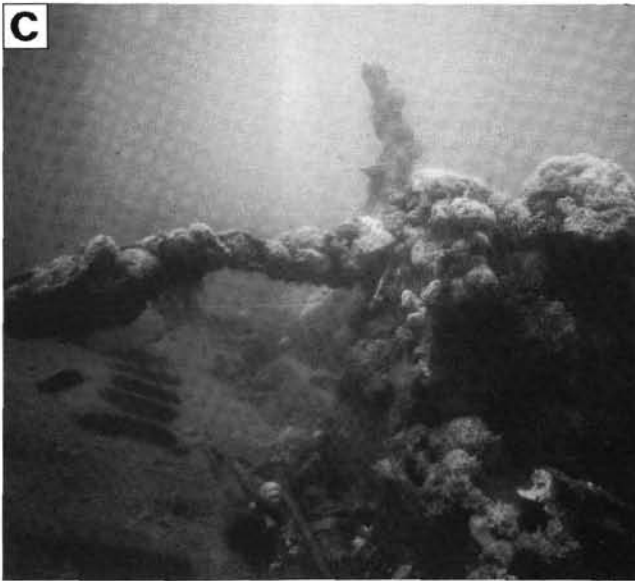
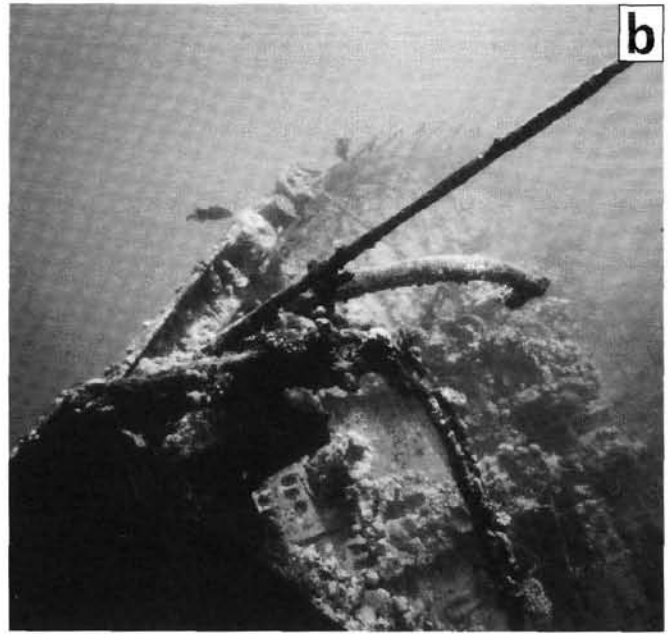
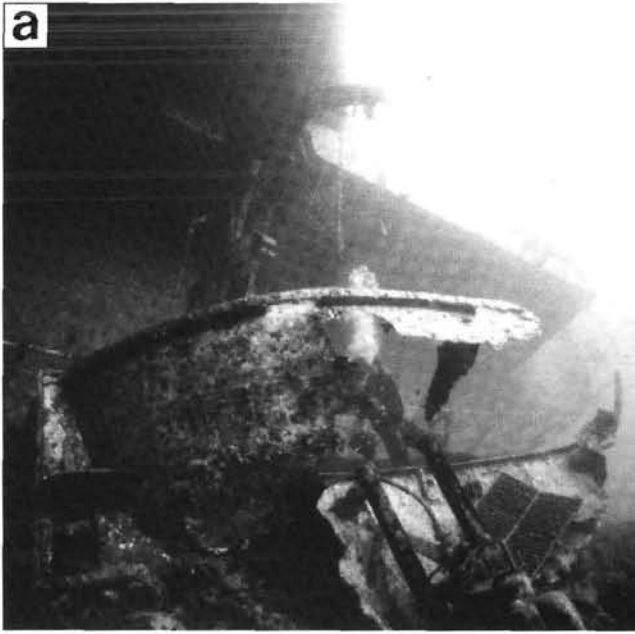


Abb. 8.

Schiffswracks mit unterschiedlich weit fortgeschrittenem Bewuchs durch Korallen.

- a) „Zedar Bright“ bei Aqaba (Rotes Meer), drei Jahre nach Versenkung speziell als Tauchziel für Touristen – erste geringe Ansiedlung von Steinkorallen; hingegen azooxanthellate Weichkorallen (*Dendronephthya* sp.) an strömungsexponierten Stellen (Masten etc.) reichlich vertreten.
- b) Bug der „Umbria“ vor Port Sudan (Rotes Meer) ca. 40 Jahre nach Versenkung – artenreiche Korallenbesiedlung von fast durchweg geringer Koloniegroße.
- c-e) Japanische Schiffe, die am 16./17. Februar 1944 in der Lagune von Truk (Mikronesien) durch einen amerikanischen Luftangriff versenkt wurden; die Aufnahmen entstanden Ende Juni 1992.
 - c) „Yamagiri Maru“, Davits mit dichtem Bewuchs diverser zooxanthellater und azooxanthellater Weichkorallen und *Porites*-Kolonien, ca. 18 m tief.
 - d) „Sankisan Maru“, Ausschnitt der Reling mit *Porites*-Kolonien, ca. 10 m.
 - e) „Shinkoku Maru“, Ankerblock und Reling mit diversen Korallenaufbauten – die erstbesiedelnden Riffaustern (*Lopha cristagalli*) sind durch Pfeile gekennzeichnet.

□ Zu 2.3.

Bei den von den Torpedofischen *Malacanthus* und *Hoplolithus* zusammengetragenen Schutthaufen ist es völlig ausgeschlossen, daß diese in die Nähe der Wasseroberfläche gelangen. Die geringe Größe und Erhebung über den umgebenden Sandboden legen am ehesten die Einordnung im Übergangsbereich Bioherm-Biostrom nahe. Die Hartstrukturen sind allerdings nicht unmittelbar in situ entstanden, sondern sind auf künstliche Weise, wenn auch nicht durch den Menschen, zusammengetragen worden.

Die eigene Lebensgemeinschaft dieser hügelartigen Strukturen ist bemerkenswert, sie trägt aber nicht zu deren Vergrößerung bei. Die Bezeichnung künstliches Riff wäre in diesem Falle unzutreffend.

□ Zu 2.4.

Künstlich geschaffene Hartbodeninseln für und zwischen Makrophyten sind schon wegen ihrer geringen Erhebung über den Untergrund und dem großen Abstand zur Wasseroberfläche kein Riff. Künstliche Bank

oder künstliches Buildup wären am ehesten zutreffend.

□ Zu 2.5.

Bei der Bezeichnung von Kunststrukturen für die fischereiwirtschaftliche Nutzung wird die größte Abdrift des Begriffes Riff von seiner ursprünglichen Bedeutung offenbar (z. B. bei deep water reef, ash reef, floating reef). Im Flachwasser können Schiffswracks und hoch aufragende Kunststrukturen (z.B. aus Betonmodulen) von der Größe, Konfiguration und Exposition gegenüber Wasserbewegung, Licht und Sedimentation im Einzelfall künstliche Riffe (vgl. Fall 2.1) darstellen und von hermatypischen Arten besiedelt werden. Der weit überwiegende Anteil von Konstruktionen auf diesem Sektor entspricht jedoch nicht dieser Konstellation. Der Begriff „künstliches Riff“ ist von japanischen Fischern geprägt worden, ohne Geologen und Biologen zu konsultieren. Die erste und einzige mir bekannte Definition (AHR, 1974) ist relativ breit:

„... Artificial reefs are man-made structures which may be composed of a number of different kinds of materials and placed on the seabed to enhance the biological potential of the reef site. Primary benefits from artificial reefs may include increased sport fishing, recreational diving and research on reef ecology ...“

POLOVINA (i.Dr.) präzisiert ausschließlich aus fischereiwirtschaftlichem Blickwinkel:

„... Artificial reefs may function in any of three ways: redistribute biomass which is being exploited, aggregate unexploited biomass to increase exploitable biomass, or improve survival, thereby increasing total biomass ...“

Abb. 9.

Sukzession der Riffbildungsmechanismen (gemäß LOWENSTAM, 1950), wie sie bei der Langzeitbeobachtung der Besiedlung von Riffmodellen aus Granitblöcken bei Eilat (Rotes Meer) erkennbar wurde.

○ Vorbereitungsphase

Sessile kalkifizierende Pionierformen (Kalkrotalgen *Fosliella farinosa*, Foraminiferen *Acervulina* sp., Wurmschnecken *Serpulorbis* sp., Muscheln *Chama* sp., *Spondylus* sp., *Lopha cristagalli*) scheiden das Ansiedlungssubstrat für Korallen und andere sessile Riffbesiedler ab.

○ Phase der Gerüstwerkbildung

Korallen mit Typusmerkmalen der r-Strategie (vorwiegend Zweigkorallen) und damit auch nur kurzer Lebenserwartung von 5–12 Jahre beginnen mit der Selbstbildung der dreidimensionalen Raumstrukturen (gleichzeitig stellen sich Mitglieder des Kleinlebensraumes Zweigkoralle, z.B. Krabben der Gattungen *Trapezia* und *Hapalocarcinus*, ein).

○ Phase des Gerüstwerkverkitens

Junge Korallenkolonien und andere kalkifizierende Benthosorganismen überkrusten und konsolidieren abgestorbene (Basis-)Abschnitte der Gerüstbauer.

○ Phase der Sedimentbildung

Setzt mit Absterben, Fragmentation und (Bio-)Erosion der Kalkskelette (nennenswert nach der ersten Generation der Gerüstbauer) ein. Bioerodierer sind durch Pfeile gekennzeichnet.

Aus SCHUHMACHER (1977).

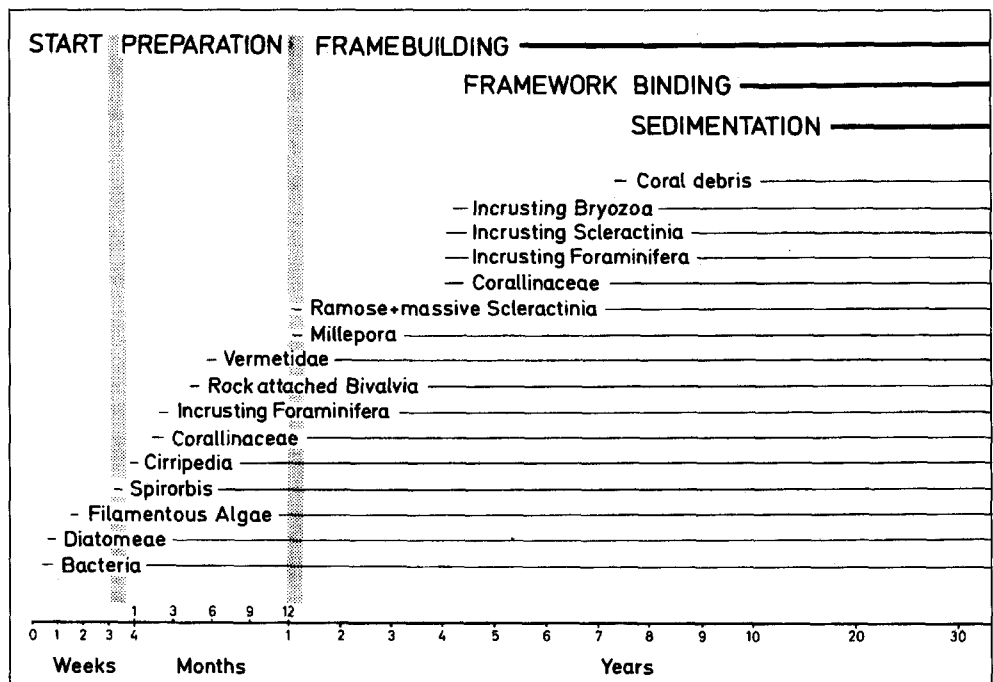
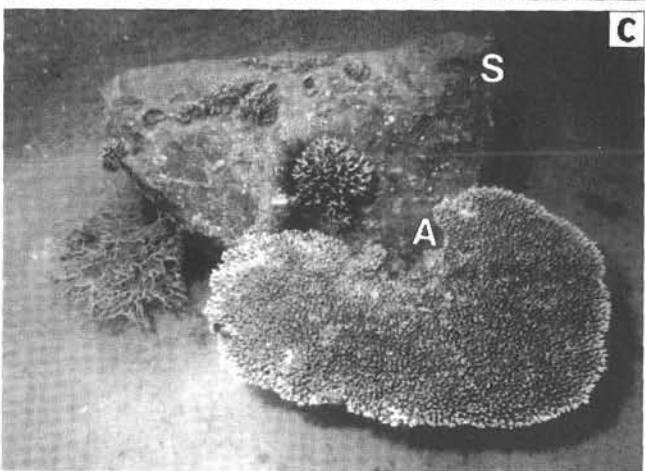
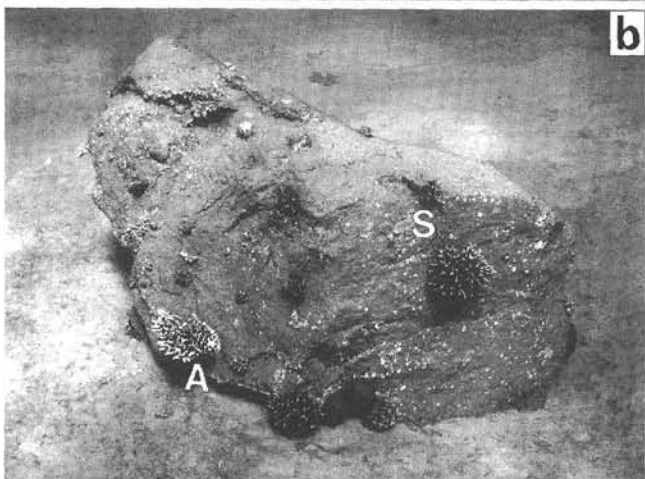
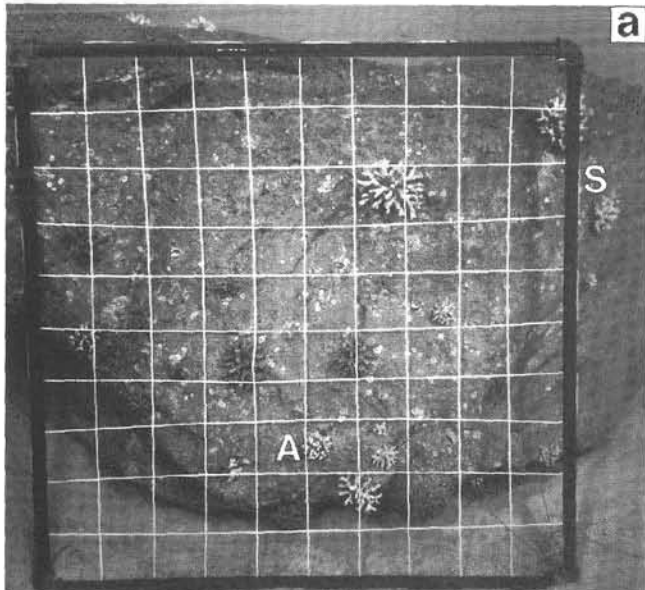


Abb. 10.

Besiedlungsdynamik von Korallen auf einem isolierten Granitblock, 3 m vor dem Glasbodenboothafen bei Eilat (Rotes Meer) in 7 m Tiefe. Die Bildserie zeigt eine Abnahme in der Koloniezahl, aber eine Zunahme in der Diversität.

- a) März 1971 (Felsblock 5 1/2 Jahre exponiert) – dichte Besiedlung fast ausschließlich durch *Stylophora pistillata*-Kolonien, welche an *Chama*-Schalen und anderen inselartigen Kalkflecken von Pionierbesiedlern angeheftet sind; der Rahmen mißt 1 m².
- b) Februar 1976 – die Mehrzahl der *Stylophora*-Kolonien ist abgestorben und durch Bioerosion verschwunden, nur wenige Neuansiedler.
- c) Februar 1987 – *Acropora pharaonis* (links) und *A. corymbosa* (rechts), zwei Arten mit höherer Lebenserwartung als *Stylophora pistillata*, sind physiographisch dominierend.

A und S sind die einzigen zwei Kolonien, die während der ganzen Zeit präsent waren (A = *A. corymbosa*, S = *S. pistillata*), S im letzten Bild seit ca. fünf Jahren abgestorben und überkrustet).



Der ausufernden Verwendung des Begriffs „künstliche Riffe“ wurden in jüngerer Zeit enger gefaßte fischereiwirtschaftliche Fach-Termini entgegengestellt. So wird heute zwischen „Artificial Habitat“ und „Fish Aggregation Device“ (FAD) unterschieden. Zu ersteren zählen Betonstrukturen mit Schlupfwinkeln und einem Nahrungsangebot, welche einen langfristigen Aufenthalt der Zielarten einschließlich ihrer Fortpflanzung erlauben. Zu den FADs gehören in erster Linie schattenspendende Strukturen (z.B. beschwerte Bambusgerüste, Palmblattwedel, Segel im freien Wasser), wo sich Fische vorübergehend sammeln und abgefischt werden können. Diese begriffliche Ablösung wird auch in der Reihe der einschlägigen Symposien deutlich. Sie begann als „Artificial Reef Conference“ (1974) und wandelte sich im Jahre 1987 in „Fourth International Conference on Artificial Habitats for Fisheries“ um. Nach wie vor ist jedoch die Bezeichnung Artificial Reef sehr populär.

□ Zu 2.6.

Riffe sind gerade wegen ihrer Brandungsresistenz ein hervorragender Küstenschutz. Wo sie fehlen, müssen bei Bedarf künstliche Wellenbrecher diese Funktion übernehmen, wobei ein vielfältiges System von Vorsprüngen und Höhlungen dem Abbau der Wellenenergie dient. Von Form und Lage einem Riff vergleichbar kann sich auf diesen Strukturen allmählich auch eine Besiedlergemeinschaft einstellen, die dem Riff als Lebensgemeinschaft nahekommt (vgl. 2.1). In solchen Fällen ist der Begriff „künstliches Riff“ gerechtfertigt. „Soft reefs“ sind hingegen ein Widerspruch in sich selbst und am ehesten als künstliche Sandbänke zu bezeichnen. Die ebenfalls zur Manipulation des hydrodynamischen Regimes, nämlich zur Auftriebserzeugung, eingesetzten Unterwasserbauten sind noch am ehesten mit rippenförmigen Bänken und künftig vielleicht einmal mit künstlichen Seebergen vergleichbar.

□ Zu 2.7.

„Unterwasser-Disneylands“ für Taucher können möglicherweise dort künstliche Riffe genannt werden, wo auch natürliche Riffe vorkommen. Dafür spricht, daß das Management solcher Einrichtungen häufig darauf hinwirkt, durch Korallentransplantationen und ähnliche Maßnahmen bald eine Vielfalt standortgerechter benthischer Besiedler und Fische zu etablieren.

Resumiert man nun diese kurze Übersicht, so schälen sich zwei Bedeutungen des Begriffes „künstliches Riff“ heraus:

- a) Kopie bzw. Modell einer Riffstruktur nahe der Wasseroberfläche im geologisch-biologischen Sinn;
- b) Konstruktion zur Erhöhung der räumlichen Diversität, um vor allem die Biomasse an Fischen zu vergrößern.

Der Doppelsinn des Begriffes ist zwar einer auf Eindeutigkeit beruhenden wissenschaftlichen Sprache nicht dienlich, aber heute kaum mehr aufzuheben.

Folgerichtig, wenn auch bedauerlich, ist dann der weitergehende unreflektierte Gebrauch des Begriffes Riff für jegliche Struktur, die vom Menschen ins Meer gebracht wird.

Abb. 11.
Abfolge der Besiedler, der Arten-
dichte und der Besiedlungsmu-
ster unter dem Einfluß weidender
Seeigel (*Diadema setosum*) an Riff-
modellen bei Eilat (Rotes Meer)
während der Anfangsphasen der
Riffentwicklung.

In den Kästen sind die repräsen-
tativen Arten für die jeweiligen Sta-
dien angegeben. Nur an den Stel-
len, die für Weidegänger unzu-
gänglich sind (z.B. an Riffastern)
können sich Korallen und andere
Riffbesiedler erfolgreich ansie-
deln und allmählich „Protoriff-
gemeinschaften“ bilden (aus
SCHUHMACHER, 1988).

Die kostengünstige Ent-
sorgung von Abfall wird da-
bei gerne semantisch ver-
klärt („scrap material to
reefs“).

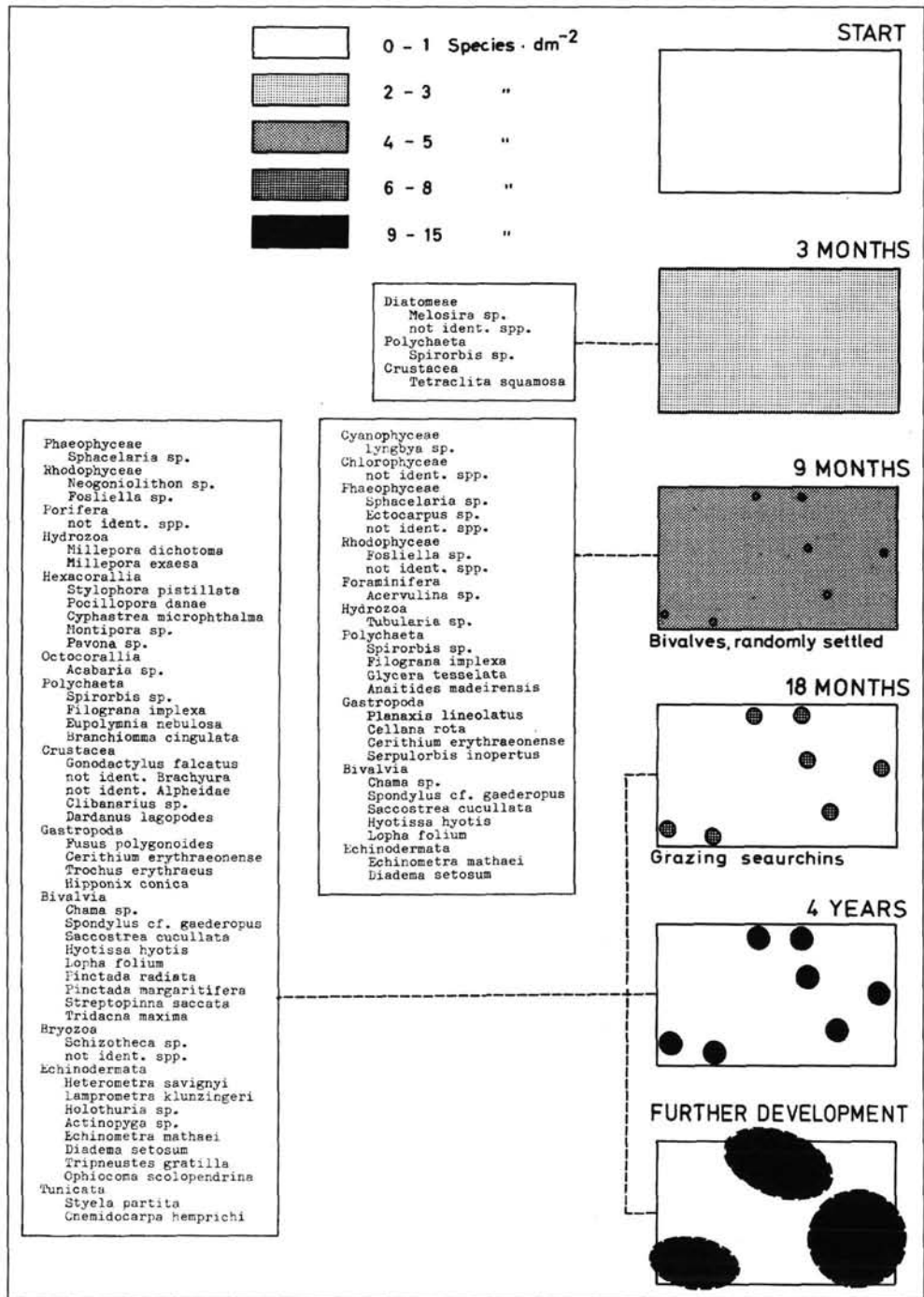
4. Schluß- folgerungen

Strukturen aus Fremd-
materialien, die als Model-
le von Korallenriffen dien-
en, werden nicht unmittel-
bar von Korallen besiedelt.
Vielmehr ist eine Vorberei-
tungsphase nötig, wäh-
rend der kalkifizierende
Pioniersiedler ein Substrat
abscheiden, das dann von
hermatypischen Organismen
angenommen wird. An
künstlichen Riffmodellen
aus Granitblöcken hat
SCHUHMACHER (1977) ein
sukzessives Wirksamwer-
den der Riffbildungsme-
chanismen, die von LOWEN-
STAM (1950) unterschieden
werden, festgestellt
(Abb. 9). Auch Schiffs-
wracks, die in der Lagune von
Truk, Mikronesien, 48 Jahre
nach dem Untergang inspi-
ziert wurden, zeigten prinzi-
piell das gleiche Bild: Korallen
siedelten, soweit erkennbar,
stets auf Kalkalgenkrusten und
Muschelschalen (vor allem
Chama sp., *Spondylus* sp. und
Lopha cristagalli – Abb. 8e).
Nach dieser Zeitspanne hatte
auch die Sedimentbildung schon
ergiebig eingesetzt – auf
strömungsgeschützten Deck-
bereichen lagen *Halimeda*-Blätt-
chen 5–6 cm hoch. Der ge-
schilderte Korallenbewuchs,
der die Schiffsform nur noch
schwer erkennen ließ, war
nur an Wracks zwischen 5 und
25 m Tiefe zu beobachten;
ein von 70 bis 52 m tief lie-
gendes Wrack („San Francisco
Maru“) trug hingegen nur eine
dünne Sedimentschicht und
war von wenigen azooxanthel-
latten Steinkorallen und Octo-
korallen sowie von Schwämmen
besiedelt. Ob also ein Schiffs-
wrack als künstliches Riff zu
bezeichnen ist, hängt nicht nur
aus hydraulischen Gründen von
der Nähe zum Wasserspiegel ab,

sondern auch wegen des hinrei-
chenden Lichtangebotes, welches
fast alle hermatypischen Arten zur
Selbstbildung von Hartsubstrat
verlangen.

Durch die unterschiedliche Expo-
sition prinzipiell gleicher künstli-
cher Strukturen zu bestimmten abio-
tischen Einflußgrößen läßt sich,
quasi im Großexperiment, die Be-
deutung des jeweiligen Faktors (bei
weitgehender Invarianz der übrigen
Faktoren) für die Ansiedlung ein-
zelner Arten und deren ökologisches
Optimum ermitteln.

An Blockmolen, die jeweils unter-
schiedlichen Brandungsverhältnissen
und Temperaturbedingungen expo-
niert sind, konnte so die Präferenz
bestimmter Kalkkrotalgen und
Millepora-Arten für mäßig be-
brandete Standorte belegt und das
bekannte Temperaturlimit von 18°C
für das Gros der hermatypischen
Korallen verifiziert werden (vgl.
Abb. 1 und 2).



„Künstliche Riffe“ im Sinne von Fischereihilfen werfen zunächst wegen der Vielzahl fremder Materialien, die in Kontakt mit dem Seewasser gelangen, Fragen auf. Während Japan gleich auf die spezielle Anfertigung von dauerhaften und unverrottbaren Beton-, Stahl- und PVC-Modulen setzte, wurde in USA (und dann in vielen Ländern der Dritten Welt) bis jetzt vor allem Abfall, nämlich hauptsächlich Schrottautos und Altreifen, unter Wasser deponiert. Die stetig steigende Bedeckung des küstennahen Meeresbodens mit dauerhaften Fremdstrukturen ist höchst bedenklich.

Ob sich durch die künstlichen Habitate die Population einer Zielart vergrößert oder ob diese durch die Konzentration an leicht abfischbaren Stellen in ihrem Bestand dezimiert wird, ist, von Einzelfällen abgesehen, noch unklar. Dies gilt auch für weitergehende ökologische Implikationen.

“... Perhaps too much effort has been expended in building artificial reefs and not enough in research ...” (BOHNSACK & SUTHERLAND, 1985).

Die Biozönosen ausgedehnter strukturarmer Weichbodenflächen werden durch Errichtung von künstlichen Hartsubstratinseln weitreichend verändert, ohne daß diese Effekte bisher besonders untersucht worden sind. Denn die als „game fish“ geschätzten Raubfische dezimieren von ihren künstlichen Habitaten aus die lang etablierte Fauna. Nach dem Bau von 6.000 „künstlichen Riffen“ aus Autowracks auf einer Fläche von 1.000 Quadratkilometern vor der Küste Alabamas kippte die Dominanz der Fischfauna von vormals bodenlebenden Plattfischen und Knurrhähnen hin zu verschiedenen Schnapper-Arten (SHIPP & SZEDLMAYER, i.Dr.). Ein anderes Beispiel ist der drastische Rückgang von Seefedern und anderen Weichbodeninvertebraten in einem 200 m weiten Umfeld um ein künstliches Habitat (DAVIS et al., 1982).

Bei der Errichtung künstlicher Strukturen wurden bisher nur die Auswirkungen auf die Schifffahrt bedacht. Angesichts der vielfältigen ökologischen, im einzelnen noch gar nicht bekannten Wirkungen, die von den in steigender Zahl entstehenden Kunstbauten auf dem küstennahen Meeresboden ausgehen, sollte jedem weiteren Eingriff eine gründliche Umweltverträglichkeits-Untersuchung vorausgehen – so wie dies auf dem Land die Regel ist.

Dank

Die finanzielle Förderung der diversen Freiwasseruntersuchungen erfolgte zum Teil durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft.

Dr. E. MOUSSAVIAN bestimmte die Kalkrotalgen; Frau C. BREFELD fertigte die Zeichnung (Abb. 6) an.

Literatur

AUBERSON, B. (1982): Coral Transplantation: an Approach to the Reestablishment of Damaged Reefs. – Kalikasan, Philipp J. Biol., **11**, 158–172, Manila.

BOHNSACK, J.A. & SUTHERLAND, D.L. (1985): Artificial Reef Research: a Review with Recommendations for Future Priorities. – Bull. of Mar. Sci., **37**, 11–39, Miami.

BOMBACE, G. (1989): Artificial Reefs in the Mediterranean Sea. – Bull. of Mar. Sci., **44**, 1023–1032, Miami.

BOUCHON, C., JAUBERT, J. & BOUCHON-NAVARO, Y. (1981): Evolution of a Semi-Artificial Reef Built by Transplanting Coral Heads. – Tethys, **2**, 173–176, Marseille.

BRAITHWAITE, C.J.R. (1973): Reefs: Just a Problem of Semantics? – Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol., **57**, 1100–1116, Tulsa.

BUBNER, E., MEYER, D.E., SCHILLAK, L. & SCHUHMACHER, H. (1988): Bauprozesse im Meerwasser auf elektrochemisch-biogener Grundlage. – Proceedings des 1. Internationalen Symposium des SFB 230 „Natürliche Konstruktionen: Leichtbau in Architektur und Natur“. Bd. 1, 95–105, Stuttgart.

CARTER, J.W., CARPENTER, A.L., FOSTER, M.S. & JESSEE, W.N. (1985): Benthic Succession on an Artificial Reef Designed to Support a Kelp-Reef Community. – Bull. Mar. Sci., **37**, 86–113, Miami.

CLIFTON, H.E. & HUNTER, R.E. (1972): The Sand Tilefish *Malacanthus plumieri*, and the Distribution of Coarse Debris Near West Indian Coral Reefs. – Bull. Nat. Hist. Mus. Los Angeles County, **14**, 87–92, Los Angeles.

CUMINGS, E.R. (1932): Reefs or Bioherms? – Geol. Soc. America Bull., **1**, 331–352;

DARWIN, C.R. (1842): The Structure and Distribution of Coral Reefs. – Smith, Elder & Co, London.

DAVIS, N., VAN BLARICOM, G.R. & DAYTON, P.K. (1982): Man-Made Structures on Marine Sediments: Effects on Adjacent Benthic Communities. – Marine Biology, **70**, 295–203, Berlin, Heidelberg, New York.

DULLO, W.-Chr. (1990): Facies and Diagenesis of Pleistocene Reefs, Saudi Arabia. – Facies, **22**, 1–46, Erlangen.

DULLO, W.-Chr. & HECHT, C. (1990): Rolling Stones from the Red Sea. – Senckenbergiana marit., **21**, 77–86, Frankfurt.

FAGERSTROM, J.A. (1987): The Evolution of Reef Communities. – Wiley, 600 pp, New York.

FRICKE, H. & KACHER, H. (1982): A Mound-Building Deep Water Sand Tilefish of the Red Sea: *Hoplotalilus geo* n.sp. (Perciformes: Branchiostegidae). Observations from a Research Submersible. – Senckenbergiana marit., **14**, 245–249, Frankfurt.

HECKEL, P.H. (1974): Carbonate Buildups in the Geologic Record: a Review. – In: LAPORTE, L.F. (Ed.): Reefs in Time and Space, SEPM Spec. Publ., **18**, 90–154, Tulsa.

HILBERTZ, W., FLETCHER, D. & KRAUSSE, C. (1977): Mineral Accretion Technology: Applications for Architecture and Aquaculture. – Industr. Forum, **8**, 75–84.

HILLMER, G. & SCHOLZ, J. (1991): Artificial Reefs and Bryozoen. – Geowissenschaften, **12**, 371–377, Berlin.

INO, T. (1974): Historical Review of Artificial Reef Activities in Japan. – In: COLUNGA, L. & STONE, R. (Eds.): Proc. Artificial Reef Conf., Texas A & M Univ., TAMU SG, 74–103, Houston.

JENKINS, S.A. & SKELLY, D.W. (1994): Development of a Soft Reef Sandbar for Offshore Wave Dissipation. – Bull. Mar. Sci., i. Dr., Miami.

LOWENSTAM, H.A. (1950): Niagaran Reefs of the Great Lakes Area. – Jour. Geology, **4**, 430–487, Chicago.

MEYER, D. & SCHUHMACHER, H. (1993): Ökologisch verträgliche Bauprozesse im Meerwasser. – Geowissenschaften, **12**, 408–412, Berlin.

MOFFITT, R.B., PARRISH, F.A. & POLOVINA, J.J. (1989): Community Structure, Biomass and Productivity of Deepwater Artificial Reefs in Hawaii. – Bull. Mar. Sci., **44**, 616–630, Miami.

MOTTET, M.G. (1985): Enhancement of the Marine Environment for Fisheries and Aquaculture in Japan. – In: D'ITRI, F.M. (Ed.): Artificial Reefs, Lewis Publ., 13–112, Chelsea.

MYATT, D.O. (1985): Midwater Fish Attractors. – In: D'ITRI, F.M. (Ed.): Artificial Reefs, Lewis Publ., 303–315, Chelsea.

OTAKE, S., IMAMURA, H., YAMAMOTO, H. & KONDOU, K. (1991): Physical and Biological Conditions Around an Artificial Upwelling Structure. – In: NAKAMURA, M., GROVE, R. & SONU, C.J. (Eds.): Proceedings Japan – U.S. Symposium on Artificial Habitats for Fisheries, 299–310, Tokyo.

- PICKEN, G.B. & MCINTYRE, A.D. (1989): Rigs to Reefs in the North Sea. – *Bull. Mar. Sci.*, **44**, 782–788, Miami.
- POLOVINA, J.J. (1994): The Function of Artificial Reefs. – *Bull. Mar. Sci.*, i. Dr., Miami.
- RIEDL, R. (1964): 100 Jahre Litoralgliederung seit Josef Lorenz, neue und vergessene Gesichtspunkte. – *Int. Revue ges. Hydrobiol.*, **49**, 281–305, Dresden.
- RIEDL, R. (1966): *Biologie der Meereshöhlen*. – Parey, 636 pp, Hamburg, Berlin.
- 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). – In: CAMERON, A.M., CAMPBELL, B.M., CRIBB, A.B., ENDEAN, R., JELL, J.S., JONES, O.A., MATHER, P. & TALBOT, F.H. (Eds.): *Proceedings of the Second International Coral Reef Symposium*, **1**, 257–267, Brisbane.
- SCHUHMACHER, H. (1976): *Korallenriffe – Ihre Verbreitung, Tierwelt und Ökologie*. – BLV, 275 pp, München – Bern – Wien.
- SCHUHMACHER, H. (1977): Initial Phases in Reef Development, studied at Artificial Reef Types off Eilat (Red Sea). – *Helgoländer wiss. Meeresunters.*, **30**, 400–411, Hamburg.
- SCHUHMACHER, H. (1988): Development of Coral Communities on Artificial Reef Types over 20 Years (Eilat, Red Sea). – *Proceedings of the 6th International Coral Reef Symposium*, Australia, **3**, 379–384, Townsville.
- SCHUHMACHER, H. (1993): *Aquatische Ökologie*. – In: KUTTLER, W. (Ed.): *Handbuch zur Ökologie*, 37–43, Analytica, Berlin.
- SCHUHMACHER, H. & SCHILLAK, L. (1994): Integrated Electrochemical And Biogenic Deposition Of Hard Material – A Nature-Like Colonization Substrate. – *Bull. mar. Sci.*, im Druck, Miami.
- SCHUHMACHER, H. & ZIBROWIUS, H. (1985): What is hermatypic? – *Coral Reefs*, **4**, 1–9, Berlin, Heidelberg, New York
- SHIPP, R.L. & SZEDLMAYER, S.T. (1994): Productivity of a Large Artificial Reef Area of Alabama. – *Bull. Mar. Sci. i. Dr.*, Miami.
- SUZUKI, T. (1994): Development of Large-Scale Artificial Upwelling Structures. – *Bull. Mar. Sci.*, i. Dr., Miami.
- TAKEUCHI, T. (1991): Design of Artificial Reefs in Consideration of Environmental Characteristics. – In: NAKAMURA, M., GROVE, R. & SONU, C.J. (Eds): *Proceedings Japan – U.S. Symposium on Artificial Habitats for Fisheries*, 195–203, Tokyo.
- WALTHER, J. (1888): *Die Korallenriffe der Sinai Halbinsel. Geologische und biologische Betrachtungen*. – *Abh. math.-naturwiss. Kl. Königl. Sächs. Gesellsch. Wissensch.*, **14**, 439–506, Leipzig.
- WERTH, E. (1901): *Lebende und jungfossile Korallenriffe Ost-Afrikas*. – *Z. Ges. Erdk. Berlin*, **36**, 115–144, Berlin.
- WOODHEAD, P.M.J., PARKER, J.H. & DUEDALL, I.W. (1982): The Coal-Waste Artificial Reef Program (C-WARP): A New Resource Potential for Fishing Reef Construction. – *Mar. Fish. Rev.*, **44**, 16–23.
- YAP, H.T., ALINO, P.M. & GOMEZ, E.D. (1992): Trends in Growth and Mortality of Three Coral Species (Anthozoa: Scleractinia), Including Effects of Transplantation. – *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **83**, 91–101, Halstenbek.