

5.4 Maßnahmen zum Schutz von Korallenriffen

MAGGY NUGUES & SEBASTIAN FERSE

Measures to protect coral reefs: Coral reefs are highly vulnerable to climate change, as shown by mass bleaching events over the past two decades. Typically, the local impacts of overfishing and pollution combine with and exacerbate the global impacts of rapid climate change, invasive species and emerging diseases to cause phase shifts from coral to macroalgal dominance. This ongoing global degradation calls for an urgent reassessment of current management approaches. In this chapter, we present the concept of resilience as a promising framework to aid the management of coral reefs in the face of climate change. Under this concept, coral reefs are considered as a complex social-ecological system whose resilience can be managed. Interventions focus on mitigating stressors, preserving critical ecological processes, reducing human vulnerability to environmental changes and maximizing social adaptive capacity. Given the magnitude of the changes we are facing and the speed at which they occur, there is no time to waste.

Korallenriffe sind wohl die artenreichsten und produktivsten Ökosysteme im Meer. Sie haben eine sehr wichtige ökologische sowie wirtschaftliche und soziale Bedeutung. Hierzu gehören ihre biologische Entfaltung und hohe Biodiversität, ihre Quellen pharmazeutischer Produkte, ihre Funktion als Küstenschutz vor Stürmen und bei der Bildung von Sandstränden, und als Anziehungsplätze für den Tourismus.

Gleichzeitig stellen sie ökologisch sensible Regionen im Meer dar und sind daher eines der am stärksten vom Klimawandel betroffenen Ökosysteme der Erde. Riffkorallen, die Bausteine oder »Ingenieure« der Kalksteinriffe, haben im Laufe der Evolution sehr spezifische Anforderungen an ihre Umwelt ausgebildet. Hierdurch sind sie äußerst anfällig gegenüber selbst kleinen Änderungen der Umweltbedingungen, insbesondere steigender Meerwassertemperatur und Ansäuerung der Ozeane (s. Kap. 3.18: Schuhmacher&Reinicke). Über die »Korallenbleiche« der Jahre 1998 und 2010 wurde intensiv berichtet – hier führten Temperaturerhöhungen von nur 1°C über die Dauer weniger Wochen zu einem weltweiten Massensterben von Korallen. Bei diesem wurden in Korallenriffen mit einer Fläche von mehreren hundert Quadratkilometern über 95% aller Kolonien getötet. Ausgehend von den jüngsten IPCC-Szenarien ist es wahrscheinlich, dass solche Ereignisse künftig in Ausmaß und Häufigkeit zunehmen werden. Gleichzeitig wird sich die Küstenbevölkerung in Entwicklungsländern bis 2050 mehr als verdoppeln, wodurch sich der Bedarf an Korallenriffressourcen erhöht und zusätzlicher Druck auf die Riffe ausgeübt wird.

Seine globale Auswirkung und die rasante Geschwindigkeit der Veränderungen machen den Klimawandel zu einer ernsthaften Herausforderung für unsere Gesellschaft. Typischerweise werden die lokalen Auswirkungen von Überfischung und Verschmutzung durch globale klimatische Einflüsse, Einwanderung neuer Arten sowie neue Krankheiten noch verstärkt. In vielen Riffen hat die Kombination dieser Stressfaktoren bereits zu bleibenden Verschiebungen von einer Koral-

lendominanz zu einem Vorherrschen von Makroalgen (Abb. 5.4-1a und -b) oder anderen Organismen (z.B. Corallimorphen, Schwämmen oder Weichkorallen) geführt, was zu weiteren Auswirkungen auf riffassoziierte Arten führt. Viele Riffe haben ihre Kapazität, ein von Korallen dominiertes System aufrecht zu erhalten oder zu ihm zurückzukehren, verloren. Dieses »Phasenverschiebung« genannte Phänomen wurde bereits in der Karibik, Ostafrika, Australien und dem östlichen Pazifik beobachtet. Selbst Riffe fern jeglicher menschlicher Besiedlung unter den besten gegenwärtig umgesetzten Management-Ansätzen leiden unter den Auswirkungen globaler, mit dem Klimawandel einhergehender Einflüsse.

Inzwischen haben sich jedoch neuartige Ansätze herausgebildet, die gezielt die Resilienz von Korallenriffsystemen stärken und somit eine auf solider Informationsgrundlage basierende, effektive Antwort auf den Klimawandel darstellen. In diesem Kapitel stellen wir kurz das Konzept von Resilienz vor und präsentieren dann eine Reihe von Empfehlungen, welche, zeitnah, simultan und gründlich umgesetzt, den Verlust dieses einzigartigen Ökosystems verhindern könnten.

Das Resilienz-Konzept

Resilienz beschreibt die Fähigkeit eines Systems, externe Einwirkungen bzw. die Veränderungen in äußeren Bedingungen zu absorbieren, ohne in einen anderen Systemzustand zu wechseln (HOLLING 1973). Beispielsweise haben Menschen, die allgemein physisch und mental fit sind, gute Chancen, sich von einer Krankheit zu erholen – sie sind resilient. Bei angeschlagenen Menschen dauert die Krankheit länger und wirkt sich schwerer aus. Bei Korallenriffen ist dies ähnlich. Sie sind sehr dynamische Systeme, die ständigem Wechsel und Störungen ausgesetzt sind. Nach einer Störung kehrt ein resilientes Riff zu praktisch demselben, von Korallen dominierten Zustand zurück. Riffe können zum Beispiel durch Wirbelstürme in kurzer Zeit beachtliche Schäden erleiden. In einem resilienten Riff ist

dieser neue Zustand instabil. Algen, die die abgestorbenen Korallenkolonien besiedeln, werden rasch abgegrast, neue Korallen siedeln sich an und gedeihen, und überlebende Korallenfragmente wachsen nach. Mit der Zeit kehrt das Riff wieder zu seinem ursprünglichen, korallendominierten Zustand zurück, ein Prozess, der ungefähr zwischen 5 und 20 Jahren, manchmal jedoch auch deutlich länger dauert. Die Resilienz von Riffen, die multiplen Stressfaktoren auf mehreren räumlichen und zeitlichen Skalen ausgesetzt sind, kann allerdings stark reduziert werden, so dass sie in einen anderen stabilen Zustand (z.B. von Algen überwachsen) übergehen.

Typischerweise reagieren Korallenriffe auf Störungen nicht linear, sondern sie weisen Schwellenwerte auf, und die alternativen stabilen Zustände sind das Ergebnis von Rückkopplungs-Mechanismen. So unterstützen beispielsweise eine hohe Korallenbedeckung und hohe Beweidungsraten von Algen die Ansiedlung und den Wuchs von Korallen, was wiederum die Korallendominanz verstetigt. Werden andererseits die Herbivoren (u.a. Fische und Seeigel) dezimiert (z.B. durch Überfischung oder Krankheiten), so kann das Absterben von Korallen aufgrund von akuten Störungen (z.B. durch

Temperaturanstieg, Korallenkrankheiten oder Wirbelstürme) zu einem Überwachsen des Substrats durch Makroalgendickichte führen. Da diese Algen durch Raumkonkurrenz die Neuansiedlung von Korallen verhindern, junge Korallen überwachsen, Sedimente einfangen, gelöste Stoffe freisetzen und damit mikrobielle Gemeinschaften verändern und Krankheiten fördern, hindern sie Korallen daran, sich wieder zu etablieren, und verstärken somit wiederum die Dominanz von Algen (Abb. 5.4-1c). Der Schwellenwert weg von dem korallendominierten Zustand unterscheidet sich von dem Schwellenwert, an dem eine Umkehr zum ursprünglichen Zustand möglich ist. Dieses Phänomen nennt sich Hysteresis. So bedarf es zum Beispiel einer weitaus höheren Beweidungsrate um einen dichten Bewuchs mit Makroalgen abzugrasen, als die Rate, die ursprünglich notwendig war, um den Bewuchs an Algen kleinzuhalten.

Das Resilienz-Konzept stellt einen vielversprechenden Rahmen zur Entwicklung von Forschungs- und Managementansätzen und zum Schutz komplexer, vom Klimawandel bedrohter ökologischer Systeme wie Korallenriffe dar. Bei diesem Ansatz ist Resilienz eine Ökosystem-Eigenschaft, die gezielt beeinflusst und gesteuert werden kann. Er bietet eine holistische

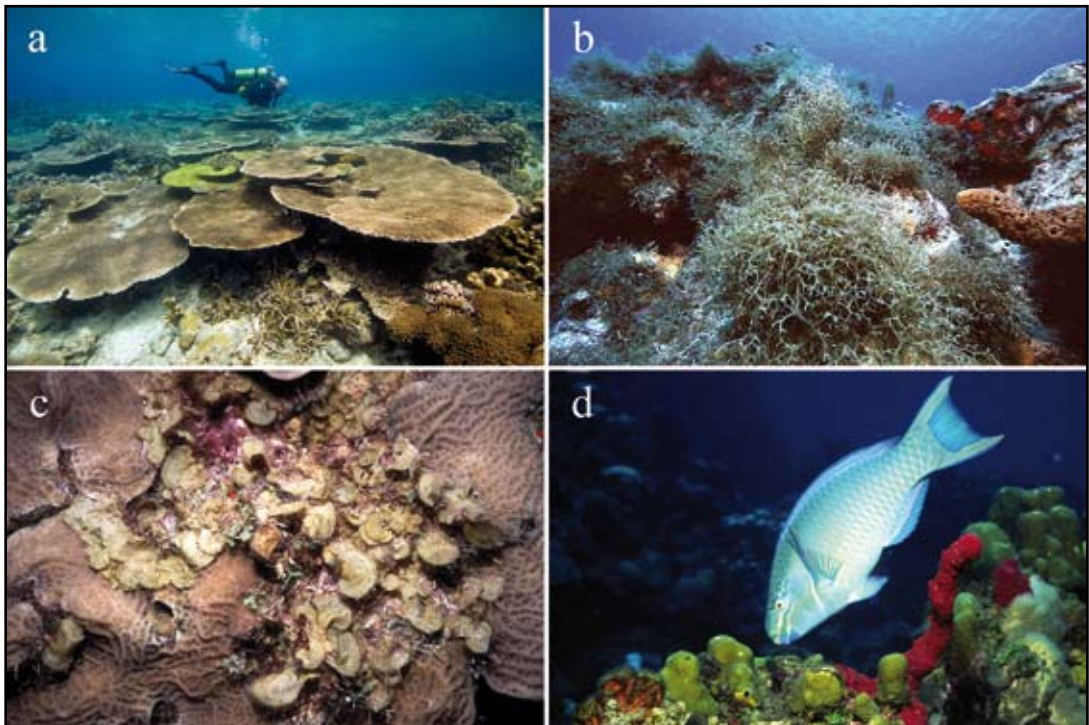


Abb. 5.4-1: Beispiele von (a) einem Korallen-dominierten Riff zu (b) einem Algen-dominierten Riff. (c) Eine hohe Bedeckung an Makroalgen (*Lobophora variegata*) überwächst adulte Korallen und verhindert das Ansiedeln von Korallenlarven. (d) Papageifische wie z.B. *Sparisoma vetula* können Makroalgen abweiden und somit helfen, Riffe zu einem von Korallen dominierten Zustand zurückzubringen (Photos M. Nugues).

Sichtweise der Kapazität von Ökosystemen, ihre Funktionen sowohl im gegenwärtigen Zustand als auch unter zu erwartenden Veränderungen beizubehalten, und hat vier wesentliche Vorteile:

- Er konzentriert sich auf das Management von Schlüsselprozessen und -funktionen, die die Resilienz eines Systems stärken, z.B. Prozesse wie Korallenansiedlung oder Herbivorie, welche den korallendominierten Zustand erhalten;
- er erkennt an, dass natürliche und anthropogene Stressfaktoren synergistisch interagieren und dabei mehr Schaden anrichten können, als ein bestimmter Faktor allein, d.h. Management-Aktionen, die nur auf ein spezifisches Risiko zugeschnitten sind, können entweder fehlschlagen oder möglicherweise die Wirkung interaktiver Effekte missinterpretieren;
- er berücksichtigt, dass die Einflüsse und Interaktionen von Stressfaktoren schwer vorherzusagen sind. Somit stellt er eine Absicherung gegenüber unvorhersehbaren Bedrohungen dar, da nach dem Vorsorgeprinzip verfahren wird, was im Kontext des Klimawandels von großer Bedeutung ist, und
- er kann – und sollte – gemeinsam auf ökologische, soziale und ökonomische Teilsysteme angewandt werden, da diese Systeme eng verbunden sind und sich gegenseitig beeinflussen. So generieren zum Beispiel gut entworfene und umgesetzte Meeresschutzgebiete (nach dem englischen Begriff marine protected areas häufig kurz MPAs genannt) Einkommen für die lokalen Anwohner und erreichen somit deren Unterstützung, was wiederum die Durchsetzung von Schutzmaßnahmen verstärkt.

Was können wir tun?

Von Experten werden zwei komplementäre Strategien zur Erhaltung von Korallenriffen empfohlen: Maßnahmen, um Schäden abzuwenden, und Maßnahmen, um die Resilienz zu erhöhen (MARSHALL & JOHNSON 2007). Wenn Rate und Ausmaß des Klimawandels kritische Schwellenwerte überschreiten, helfen auch keine Maßnahmen zur Stärkung der Resilienz mehr, den Verlust von Korallenriffen zu verhindern. Andererseits wird sich das globale Klima in diesem Jahrhundert selbst dann nicht mehr einpendeln, wenn es uns gelingen sollte, die Ursachen des Klimawandels noch heute abzustellen. Die Stärkung von Resilienz kann somit helfen, Zeit für weitergehende Maßnahmen zu gewinnen. Daher sind beide Strategien wichtig, um Riffen zu ermöglichen, den Klimawandel zu bewältigen.

Aufklärung über mögliche Schäden durch Klimawandel

Es gibt umfangreiche Empfehlungen, wie die Auswirkungen des Klimawandels vermindert werden können (IPCC 2007). Nähere einzelne und auch politische Maßnahmen zum Klimawandel, welche für alle Ökosysteme nahezu identisch sind, sollen hier nicht im Detail beschrieben werden. Praktische Schritte für Manager, Wissenschaftler oder an Korallenriffen interessierte

Individuen konzentrieren sich auf Öffentlichkeitsarbeit (z.B. in Form von Information über mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf Korallenriffe, Stärkung des Bewusstseins zum Thema Verwundbarkeit von Korallenriffen und zu dem Ausmaß von Klimawandeleffekten, Erstellung einer robusten, wissenschaftlich fundierten Datengrundlage für Entscheidungsträger und Informationen über Maßnahmen zur Verringerung des persönlichen Ausstoßes von Treibhausgasen und somit des klimatischen Fußabdrucks). Korallenriff-abhängige Industrien wie z.B. Tourismus haben bereits angefangen, beispielhafte Methoden zur Reduktion des Ausstoßes von Treibhausgasen zu erarbeiten (z.B. Zusammenarbeit mit 'klimafreundlichen' Firmen, beim Einkauf auf Nachhaltigkeit der Produkte zu achten, Angebote zum Ausgleich von durch Anreise verursachten Treibhausgasemissionen). Diese können als Inspiration für andere Akteure dienen, ihrerseits den klimatischen Fußabdruck zu reduzieren.

Schutz der Wasserqualität

Korallenriffe entwickeln sich am besten, wenn sie von nährstoffarmem Meerwasser umgeben sind (das sogenannte »Nahrungs-Paradoxon«). Nährstoffe vermindern die Fähigkeit von Korallenriffen, sich von Störungen zu erholen, da sie das Wachstum von Makroalgen fördern. Dies ist ein wichtiger Aspekt, da eine Zunahme an Makroalgen sowohl die Ansiedlung, das Wachstum und die Fruchtbarkeit von Korallen vermindern können; alle diese Faktoren sind wichtig, damit das System sich wieder zurück zu einer Korallendominanz entwickeln kann. Ist ein Riff erst einmal mit Makroalgen (oder Sedimenten) bedeckt, kann es nicht zu seinem ursprünglichen, von Korallen dominierten Zustand zurückkehren, solange sich die Umweltbedingungen nicht stark ändern (siehe Hysteresis). Unbedachte Landnutzung hat weltweit zu verminderter Wasserqualität im küstennahen Bereich geführt. Diesem Zustand kann mit einem verbesserten Management von Flusseinzugsgebieten, zum Beispiel durch reduzierte Abholzungsraten, verminderten Gebrauch von Düngemitteln und langlebigen Pestiziden, Schutz und Restauration von Mangroven und angrenzenden Feuchtgebieten, striktere Richtlinien für den Küstenausbau und den Bau von Kläranlagen, entgegengewirkt werden.

Schutz wichtiger funktioneller Gruppen

Gruppen mit ökologischen Schlüsselfunktionen, vor allem Herbivore (Fische, Seeigel) und Prädatoren (fischfressende Knochen- und Knorpelfische) an der Spitze des Nahrungsnetzes, spielen bei der Erhaltung von Riff-Resilienz nachweislich eine herausragende Rolle. In ausreichender Abundanz können Herbivore die Entstehung von Makroalgenblüten nach Störungen ver-

hindern und sind daher essentiell für die Fähigkeit von Korallenriffen, sich von Störungen wieder zu erholen (Abb. 5.4-1d). Allerdings haben sich nur wenige Riff-Fischarten auf das Abweiden von Algen spezialisiert. Viele Riffsysteme zeichnen sich durch eine geringe funktionelle Redundanz unter herbivoren Fischarten aus; der Verlust von ein oder zwei Schlüsselarten kann daher bereits zur Ausbreitung von Makroalgen führen (BELLWOOD et al. 2006). Einige Arten, die als sogenannte schlafende funktionelle Gruppen bezeichnet werden, ändern ihr Beweidungsverhalten erst, nachdem sich die Umweltbedingungen geändert haben (z.B. nach einer Verschiebung von Korallen zu einem durch Algen dominierten System). So beobachtete man beispielsweise, dass eine einzelne Fledermausfischart (*Platax pinnatus*), von der man annahm, dass sie ausschließlich wirbellose Tiere frisst, ausgewachsene Braunalgen (Sargassum) abweiden konnte, die in einem Ausschlussexperiment über einen Zeitraum von 30 Monaten entstanden waren. In gesunden Riffen spielte diese Fischart hingegen keinerlei Rolle in der Aufrechterhaltung eines geringen Algenvorkommens (BELLWOOD et al. 2006). Vor diesem Hintergrund ist es essentiell, diejenigen Arten, die Phasenverschiebungen verhindern oder umkehren können, zu identifizieren und zu schützen. Hierzu ist womöglich der Entwurf von Management- und Schutzprioritäten bis auf Artniveau notwendig.

Arten auf höheren trophischen Ebenen, wie z.B. Haie, Rochen, Riffbarsche, Schnapper, Thunfische, Seevögel und Meeressäuger, tragen dazu bei, selektiv die Individuen einer Population zu entfernen, die weniger gut an ihre Umgebung angepasst sind. Ohne diesen Selektionsdruck werden viele Arten auf niedrigen trophischen Stufen länger brauchen, sich an mit dem Klimawandel verändernde Bedingungen anzupassen. Ein anderes Beispiel kommt aus dem Indo-Pazifik, wo ein massiver Rückgang an Korallen durch den koralivoren Seestern *Acanthaster planci* verursacht wurde. Von einigen Fischarten (z.B. Napoleon-Lippfisch, Drückerfisch) und Wirbellosen (z.B. Triton-Hornschnecke) weiß man, dass sie diesen Seestern fressen. All diese Arten bedürfen des besonderen Schutzes. Es sollte außerdem bedacht werden, dass menschliche Einflüsse auf Riffe bereits vor Jahrhunderten begannen und den Rückgang und das lokale Aussterben von mariner Megafauna (z.B. Dugongs, Haie und Schildkröten) und anderen Organismen wie Seegurken weit vor der heutigen Zunahme menschlicher Auswirkungen und dem Einsetzen der Korallenriff-Wissenschaft bewirkten. Diese frühen Veränderungen haben möglicherweise die Resilienz von Riffen (d.h. in Form von funktioneller Redundanz) bereits lange vor dem Auftreten von ersten Anzeichen für Riff-Degradierung beeinträchtigt,

was den Bedarf an einem Resilienz-basierten Ansatz, in dem funktionelle Schlüsselgruppen identifiziert und deren Abundanz und Diversität wieder hergestellt wird, unterstreicht. Darüber hinaus sollte Biodiversität, und damit die Anzahl an potenziellen funktionellen Gruppen, allgemein geschützt und gefördert werden, da nie ganz klar ist, welche Art unter veränderten Bedingungen welche Rolle übernehmen kann.

Durch Übernutzung, Habitatdegradierung (d.h. durch Küstenbebauung und destruktive Fischereimethoden) oder Krankheiten (oft verursacht durch schlechte Wasserqualität) können Schlüsselarten dezimiert und komplexe Interaktionsgefüge verschoben werden. Diese lokalen Faktoren können durch das Einführen von MPA-Netzwerken sowie eine funktionierende Fischereikontrolle und effektives Wassereinzugsgebietsmanagement angegangen werden (siehe nachfolgende Abschnitte). Diese Maßnahmen sollten von einer Reihe von politischen Kontrollelementen begleitet werden, z.B.:

- Bereitstellung von Subventionen, die auf Erhalt und Wachstum von Fischbeständen (und nicht eine Zunahme der Fischerei) ausgerichtet sind und die Verwendung von habitatbeschädigendem Fanggerät begrenzen bzw. unterbinden,
- Öffentlichkeitsarbeit über die Grausamkeit und Verschwendung von Haifischflossen-Fischerei,
- Anregung zu traditionellem Meeresressourcenmanagement auf lokaler Basis, in dem die Nutzer ein langfristiges Interesse am Schutz ihrer Ressourcen entwickeln,
- Verbreitung von alternativen Einkommensmöglichkeiten, auch außerhalb der Fischerei, die weniger schädliche Auswirkungen auf die Umwelt haben, sowie individuell handelbare Fangquoten oder Eigentumsrechte,
- Einführung und Durchsetzung von Gesetzen, welche das Verbergen der Herkunft und die falsche Deklaration von Fischen verhindern,
- Entwicklung von unabhängigen Zertifizierungs- und Etikettierungsprogrammen, die eine Rückverfolgung und nachhaltige Produktion von Meeresprodukten gewährleisten (z.B. Marine Stewardship Council), sowie Entwicklung von Einkaufsführern, die die Konsumenten beim Kauf von Meeresprodukten aus nachhaltig gemanagten Quellen unterstützen,
- effektive Kontrollmaßnahmen (z.B. lokale, luft- und satellitengestützte Überwachung und passive Sonarüberwachung) und
- Regeln für und Förderung der Entwicklung von nachhaltigem Ökotourismus.

Schutz potentiell resilienter Gebiete

Einige Riffe sind resilienter gegenüber Klimawandel, etwa aufgrund ihrer physikalischen Rahmenbedingungen (z.B. in der Nähe von Auftriebsgebieten oder Gebieten mit starker Strömung), biologischer Eigenschaften (z.B. mit einer Dominanz von Arten, die weniger anfällig für ein Ausbleichen sind) oder durch ihre Lage in einer Gegend, die natürlichen Schutz gegenüber klimabedingten

Stressfaktoren bietet (z.B. im Schatten von Steilküsten oder Bergen). Insofern besteht eine hohe Chance, dass diese Gebiete, wenn sie unter Schutz gestellt werden, als eine Quelle für die Erholung von klimageschädigten Riffen dienen können. Indem sie Larven produzieren, tragen sie zur Wiederbesiedlung von degradierten Riffen bei, vor allem wenn der Austausch zwischen Riffen ebenfalls gezielt geschützt wird. Des Weiteren wird der Schutz dieser resilienten Gebiete in Zukunft mit großer Wahrscheinlichkeit zunehmend wichtig, da die Riffdegradierung zu einer Konzentration der Nutzer (d.h. Fischerei und Tourismus) auf diese Gegenden führen wird. MAYNARD et al. (2010) haben einen Rahmen entwickelt, anhand dessen resiliente Riffe im Kontext eines auf Resilienz ausgelegten Managements identifiziert werden können.

Erschaffung von MPA-Netzwerken und Management von Ökosystem-Prozessen

MPAs ermöglichen das ortsbezogene Management von Meeresökosystemen. Bei entsprechender Einhaltung können MPAs, besonders Kerngebiete, die keinerlei Entnahme gestatten, wichtige funktionelle Gruppen schützen und somit zu lokaler Ökosystem-Resilienz beitragen (s.Kap. 5.2: Lutter). Diese Gebiete weisen weltweit höhere Erholungsraten nach Störungen auf als ungeschützte Riffe (WILKINSON 2002). Dennoch ist selbst das größte MPA klein im Vergleich zu den Größenordnungen von Störungen, Larvenverdriftung und den Migrationsrouten vieler Meerestiere. Als Schutz gegen die Vielzahl möglicher Bedrohungen von Meereshabitaten gelten MPA-Netzwerke allgemein als Verbesserung gegenüber einzelnen MPAs, da sie verhindern, dass die Verbindung zwischen einzelnen Habitaten oder Populationen verloren geht (KELLER et al. 2009). Netzwerke können lokale und regionale Verbreitungswege einbeziehen, um Larvenansiedlung zu erhöhen, können ökologisch wichtige Gebiete (z.B. resiliente Abschnitte) oder Funktionen (z.B. Migrationskorridore) schützen und können eine große Vielfalt und Anzahl biogeographischer Regionen beinhalten.

Obwohl MPA-Netzwerke als effektiverer Ansatz zum Aufbau von Riff-Resilienz gelten, sollten sie gemeinsam mit anderen Management-Strategien entworfen werden, zum Beispiel einer »Riff-freundlichen« Fischereipolitik und integriertem Meeres- und Küstenmanagement (MUMBY & STENECK 2008). Wenn klimatische und menschliche Einflüsse weiter zunehmen, wird die Wiederbesiedlung von degradierten Bereichen in MPAs nachlassen oder ggf. ungewollte Arten (z.B. Algen sporen, Pathogene und invasive Arten) beinhalten. Daher ist es notwendig, auch in ungeschützten Riffen die Habitatqualität zu erhalten, denn der Larvenausstrag von MPAs wird ungeschützten

Bereichen nicht nützen, wenn diese ihre Habitatstruktur und –komplexität verloren haben. MPAs sind nicht in der Lage, Riffe vor weiträumigen Einflüssen wie den Auswirkungen von erhöhten Wassertemperaturen, Ozeanversauerung oder schlechter Wasserqualität zu schützen. Dies benötigt, wie eingangs erläutert, kumulative Anstrengungen zur Abwendung von Klimawandel und zum Erhalt der Wasserqualität.

Das Ergebnis von MPA-Managementanstrengungen ist in hohem Maße mit Unsicherheitsfaktoren belastet, da die Einflüsse des Klimawandels starke, aber bisher wenig bekannte Interaktionen mit nicht-klimatischen Stressfaktoren wie Überfischung und Verschmutzung haben. Bis heute existieren keine eindeutigen Management-Strategien zur Bekämpfung der Auswirkungen von Ozeanversauerung. Höhere Wassertemperaturen werden darüberhinaus mit hoher Wahrscheinlichkeit die Larvenentwicklung beschleunigen und somit die räumliche Reichweite von Konnektivität einschränken. Daher ist die Anwendung adaptiver Management-Praktiken nötig, die unter Anwendung der besten verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnisse und einer regelmäßigen Überprüfung der Effektivität derzeitiger Maßnahmen den Klimawandel in das Design von MPA-Netzwerken mit einbeziehen. Es existiert eine Reihe von Empfehlungen zur Hilfestellung bei der Entwicklung und Umsetzung von MPA-Netzwerken, welche die Größe, räumliche und zeitliche Anordnung von MPAs, die Verteilung von Risiken, Schutz wichtiger Abschnitte, Ökosystemfunktion und Ökosystem-basiertes Management beinhalten (siehe McLEOD et al. 2008).

Unterstützung sozialer und ökonomischer Resilienz

Da Korallenriffgebiete häufig als frei zugängliche Ressourcen gelten und somit oft die einzige Möglichkeit des Nahrungserwerbs für verarmte Küstenbewohner darstellen, können Veränderungen in sozialer und ökonomischer Resilienz Einfluss auf ökologische Resilienz haben (und umgekehrt). Zusätzlich beeinflussen soziale und ökonomische Bedingungen Machbarkeit und Erfolg von Management-Ansätzen, die auf die Sicherstellung ökologischer Resilienz abzielen, wie zum Beispiel die Entwicklung von MPAs oder das Management von Wassereinzugsgebieten. Daher müssen die Verbindungen zwischen sozio-ökonomischen und ökologischen Systemen berücksichtigt werden, wenn Korallenriffe vor den Auswirkungen des Klimawandels geschützt werden sollen.

In einer jüngeren Studie über Korallenriff-Ökosysteme in verschiedenen Ländern im Indischen Ozean gab es eine U-förmige Beziehung zwischen dem sozio-ökonomischen Entwicklungsstand und der Abundanz von

Riff-Fischarten: Die höchste Biomasse an Riff-Fischen trat sowohl beim höchsten als auch beim niedrigsten Stand von sozio-ökonomischer Entwicklung auf (CINER et al. 2009). Als Ergebnis z.B. von Zugang zu effizienteren Booten, Motoren und Fischereigerät kann ein zunehmender sozio-ökonomischer Entwicklungsgrad somit zu vermehrt negativen Auswirkungen auf Ökosysteme führen. Oberhalb eines bestimmten Standards sind die Auswirkungen von Entwicklung auf die Umwelt wieder positiv, da die Gesellschaft eine höhere ökonomische Diversität und größere Aufmerksamkeit gegenüber Umweltproblemen entwickelt und ihre ökonomische Abhängigkeit von Riff-Fischen nachlässt (Abb. 5.4-2). Es geht daher darum, sowohl menschliches Wohlbefinden als auch Umweltbedingungen zu verbessern, um den negativen Auswirkungen auf die Umwelt bei mittlerem sozio-ökonomischen Entwicklungsstand zu entfliehen. Governance und Management-Ansätze sollten darauf abzielen, die Lebensgrundlagen von Küstenbewohnern zu diversifizieren (z.B. durch Ökotourismus oder Kleinkredit-Programme), lokales Wissen, Traditionen und Institutionen zu erhalten, Nutzer als Ombudsleute für Riff-Resilienz zu gewinnen und Einschränkungen von habitatzerstörendem Fischereigerät durchzusetzen. Diese Maßnahmen sollten mit der Entwicklung von MPA-Netzwerken gekoppelt werden, um Verschiebungen in einen anderen ökologischen Zustand zu vermeiden. Zusätzlich bedarf es effektiver Gesetzgebung und verantwortungsvoller Regierungsführung, damit ökonomische Fortentwicklung nicht automatisch zur zunehmenden weiträumigen Riffdegradierung beiträgt.

Veränderungen im Riffzustand, der Wetterlage und Küstendisaster beeinflussen letztendlich auch geschäftliche und soziale Infrastruktur, zum Beispiel Gesundheitssysteme und sanitäre Einrichtungen, und bedürfen daher eines pro-aktiven Managementansatzes. So haben beispielsweise die Cayman Islands in der Karibik Anpassungsmaßnahmen auf nationaler und lokaler Ebene geschaffen, welche ihre Effektivität nach dem Wirbelsturm Ivan (2004) unter Beweis stellen konnten. Diese Maßnahmen beinhalteten Modifizierungen der Regeln und Governance von Wirbelsturm-Risiken, veränderte Organisationsformen, die Entwicklung von Frühwarnsystemen, eine Unterstützung von Selbstorganisation der Zivilgesellschaft und des privaten Sektors (d.h. Tourismus und Bankgewerbe) und die Förderung von starker sozialer Kohäsion und kollektivem Handeln (ADGER et al. 2005). Küstenbebauung in überflutungs- oder sturmgefährdeten Gebieten sollte verboten werden, da sie zu einer verstärkten Anfälligkeit gegenüber Auswirkungen des Klimawandels führt. Zusammen maximieren diese Maßnahmen die Kapazi-

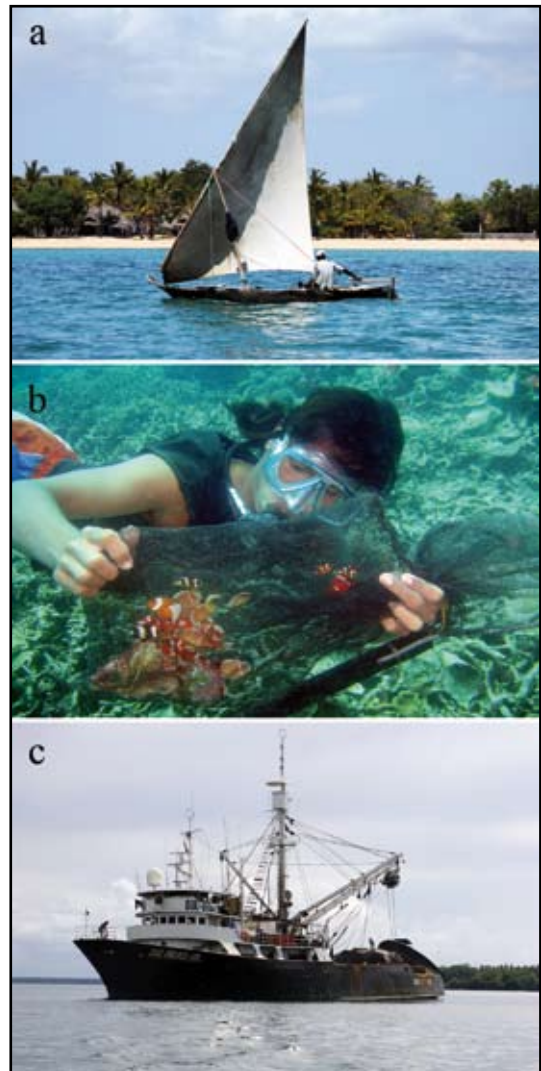


Abb. 5.4-2: Fischereimethoden in verschiedenen Stadien von sozio-ökonomischer Entwicklung: (a) niedrig: Fischer aus Tansania in einem kleinen, hölzernen Kanu; (b) mittel: Fischer in dem indonesischen Spermonde-Archipel beim Fang von Anemonen-Fischen für den Aquarienhandel; und (c) hoch: Ringwadenfischerei in Papua Neuguinea. Die stärkste Degradierung von Küstenökosystemen tritt bei mittlerem wirtschaftlichen Entwicklungsstand auf (siehe Text) (Photos von oben nach unten: S. Ferse, L. Knittweis, W.Ekau).

tät des sozialen Systems, sich nach Störungen zu reorganisieren, und vermindern somit längerfristige soziale und ökologische Katastrophen.

Förderung von Initiativen auf verschiedenen Ebenen

Das Problem des Klimawandels betrifft uns alle, und Gegenmaßnahmen auf multiplen Ebenen sollten gefördert werden. Einzelpersonen denken häufig zu Unrecht,

dass sich Auswirkungen des Klimawandels nicht während der Dauer ihres Lebens bemerkbar machen. Zusätzlich sind viele der Meinung, dass der Klimawandel auf dem Niveau von lokalen Gemeinschaften, der Industrie, oder auf nationaler Ebene angegangen werden müsste, und sehen daher keine persönliche Verantwortung. Ein besserer Zugang zu Information über Klimawandel-Einflüsse und Möglichkeiten für persönliche Maßnahmen könnte dazu beitragen, dass sich Einzelpersonen stärker engagieren. Interessierte können beim Schutz der Riffe vor dem Klimawandel helfen, indem sie zum Beispiel Riff-freundliche Unternehmen unterstützen, bei einer freiwilligen Riff-Reinigungsaktion mitmachen, mehr über Riffe lernen und das Gelernte weitergeben, oder unterstützendes Mitglied in einem lokalen Aquarium oder Zoo werden.

Tourismusveranstalter, Vertreter der Industrie und öffentliche Aquarien führen bereits eine Reihe vielversprechender Initiativen an. So testen beispielsweise Tourismusveranstalter in Australien, unterstützt von der Great Barrier Reef Marine Park Authority (GBRMPA), Strategien zur Verminderung des Ausmaßes der Korallenbleiche oder einer Förderung der Korallensiedlung an mehreren kleinen, touristisch hochwertigen Stellen (MARSHALL & JOHNSON 2007). Neue, unkomplizierte Methoden zur Vermehrung und Kultivierung von Korallen haben in den letzten Jahren die Kosten-Effektivität von Riffrestaurationsmethoden verbessert und somit lokale Hilfe möglich gemacht. Obwohl Restaurationsmaßnahmen Riffen dabei helfen können, sich von lokalen Schädigungen zu erholen, ist es unwahrscheinlich, dass sie in absehbarer Zeit in Größenordnungen anwendbar sein werden, die als Beitrag zu Riff-Resilienz relevant wären. Außerdem kann aktive Restauration das Schicksal der Riffe nicht verbessern, wenn sich an den globalen und regionalen Ursachen für die Degradierung nichts ändert. Ein zweites Beispiel ist das SECORE (SEXual CORal REproduction) Programm, eine gemeinnützige Initiative, die von öffentlichen Aquarien und Korallenforschern ins Leben gerufen wurde. Indem es das Wissen von Wissenschaftlern und professionellen Aquarianern kombiniert, unterstützt SECORE wissenschaftliche Innovation in verschiedenen Bereichen, wie zum Beispiel Korallenzucht, Riffrestaurierung, Populationsgenetik oder Kryptopreservation. Techniken der Kryptopreservation beinhalten z.B. das Einfrieren von Spermien und Eizellen bedrohter Korallenarten, welche somit für Jahrzehnte in Genbanken lebendig erhalten und für die Wiederbesiedlung geschädigter Riffe verwendet werden können.

Korallenriffe haben wegen ihrer besonderen Anfälligkeit einen prominenten Platz in der Klimawandelforschung und in politischen Initiativen eingenommen, was

zu diversen internationalen Initiativen (z.B. das Internationale Jahr des Riffee 2008) und verschiedenen regionalen und internationalen Anstößen geführt hat, wie z.B. durch die »International Coral Reef Initiative« (ICRI), die Konvention zum Schutz der Biologischen Vielfalt (CBD) und die »Coral Triangle Initiative« (CTI). Diese Initiativen helfen dabei, einen strategischen und konsistenten Kommunikationsansatz zu ermöglichen und lenken lokale und globale Aufmerksamkeit auf das Ausmaß von Klimawandel als Bedrohung von Korallenriffen und den Bedarf an Management, Forschung, Ausbildung und finanzieller Unterstützung, um den Auswirkungen des Klimawandels zu begegnen.

Literatur

- ADGER W.N., T.P. HUGHES, C. FOLKE, S.R. CARPENTER & J. ROCKSTRÖM (2005) Social-ecological resilience to coastal disasters. *Science* 309:1036-1039.
- BELLWOOD D.R., T.P. HUGHES & A.S. HOEY (2006): Sleeping functional group drives coral-reef recovery. *Current Biology* 16:2434-2439.
- CINNER J.E., T.R. MCCLANAHAN, T.M. DAW, N.A.J. GRAHAM, J. MAINA, S.K. WILSON & T.P. HUGHES (2009): Linking social and ecological systems to sustain coral reef fisheries. *Current Biology* 19:206-212
- HOLLING C.S. (1973): Resilience and stability of ecological systems. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 4: 1-23.
- IPCC (2007) In: METZ B., O.R. DAVIDSON, P.R. BOSCH, R. DAVE & L.A. MEYER (eds) *Climate change 2007: mitigation. Contribution of Working Group III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, 852 pp.
- KELLER B.D., D.F. GLEASON, E. MCLEOD, C.M. WOODLEY, S. AIRAMÉ, B.D. CAUSEY, A.M. FRIEDLANDER, R. GROBER-DUNSMORE, J.E. JOHNSON, S.L. MILLER & R.S. STENECK (2009): Climate change, coral reef ecosystems, and management options for marine protected areas. *Environmental Management* 44:1069-1088.
- MAYNARD J., P. MARSHALL, J. JOHNSON & S. HARMAN (2010): Building resilience into practical climate change: identifying local management responses to global climate change in the southern Great Barrier Reef Coral Reefs DOI: 10.1007/s00338-010-0603-8.
- MARSHALL P.A. & J.E. JOHNSON (2007): The Great Barrier Reef and climate change: vulnerability and management implications. Ch 24 in Johnson JE and Marshall PA (eds), *Climate Change and the GBR: A Vulnerability Assessment (GBRMPA, 2007)*, pp. 773-799.
- MCLEOD E., R. SALM, A. GREEN & J. ALMANY (2008): Designing marine protected area networks to address the impacts of climate change. *Frontiers in Ecology and the Environment*. Doi:10.1890/070211 (published online).
- MUMBY P.J. & R.S. STENECK (2008): Coral reef management and conservation in light of rapidly evolving ecological paradigms. *Trends in Ecology and Evolution* 23:555-563.
- WILKINSON C. (ed) (2002): *Status of Coral Reefs of the World*. Australian Institute for Marine Science, Townsville, Australia.

Dr. Maggy Nugues

*Carmabi Foundation Willemstad Curaçao
maggynugues@hotmail.com*

Dr. Sebastian Ferse

*Leibniz-Zentrum für Marine Tropenökologie (ZMT)
Fahrenheitstr. 6 - 28359 Bremen
sebastian.ferse@zmt-bremen.de*