

## Zusammenleben artfremder Organismen

# Symbiosen im Korallenriff

MIRIAM MOLENKAMP

*Eine symbiotische Partnerschaft zwischen Pflanze und Tier macht es überhaupt erst möglich, dass winzige Polypen Korallenriffe aufbauen, welche die größten von Lebewesen erschaffenen Bauwerke darstellen. Korallenriffe gehören zu den artenreichsten und am dichtest besiedelten Lebensräumen der Welt. Der herrschende Konkurrenzkampf hat eine Vielzahl an Überlebensstrategien hervorgebracht. Im Tier- und Pflanzenreich findet sich eine Fülle an engen Beziehungen zwischen artverschiedenen Organismen. ►Parasitismus und ►Symbiose sind hierbei die bekanntesten Formen. Zwischen dem parasitären Gegeneinander und dem symbiotischen Miteinander gibt es jedoch unzählige Übergänge.*

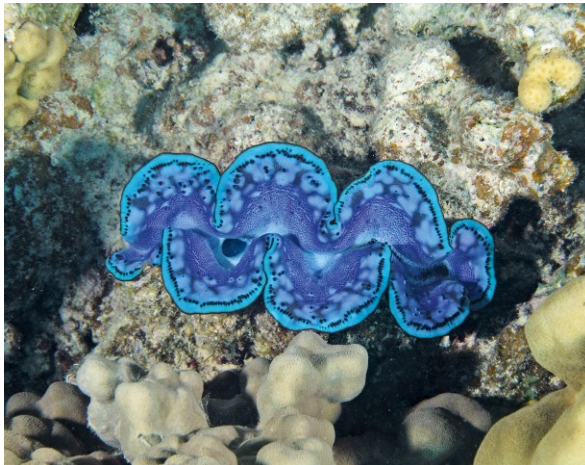


**ABB. 1** Mangrovenquallen (*Cassiopea* sp.) besitzen photosynthetisch aktive, endosymbiotische Zooxanthellen. Durch ihre charakteristische Körperhaltung „schirmunter“, mit der Mundseite nach oben, sind sie stets dem Sonnenlicht zugewandt.

Der deutsche Arzt und Botaniker Heinrich Anton de Bary prägte 1879 den Begriff Symbiose als jegliches Zusammenleben artverschiedener Lebewesen. Diese allgemeine Definition umschließt somit auch Parasitismus und ►Probiose, die auch als Karpöse oder Parabiose bezeichnet wird. Unter Parasitismus versteht man Lebensgemeinschaften, bei welchen eine Art geschädigt wird, während bei Probiosen nur eine Art einen Nutzen davonträgt und die andere dabei nicht negativ beeinträchtigt wird [1, 2]. Diese allgemeine Definition von Symbiose wird teilweise noch heute und vor allem in den USA verwendet, während man in Europa unter Symbiose eine Vergesellschaftung artfremder Organismen, die für beide Symbiosepartner von Vorteil ist, versteht. Diese Form wird auch als Mutualismus oder Symbiose im engeren Sinne bezeichnet und wird somit von Parasitismus und Probiose abgegrenzt. Viele Lebensgemeinschaften wurden früher als parasitisch beschrieben, während man sie heute zunehmend als mutualistische Symbiosen mit gegenseitigem Nutzen erkennt. So wurden beispielsweise auch endosymbiotische Algen – sogenannte ►Zooxanthellen, die eine bedeutende Rolle für die Riffbildung spielen und sich in Korallen sowie anderen marinen Lebewesen finden – lange Zeit als endozelluläre Parasiten

angesehen. Erst in Folge der Beschreibung der symbiotischen Beziehung einzelliger Algen mit der Mangrovenqualle (*Cassiopea* sp.) durch Hugo Freudenthal in den sechziger Jahren wurden Zooxanthellen als Symbiosepartner verschiedener mariner Organismen und ihre große Bedeutung für die Bildung von Korallenriffen erkannt (Abbildung 1). Bei Symbiosen im engeren Sinne ist das vorübergehende oder ständige Zusammenleben beider Partner meist lebensnotwendig geworden. Im weiteren Sinne sind jedoch auch alle interspezifischen Wechselbeziehungen eingeschlossen, die für beide Partner vorteilhaft und existenz erleichternd, aber nicht obligatorisch sind. Alle Formen der Vergesellschaftung gehen auf eine mehr oder weniger lange koevolutionäre Entwicklung zurück, wobei Wechselwirkungen und Übergänge scharfe begriffliche Abgrenzungen erschweren [2–4]. Der größere Symbiosepartner wird als Wirt, der kleinere als Symbiont bezeichnet. Man spricht von einer Ektosymbiose, wenn der Symbiont außerhalb und von einer Endosymbiose, wenn er im Körperinneren des Wirtes lebt. Abhängig von der Anzahl der Symbionten werden Mono-, Di- und Polysymbiosen unterschieden. Je nach systematischer Zugehörigkeit der Symbiosepartner spricht man von Phyto-, Zoo- bzw. Zoo-phytosymbiosen [1].

Die mit einem grünen Pfeil markierten Begriffe werden im Glossar auf Seite 167 erklärt.



**ABB. 2** Riesenschnecken (*Tridacna maxima*) ernähren sich durch Filtration und endosymbiotische Zooxanthellen, die sich in ihrem farbigen Mantelrand befinden.



**ABB. 3** Korallen leben mit einzelligen Zooxanthellen in Symbiose. Funktioniert dieser empfindliche Mechanismus nicht mehr, kommt es in Folge einer Stressreaktion zur Korallenbleiche, dem sogenannten „Coral Bleaching“.

## Korallenriffe – Symbiose als Lebensgrundlage

Eine symbiotische Partnerschaft macht es Korallenpolypen erst möglich Riffe zu bilden. Korallen werden als Holobionten bezeichnet. Unter diesem Begriff versteht man ein Gesamtlebewesen, das aus einem eukaryotischen Wirtsorganismus und einer Vielzahl mit diesem eng zusammenlebender prokaryotischer Arten besteht. Fast alle riffbildenden, ▶ hermatypischen Steinkorallen leben symbiotisch mit Dinoflagellaten, den Zooxanthellen. Diese endosymbiotischen Algen versorgen die Korallen mit Assimilationsprodukten und Sauerstoff, während sie selbst Kohlendioxid und Stickstoffprodukte erhalten. Korallen decken bis zu 90 Prozent ihres Energiebedarfs über ihre Endosymbionten. Sie ernähren sich jedoch auch heterotroph, indem sie Nahrungspartikel oder gelöste Stoffe aufnehmen und verstoffwechseln. Durch die Photosyntheseleistung der endosymbiotischen Algen wird laufend Kohlendioxid verbraucht. Dadurch wird als Nebeneffekt das Milieu so verändert, dass deutlich mehr Kalk für die Skelettbildung der Korallen anfällt. Dank der internen Entgiftung durch die Zooxanthellen, können die Polypen eng aneinanderrücken und insgesamt eine größere Masse an Kalk abscheiden. Der direkte Stoffaustausch vermindert die Energieverluste und ist eine der Ursachen dafür, dass Korallenriffe zu den produktivsten Ökosystemen der Erde zählen. Symbiosen mit Zooxanthellen finden sich nicht nur bei Korallen, sondern auch bei vielen anderen Riffbewohnern unterschiedlicher systematischer Zugehörigkeit wie beispielsweise Schwämmen (Porifera), Plattwürmern (Plathelminthes) oder auch Muscheln (*Bivalvia*, Abbildung 2) [5-7].

Bis zu einer Million der einzelligen Algen werden in einem Quadratzentimeter Korallengewebe gezählt. Da Korallen ihre Färbung neben Pigmenten auch ihren Zooxanthellen verdanken, spricht man beim Verlust von einer Korallenbleiche. Das Phänomen dieses ▶ „Coral Bleaching“ beschreibt das Ausbleichen der Korallen, deren schneeweißes Kalkskelett ohne den Braunanteil der Gesamtfärbung durch die Zooxanthellen sichtbar wird (Abbildung 3). Neben Stressfaktoren wie beispielsweise Krankheitserregern, Umweltgiften, Süßwassereintrag oder hohe Strahlungsintensität bzw. UV-Strahlung, ist die Wassertemperatur hierfür ein entscheidender Faktor. Bereits eine geringfügige Erhöhung der Strahlungsintensität und Wassertemperatur beeinträchtigt die Photosyntheseleistung der Zooxanthellen. Es kommt zu oxidativem Stress, der toxisch auf die Wirtszellen wirkt. Die Korallen reagieren darauf mit dem Ausstoßen der Zooxanthellen, die als einzellige Planktonalgen weiterleben. Korallen können ihre Symbionten kurzzeitig ausstoßen, sie aber später wieder aufnehmen, oder auch neue Symbionten, die besser an die aktuellen Umweltbedingungen adaptiert sind. Ohne Zooxanthellen müssen Korallen ihre heterotrophe Nahrungsaufnahme enorm steigern, um überleben zu können. Die Bleichempfindlichkeit der Korallen wird u. a. von der Wuchsform, dem Standort und der Art ihrer Zooxanthellen

### IN KÜRZE

- Symbiose beschreibt ein Zusammenleben artverschiedener Lebewesen. Im engeren Sinne wird darunter eine Vergesellschaftung artfremder Organismen verstanden, die für beide Partner von Vorteil ist.
- Kriterien wie die räumliche Beziehung der beiden Symbiosepartner, die Dauer der Beziehung, der Grad der wechselseitigen Abhängigkeit, die Produkte der Symbiose oder die Art des erzielten Nutzens sowie die Spezifität werden zur Unterscheidung symbiotischer Beziehungen herangezogen.
- Eine symbiotische Partnerschaft zwischen einzelligen Algen – sogenannten Zooxanthellen – und Korallen ist die Grundlage für die Ausbildung von Korallenriffen.
- Korallenriffe gehören zu den artenreichsten und am dichtest besiedelten Lebensräumen der Welt. Der große Konkurrenzkampf hat eine Vielzahl an Überlebensstrategien und symbiotischen Beziehungen hervorgebracht.
- Schutz- und Putzsymbiosen werden in Korallenriffen häufig beobachtet.

beeinflusst. Während viele, feingliedrige, verzweigte Korallen nicht länger als 10 Tage ohne Zooxanthellen überleben, sind einige massive Korallen deutlich stressresistenter und in der Lage, wochen- oder gar monatelang gebleicht zu überstehen. Ohne Zooxanthellen überlebende Korallen zeigen jedoch geringere Wachstumsraten, eine verminderte Reproduktionsfähigkeit und erhöhte Anfälligkeit für Krankheiten. Die großen Unterschiede bezüglich der Stressresistenz sind ein Grund dafür, dass von einer Korallenbleiche betroffene Riffe eine starke Artenverarmung zeigen. Eine langfristige Störung der Symbiose zwischen riffbildenden Steinkorallen und ihren einzelligen Algen, führt zum Absterben ganzer Korallenriffe [5, 6]. Korallen als Holobionten leben nicht nur mit Zooxanthellen in Symbiose, sondern darüber hinaus mit unterschiedlichen Bakterien in typischer Artzusammensetzung. Bereits kleine Veränderungen innerhalb ihres Bakterioms können Korallen schwer schädigen. Die Zusammenhänge zwischen symbiontischen Bakterien und Korallenkrankheiten sowie ihren Einfluss auf die Anpassungsmöglichkeiten von Korallen an wechselnde Umweltbedingungen sind Gegenstand aktueller Forschung [8].

### Parasiten, Mitesser und blinde Passagiere

Viele Formen der Vergesellschaftung stehen mit Ernährung im Zusammenhang. Sie dienen beispielsweise dem Nahrungserwerb, dem Aufschließen von Nahrungsbestandteilen oder dem Austausch von Stoffwechselprodukten. Andere hingegen dienen der Fortpflanzung oder durch Verteidigung und Tarnung dem Schutz vor Feinden. Parasitismus und Probiose werden häufig als Ausgangspunkt von Symbiosen im eigentlichen Sinne betrachtet, wobei es auch hier unterschiedliche Formen gibt. Der Begriff Parasitismus ist deutlicher abzugrenzen. Er beschreibt eine ausbeuterische Beziehung zwischen zwei verschiedenen Arten, zum Nutzen der einen und zum Schaden der anderen. Im Korallenriff typische Parasiten sind kleine Fischasseln (Isopoda). Sie setzen sich bereits im Larvenstadium an ihren Wirtsfisch und krallen sich mit ihren Klammerbeinen fest. Die Mundwerkzeuge sind zu einem kräftigen Stechrüssel umfunktioniert, mit dem sie sich von der Gewebsflüssigkeit und dem Blut ihrer Wirte ernähren [1, 9].

Zur Probiose gehört u. a. der Kommensalismus, der auch als „Mitessertum“ bezeichnet wird. Hierbei profitiert ein Partner von den Nahrungsrückständen des anderen, während dieser keinen Vorteil oder Schaden aus der Vergesellschaftung zieht. Verschiedene Makrelenarten (*Caranx* sp.) begleiten beispielsweise Haie und andere Großfische. Aus solchen losen Gemeinschaften entwickelten sich die heute obligatorischen Pilot- oder Lotsenfische (*Naucrates ductor*), die ausschließlich in Begleitung größerer Meeresbewohner vorkommen. Sie befreien diese von Hautparasiten, fressen Speisereste und Ausscheidungen [5]. Phoresie, ebenso eine Form der Probiose, bezeichnet eine temporäre Transportgesellschaft. Ein Tier

nutzt hierbei ein anderes zum Zweck der Ortsveränderung, ohne den Wirt hierbei zu schädigen. Das wohl bekannteste Beispiel aus dem Riff sind sogenannte Schiffshalter (*Echeneis naucrates*, *Remora remora*), die sich mit einer Saugplatte an größere Tiere wie beispielsweise Meeresschildkröten, Haie und Rochen anheften (Abbildung 4). Sie profitieren nicht nur vom energiesparenden Transport, sondern nutzen auch Nahrungsrückstände und genießen Schutz durch die Größe ihres Wirtes. Da sie im Gegenzug die Haut ihres Wirtes von Parasiten befreien, liegt auch in dieser Beziehung ein Übergang zu einer echten Symbiose vor [10].

Symphorismus bzw. Epökie bezeichnet hingegen eine permanente Aufsiedelung, d. h. einen ständigen Aufenthalt auf der Oberfläche eines anderen Lebewesens, ohne dass der Träger hierbei geschädigt wird. Seepocken der Art *Chelonibia testudinaria* siedeln beispielsweise dauerhaft auf Panzern von Meeresschildkröten. Die Zahl der permanent auf anderen Lebewesen siedelnden Arten im Korallenriff ist groß: So finden sich beispielsweise symphorionte Schlangensterne auf Seeigeln oder Korallen (z. B. *Ophiotbela* sp.), Garnelen auf Nacktschnecken (z. B. *Periclimenes* sp.) und Krebse auf Korallen oder Seeanemonen (z. B. *Ancylomenes* sp.) etc. Auf einem stachelig-wehrhaften oder giftig-ungenießbaren Wirt zu leben, reduziert die Chance, selbst gefressen zu werden. Die meist tarnfarbenen Bewohner kontrollieren häufig den Parasitenbefall ihrer Wirte und profitieren gleichzeitig von einer gesteigerten Fresseffizienz. Den Weg zur echten Symbiose weisen auch hier einige Beispiele: Einsiedlerkrebse der Art *Dardanus tinctor* tragen auf ihrem Haus dauerhaft Seeanemonen (Abbildung 5). Sie werden hierbei durch deren



**ABB. 4** Die erste Rückenflosse des gestreiften Schiffshalters (*Echeneis naucrates*) ist zu einer Saugscheibe umgewandelt. Mit dieser heftet er sich an größere Meeresbewohner wie Meeresschildkröten (*Chelonia mydas*).



**ABB. 5** Der Einsiedlerkrebs *Dardanus tinctor* trägt auf seinem Haus Seeanemonen. Diese charakteristische Lebensweise hat zu seinem Namen „Anemonenträger“ geführt.

Tentakel geschützt, während der ständige Ortswechsel für die Seeanemonen von Vorteil ist, da sie als Kommensale die Nahrungsabfälle des Krebses nutzen. Einige Arten nehmen „ihre Anemone“ sogar mit, wenn sie in eine neue Schale umziehen. Die Folgenutzung eines Schneckenhauses durch Einsiedlerkrebse wird als Metabiose bezeichnet. Der Begriff beschreibt ein stark einseitiges Abhängigkeitsverhältnis einer Art von der Tätigkeit einer anderen [10, 11]. Boxer- oder auch Pomponkrabben (*Lybia* sp.) tragen in den Scheren kleine Seeanemonen (*Triactis* sp.). Diese werden von den Krabben zur Verteidigung geschwenkt und zum Nahrungserwerb eingesetzt, während die Seeanemonen von einer gesteigerten Nähr- und Sauerstoffversorgung profitieren. Ein weiterer für die Seeanemonen positiver Nebeneffekt könnte das verringerte Risiko einer Siedimentbedeckung darstellen. Für die Krabben ist das Zusammenleben obligat. Kommt ihnen eine Seeanemone abhanden, stehlen sie einen Ersatz von Artgenossen oder teilen die verbliebene Seeanemone in zwei [12].

Synökie bezeichnet die Nutzung einer Wohnstätte eines anderen Lebewesens bei dessen Anwesenheit. Synökie und Kommensalismus können hierbei verbunden sein. Der auch im Mittelmeer heimische Ringelwurm *Neanthes fucata* lebt beispielsweise gemeinsam mit Einsiedlerkrebsen in deren Schneckenhaus. Frisst der Einsiedlerkrebs, geben die Erschütterun-

gen und chemischen Reize dem Wurm das Signal hervorzukommen und die Nahrungsreste seines Wirtes zu nutzen [11]. Bei paraökischen Beziehungen leben Tiere in enger Nachbarschaft, wobei einer der beiden Partner Schutz oder Nahrung erhält. So leben beispielsweise neben verschiedenen Garnelen (z. B. *Stegopontonia* sp.) auch juvenile Kardinalbarsche (*Siphamia* sp.), Schnepfenmesserfische (*Aeoliscus* sp.) oder Schildbäuche (*Diademichthys* sp.) zwischen Seeigelstacheln. Eine Bänderung und dunkle Körperfärbung wirkt hierbei zusätzlich gestaltsauflösend (Abbildung 6). Man spricht hierbei von einem somatolytischen Effekt. Paraökische Lebensgemeinschaften gehen bisweilen in echte Symbiosen über. Kardinalbarsche ernähren sich zwischen Stacheln geschützt von Plankton. Sie putzen jedoch auch die Körperoberfläche ihrer Seeigelwirte, die dabei ihre Stacheln pyramidenförmig zusammenfallen. Für dieses Zusammenspiel ist zumindest eine einfache Form der Kommunikation erforderlich [10, 11].

Man spricht von Entökie, wenn sich Tiere dauerhaft in Körperhöhlen anderer Arten „einmieten“. Sie leben dann meist mit einer Verbindung nach außen im Körper des anderen Organismus, ohne dabei zu parasitieren. Einige Fische und Garnelen bewohnen beispielsweise Seeanemonen (Actiniaria), Seescheiden (Ascidiacea) und Seegurken (Holothuroidea). Letztere besitzen paarig ausgebildete Wasserlungen, die Nadelfische (Carapidae) ideale Lebensbedingungen bieten. Diese auch als Eingeweidefische bezeichneten Tiere haben ein spitz zulaufendes Körperende ohne Schwanzflosse, zurückgebildete Brustflossen und eine schuppenlose Haut. Zudem ist die Afteröffnung der Fische so weit nach vorn verlagert, dass die Tiere zur Ausscheidung ihren Wirt nicht verlassen müssen. Während einige Nadelfischarten ihren Wirt zur Nahrungssuche verlassen, ist *Carapus* sp. vollständig zur

endoparasitären Lebensweise übergegangen. Seine Larven durchbohren die Wand der Wasserlunge und siedeln in die Leibeshöhle über, wo sie sich von den Geschlechtsdrüsen ihres Wirtes ernähren [2, 3, 13].



**ABB. 6** Paraökie beim juvenilen Schnepfenmesserfisch (*Aeoliscus punctulatus*). Die Jungtiere wachsen geschützt zwischen Seeigelstacheln oder Seegrassblättern heran. Körperfärbung und Bänderung haben einen gestaltsauflösenden, somatolytischen Effekt.

### Einteilung symbiotischer Beziehungen

Verschiedene Kriterien wie die räumliche Beziehung der beiden Symbiosepartner, die Dauer der Beziehung, der Grad der wechselseitigen Abhängigkeit, die Produkte der Symbiose oder die Art des erzielten Nutzens sowie die Spezifität werden zur Unterscheidung symbiotischer Beziehungen herangezogen. Bei Ektosymbiosen bleiben die Partner körperlich getrennt, während bei Endosymbiosen einer der beiden in den Körper des ande-

ren aufgenommen wird. Bei Endocytobiosen, wie beispielsweise einigen Leuchtbakterien, leben die Symbionten sogar intrazellulär im anderen Organismus. Unter Biolumineszenz versteht man die aktive Erzeugung von Licht durch Organismen. Sie kann auf der Aktivität körpereigener Zellen beruhen (primäres Leuchten) oder von symbiotischen Bakterien erzeugt werden (sekundäres Leuchten). Leuchterscheinungen treten bei verschiedensten marinen Organismen auf. Feuerwalzen (Pyrosomida), Leuchtquallen (Scyphozoa) oder die Leuchtorgane von Tintenfischen (Cephalopoda) und Tiefseanglerfischen (Ceratoidae) sind für ihre Biolumineszenz weithin bekannt. Aber auch einige Knochenfische zeigen dieses Phänomen. Der nachtaktive Korallenfisch *Photoblepharon steinitzi* wird umgangssprachlich als Leucht- oder Blitzlichtfisch bezeichnet. Er besitzt paarige Leuchtorgane, die direkt unter den Augen liegen. Darin enthalten sind obligat symbiotische Bakterien, die außerhalb des Leuchtorgans nicht überleben können. Diese Bakterien lumineszieren fortlaufend, jedoch können die Fische den Lichtfluss durch ein lichtundurchlässiges Lid regulieren. Die Leuchtorgane locken Beute an und dienen als „Scheinwerfer“. Ein plötzliches Aufblinken schreckt Fressfeinde ab, und Leuchtsignale kommen bei der innerartlichen Kommunikation und beim Paarungsverhalten zum Einsatz. Die Bakterien wiederum erhalten Nahrung und Schutz von ihrem Wirt [3, 7, 13].

Die Dauer der symbiotischen Beziehungen kann persistent (in allen Stadien des Lebenszyklus) oder intermittierend (in Intervallen), der Grad der wechselseitigen Abhängigkeit sehr unterschiedlich sein. Die Allianz oder Proto Kooperation ist die lockerste Form der Symbiose. Beide Arten ziehen einen Vorteil aus dem Zusammenleben, sind aber ohne einander gleichermaßen lebensfähig. Im Korallenriff lassen sich unzählige flüchtige Partnerschaften und kurzzeitige Gemeinschaften beobachten. Hierzu gehören Fress- und Jagdgemeinschaften (Abbildung 7) wie beispielsweise zwischen Kraken (Octopodidae) oder Muränen (Muraenidae) und Zackenbarschen (Epinephelidae), Meerbarben (Mullidae) und Lippfischen (Labridae) etc. Hierbei werden Farbwechsel und interspezifische Kommunikation beobachtet. Einen einseitigen Nutzen hingegen haben beispielsweise Flötenfische (*Fistularia sp.*), die Friedfische nutzen, um sich ihren Beutetieren unbemerkt zu nähern [3, 11, 13].

Neben regelmäßigen, aber nicht lebensnotwendigen Beziehungen fakultativer Symbionten gibt es auch obligatorische Eusymbiosen, d. h. die Partner sind alleine nicht lebensfähig. Die Spezifität ist vom koevolutiven Grad der gegenseitigen Anpassung abhängig und reicht von unspezifisch bis zu hoch wirtsspezifisch. Daraus lassen sich auch Schlüsse über das Alter der Symbiose ziehen [9]. Nach der Art des erzielten Nutzens werden beispielsweise Verbreitungssymbiosen, Fortpflanzungssymbiosen, Verdauungssymbiosen oder auch Symbiosen zum Schutz vor Feinden unterschieden. Durch Symbiosen können vorteilhafte

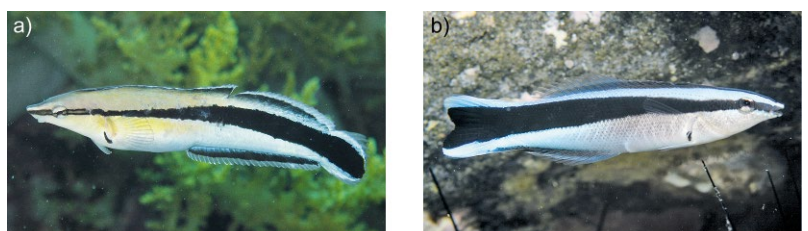


**ABB. 7** Muränen (*Gymnothorax griseus*) und Zackenbarsche (*Variola louti*) gehen temporäre Jagdgemeinschaften ein. Farbwechsel und spezifische Verhaltensweisen dienen der zwischenartlichen Kommunikation.

Eigenschaften der Partner kombiniert werden, und es ist möglich, dass sich neue Strukturen und Organe bilden, wie es beispielsweise bei Korallen der Fall ist. Dies zeigt, dass symbiotische Beziehungen eine treibende Kraft für die Neubesetzung von Nischen und die Evolution neuer Baupläne darstellen [10].

### Putzerstationen – Barbierstuben im Korallenriff

Bemerkenswerte zwischenartliche Partnerschaften werden bei sogenannten Putzsymbiosen beobachtet. Hierbei werden Außenparasiten und Hautreste von der Körperoberfläche eines Tieres durch ein anderes entfernt. Viele Fische und Garnelen arbeiten als „Putzer“. Die „Kunden“ werden vor Haut- und Flossenschäden geschützt, während die „Barbiere“ eine sichere Nahrungsgrundlage haben. Im Korallenriff finden sich viele gelegentliche und obligate Putzer, von welchen der Putzerlippfisch (*Labroides dimidiatus*) sicherlich einer der bekanntesten ist. Der Putzerlippfisch lebt standorttreu, damit seine Kunden seine „Station“ problemlos wiederfinden können. Die Kommunikation zwischen Putzern und ihren Kunden funktioniert perfekt: Eine deutliche Signalfärbung des Putzerlippfisches mit charakteristischen Längsstreifen erleichtert die Wieder-



**ABB. 8** Der falsche Putzerfisch *Aspidotus taeniatus* (a) imitiert den echten Putzer *Labroides dimidiatus* (b) in Gestalt, Färbung und Verhalten.



**ABB. 9** Anemonenfische (*Amphiprion bicinctus*) verteidigen ihre Wirtsanemone (*Stichodactyla haddoni*) gegen Fressfeinde, sie selbst sind durch die nesselnden Tentakel vor Fressfeinden geschützt. Auch juvenile Riffbarsche (*Dascyllus trimaculatus*) und verschiedene Garnelen leben mit Seeanemonen assoziiert.



**ABB. 10** Partnergrundeln leben mit Pistolenkrebse (*Alpheus* sp.) in Symbiose. Der Krebs baut an der gemeinsamen Wohnröhre, während die Grundel eine Wächterrolle übernimmt. Abb. a zeigt die Partnergrundel *Lotilia graciliosa*, Abb. b die Grundel *Cryptocentrus cryptocentrus*, jeweils im Antennenkontakt mit ihrem Partnerkrebs.

erkennung. Mit einer charakteristisch wippenden, nahezu tanzenden Schwimmweise wirbt der Putzer um seine Kunden, während diese durch ihre Körperhaltung ihre Putzbereitschaft signalisieren. Versuche im Riff haben die ökologische Bedeutung dieser Putzersymbiose belegt: Werden die Putzerfische weggefangen, werden die verbliebenen Fische zunehmend von Hautkrankheiten geplagt und wandern schließlich in andere Gebiete ab [10]. Die Bedeutung der Putzerstationen wird durch einen weiteren Spezialisten unterstrichen. So wird der Putzerlippfisch (Abbildung 8b) vom Säbelzahnschleimfisch (*Aspidontus taeniatus*, Abbildung 8a) perfekt nachgeahmt. Der falsche Putzer nutzt das aufgebaute „Vertrauensverhältnis“, indem er sich als Lippfisch getarnt an die wartenden Fische heranmacht und ihnen Stücke aus Haut und Flossen reißt. *Aspidontus taeniatus* gehört zu den Schleimfischen (Blenniidae), sieht seinem Vorbild jedoch täuschend ähnlich und ahmt auch sein Verhalten nach. Dieses „Wolf im Schafspelz“-Phänomen wird auch als Schutztracht oder Mimikry bezeichnet [10].

## Wohngemeinschaften mit Extras

Die wohl bekannteste Schutz- und Wohngemeinschaft im Riff ist die Symbiose von Anemonenfischen (Pomacentridae) und Seeanemonen. Die kleinen Fische leben zwischen den mit Nesselzellen bewehrten Fangarmen der Aktinien und genießen dadurch einen hervorragenden Schutz vor Fressfeinden. Anemonenfische werden grundsätzlich wie jeder andere Fisch „genesselt“, tarnen sich jedoch chemisch: Damit sich nicht bei jeder Berührung der Tentakeln die Nesselkapseln entladen, enthält der Schleim der Aktinien einen spezifischen Hemmstoff. Anemonenfische übernehmen diesen, indem sie sich selbst mit dem Schleim überziehen. Möglich wird dies durch ein typisches „Tentakelkuscheln“, bei dem sich die Fische sozusagen „imprägnieren“ und dadurch Teil der Anemonenoberfläche werden. Dieselbe Strategie nutzen übrigens auch juvenile Riffbarsche der Art *Dascyllus trimaculatus* sowie andere Fische und verschiedene Garnelen (Abbildung 9) [9, 10]. Wie auch verwandte Korallenbarsche stehen Anemonenfische im freien Wasser über ihrem Fluchttort und schnappen nach vorbeitreibendem Zooplankton. Gegenüber anderen Riffbewohnern zeigen sie ein auffallend starkes Revierverhalten. Bei der Verteidigung ihrer Seeanemone attackieren sie auch deutlich größere Fische und sogar Taucher. Verschiedene Falterfische (Chaetodontidae) ernähren sich von Korallenpolypen und Seeanemontentakeln. Aktinien mit Anemonenfischen sind vor diesen Fressfeinden effektiv geschützt. Anemonenfische säubern zudem die Oberfläche ihres Wirtes [10].

Eine schützende Wohngemeinschaft bilden auch höhlengrabende Knall- oder Pistolenkrebse (Alpheidae) mit verschiedenen Grundeln (v. a. der Gattungen *Cryptocentrus* und *Lotilia*). Die Krebse schaffen kontinuierlich Sand aus den Wohnhängen, die sie mit ihrer Wächter- oder Partnergrundel gemeinsam bewohnen, wobei sie diesen gleichzeitig nach Nahrung durchkämmen. Dabei sind sie einer ständigen Gefahr durch Fressfeinde ausgesetzt. Die Symbiosepartner haben ein taktiles Kommunikationssystem entwickelt: Über ihre Antennen stehen die Krebse mit ihrer Partnergrundel in ständigem Kontakt (Abbildung 10). Im Gegenzug werden sie durch Flossenschläge bzw. durch die Flucht der Grundel in den gemeinschaftlichen Bau vor nahenden Fressfeinden gewarnt. Wenn die Umgebung sicher ist, verharren die Grundeln als stille Wächter am Tunnelausgang. So können sich die Krebse auf ihre Grabtätigkeit und Nahrungssuche konzentrieren, ohne ständig nach Fressfeinden Ausschau zu halten. Grundeln bewohnen schlupfwinkelreiche Felsböden, einige graben auch im Bodengrund. Partnergrundeln profitieren von der gemeinschaftlichen Nutzung der Wohnröhren auf deckungsarmen Sandböden. Beide Partner verbringen die Nacht unterirdisch in Sicherheit. Die Krebse verschließen bei Sonnenuntergang die Eingänge und verteidigen die Wohnröhren und gleichzeitig ihre Partnergrundeln gegen eindringende Räuber wie beispielsweise Fangschreckenkrebe (Stomatopoda) [3, 9, 10, 14].

## GLOSSAR

**Coral Bleaching:** Unter (Licht- und Hitze-)Stress stoßen Korallen ihre endosymbiontischen Zooxanthellen aus. Da dann das weiße Kalkskelett sichtbar wird, spricht man bei diesem Phänomen von Korallenbleiche.

**Hermatypische Steinkorallen:** Scheiden ein Kalkskelett ab und leben in Symbiose mit Zooxanthellen, wodurch u. a. ihr Kalkbildungsvermögen gesteigert wird. Da ihr Kalkskelett die Grundlage für den Aufbau von Korallenriffen darstellt, werden sie auch als riffbildende Steinkorallen bezeichnet.

**Parasitismus:** Eine Form der Antibiose, bei der ein Parasit oder Schmarotzer auf Kosten des Wirtes einen einseitigen Nutzen hat.

**Probiose:** Interaktion zweier artfremder Organismen, bei der einer der beiden Partner einen Vorteil aus dem Zusammenleben zieht, während der andere weder einen Schaden noch Nutzen davonträgt.

**Symbiose:** Bezeichnet im engeren Sinne das Zusammenleben von zwei Arten zum gegenseitigen Vorteil (Mutualismus), im weiteren Sinne jegliche Vergesellschaftung zweier artfremder Organismen.

**Zooxanthellen:** Einzellige Algen, die innerhalb der Zellen verschiedener Wirte leben und mit diesen einen hoch spezialisierten Stoffwechsel betreiben. Sie spielen als Symbiosepartner von riffbildenden, hermatypischen Steinkorallen, eine entscheidende Rolle.

## Zusammenfassung

Der Begriff Symbiose bezeichnet grundsätzlich eine Vergesellschaftung artfremder Organismen und im engeren Sinne das Zusammenleben von zwei Arten zum gegenseitigen Vorteil (Mutualismus). Eine symbiotische Partnerschaft zwischen einzelligen Algen und Korallen ist Grundlage für die Ausbildung von Korallenriffen. Diese gehören zu den artenreichsten und am dichtest besiedelten Lebensräumen der Welt. Der vorherrschende Konkurrenzkampf hat eine Vielzahl an Überlebensstrategien und Formen des Zusammenlebens hervorgebracht.

## Summary

## Symbiotic relationships in Coral Reefs

The term symbiosis basically refers to any interaction of two different organisms. In a narrower sense, it is defined as a relationship in which both partners benefit (mutualism). The foundation of coral reefs is a symbiotic relationship between single-celled algae and corals. Coral Reefs are among the most diverse and densely populated ecosystems in the world. The constant competitive fight between species has led to a broad variety of survival strategies and different types of symbiotic relationships.

## Schlagworte

Symbiose, Parasitismus, Probiose, Korallenriff.

## Danksagung

Ein Dank gebührt Christian von Mach, Diplombiologe, Unterwasserfotograf und Leiter des Red Sea Environmental Centre in Dahab ([www.redsea-ec.org](http://www.redsea-ec.org)) für die großzügige Bereitstellung von Bildmaterial.

## Literatur

- [1] D. Matthes (1998). Tierische Parasiten: Biologie und Ökologie, Vieweg, Braunschweig.
- [2] M. Schaefer (2012). Wörterbuch der Ökologie, 5. Auflage, Spektrum, Akademischer Verlag, Heidelberg.
- [3] H. Debelius (2002). Riff-Führer Rotes Meer, 3. Auflage, IKAN-Unterwasserarchiv, Frankfurt.
- [4] M. Offenberger (2014). Symbiose: warum Bündnisse fürs Leben in der Natur so erfolgreich sind, Deutscher Taschenbuch-Verlag, München.
- [5] H. Schuhmacher (1991). Korallenriffe: Verbreitung, Tierwelt, Ökologie, 4. Auflage, BLV, München.
- [6] P. Marshall, H. Schuttenberg (2006). A Reef Manager's Guide to Coral Bleaching, Great Barrier Reef Marine Park Authority.
- [7] R. Wehner, W. Gehring (2013). Zoologie, 25. Auflage, Thieme, Stuttgart.
- [8] C. Harvell, E. Jordán-Dahlgreen et al. (2007). Coral Disease, Environmental Drivers, and the Balance between Coral and Microbial Associates. *Oceanography* 2, 172–195.
- [9] P. Nahke (1998). Tricks im Riff: Tarnung, Täuschung und Partnerschaften, Jahr-Verlag, Hamburg.
- [10] I. Eibl-Eibesfeldt (1999). Grundriß der vergleichenden Verhaltensforschung. Piper, München.
- [11] R. Pies-Schulz-Hofen (2004). Die Tierpflegerausbildung, 3. Auflage, Parey, Stuttgart.
- [12] I. Karplus et al. (1998). The intraspecific fighting behavior of the Hawaiian boxer crab, *Lybia edmondsoni* – fighting with dangerous weapons, *Symbiosis* 24, 287–302.
- [13] R. Kuiter, H. Debelius (2006). World Atlas of Marine Fishes, IKAN-Unterwasserarchiv, Frankfurt.
- [14] K. Stiefel (2018). Die Grundel und ihr Krebs: Eine außergewöhnliche Symbiose in tropischen Meeren, *Biologie in unserer Zeit* 48(6), 382–386.

## Die Autorin



Miriam Molenkamp, geb. 1982, promovierte 2011 an der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck. Ihre zoologische Doktorarbeit beschäftigte sich mit Verhaltensstudien von Lippfischen, insbesondere Mimikryphänomenen unter Jungfischen und riff-ökologischen Aspekten. Schwerpunkt ihrer Forschung ist vor allem das Verhalten von Korallenfischen im Roten Meer. Derzeit arbeitet sie als freiberufliche Biologin und organisiert als Geschäftsführerin von „Tauchreisen & Meer“ Tauchreisen.

## Korrespondenz:

Dr. Miriam Molenkamp  
Weinhardtstraße 9/11  
A-6020 Innsbruck  
E-Mail: [miriam.molenkamp@gmail.com](mailto:miriam.molenkamp@gmail.com)