

Mare nostrum – mare mutatur: die Biodiversität des Mittelmeers im Wandel der Zeiten und unter dem Einfluss des Menschen

MATHIAS HAFNER & RÜDIGER RUDOLF

Institut für Medizintechnologie
Universität Heidelberg und Hochschule Mannheim

Zusammenfassung

Ökosysteme wie das Mittelmeer sind keine statischen Gebilde. Sie haben eine Historie. Wir wollen die Geschichte rekonstruieren und dabei der Frage nachgehen, woher die Meeresorganismen ursprünglich stammen, die es heute bevölkern. Sie selbst und somit auch ihre Lebensgemeinschaften entwickelten sich keineswegs glatt und schon gar nicht zielgerichtet, wie man es aus Sicht der Evolution als stetes Wechselspiel von Veränderung und Auslese annehmen könnte. Immer wieder wanderten neue Arten in das Mittelmeer ein, während andere ausstarben. Vor rund 6 Mio. Jahren verwandelte eine nahezu ungläubliche Naturkatastrophe große Teile des Mittelmeeres binnen weniger hundert Jahre in eine öde Salzwüste. Diese „Salinitätskrise“ war der dramatische Auftakt für eine umfassende Veränderung der gesamten mediterranen Fauna und Flora. Nachdem sie überstanden war, ergriffen Einwanderer aus dem Atlantik die Chance, ins Rampenlicht der Evolution zu treten. Viele von ihnen haben sich erfolgreich etabliert und sogar selbst neue Arten hervorgebracht. Heute müssen sie sich wieder existenziellen Herausforderungen stellen: neben den bekannten Bedrohungen durch Überfischung und Küstenbebauung, kommen die mögliche Konfrontation mit Einwanderern, vor allem aus dem Roten Meer, und die Folgen der Klimaerwärmung dazu. Ein Weg aus dieser existenziellen Krise des Mittelmeeres könnte die Errichtung eines engmaschigen Netzes von Meeresschutzgebieten sein. Sie würden nachweislich nicht nur die Biodiversität erhalten, sondern langfristig sogar die Fangträge erhöhen. Es ist an den Entscheidungsträgern, diese Sachverhalte in konkrete Aktionen umzusetzen und damit dem *mare nostrum* eine Zukunft zu geben, die seiner angestammten Bedeutung als einzigartiger Kulturraum und Sehnsuchtsort gerecht wird.

4.1 Einleitung

Seit ihren Ursprüngen zu Zeiten der tropisch-warmen Tethys bis heute wurde die mediterrane Biota nach Phasen scheinbarer Stabilität etliche Male mit Perioden des raschen Wandels konfrontiert. In solchen Abschnitten gelang es gebietsfremden Zuwanderern sich erfolgreich zu etablieren, während alteingesessene Arten aufgrund veränderter Umweltbedingungen ihre Lebensgrundlage verloren. Vor dem Anthropozän waren es vor allem klimatische und tektonische Störungen, die in Verbindung mit teils massiven Absenkungen des Meeresspiegels das Leben im Meer unter Druck setzten und es mehrfach bis an den Rand der völligen Auslöschung brachten. Die Messinische Salinitätskrise vor ca. 5,6 Mio. Jahren ist das wohl eindrucksvollste Beispiel dafür. Für mehrere hunderttausend Jahre hinterließ sie zwischen dem Silt bei Gibraltar und der Levantinischen Küste nicht mehr als eine Reihe flacher, hypersaliner Tümpel. Seit gut 3.000 Jahren ist es jedoch nicht mehr die Natur allein, die auf das Mittelmeer und seine Küstenregionen einwirkt. Spätestens mit dem Beginn der Bronzezeit setzte eine Entwicklung anthropogener Einflüsse ein, die in der Industrialisierung der vergangenen Jahrzehnte gipfelte und auf komplexe Weise eine nunmehr ernsthafte Bedrohung für dieses einzigartige Meer darstellt. Keine 2.000 Jahre hat es gedauert, bis fast alle Mittelmeerküsten ihre Wälder und mit ihnen die ursprünglichen Pflanzen- und Tiergemeinschaften verloren hatten. Es ist kaum mehr vorstellbar, dass Pharaonen in den Wäldern Libanons und Syriens Elefanten jagten oder die Truppen des Xerxes sich in Griechenland vor Löwen fürchten mussten.

Bedeutenden griechischen und römischen Autoren wie Aristoteles, Plinius d. Ä. oder Seneca entnehmen wir bereits die große Sorge um die überbordende Ausbeutung des Mittelmeeres und seiner Küsten, die beängstigend aktuell wirken. Von Aristoteles ist überliefert, dass er sich bitterlich über die lokale Vernichtung der Muschelbänke in den Buchten von Lesbos beklagte. Seneca schrieb an seine Schwester ¹: „[21] Wo auch immer Adern warmen Wassers sprudeln werden, werden neue Herbergen des Luxus erstellt. Wo auch immer sich eine Küste in irgendeine Bucht krümmen wird, werdet ihr sofort Fundamente hinwerfen, und, nicht mit dem Bloßen zufrieden, wenn nicht ihr dieses durch Menschenhand gemacht haben werdet, werdet das Meer hineinleiten.“ Er fand wenig Gehör. Bis heute sind Italien klägliche sechs Küstenstreifen geblieben, die über eine Strecke von 20 km frei von Zement und Asphalt sind. Bis zum Ende des 19. Jahrhunderts hatte zumindest der Wasserkörper des Mittelmeers alle Eingriffe des Menschen – selbst die der Römer – überstanden. Es war zwar nicht mehr das Meer des Philosophen Poseidonios, der als erster seine Tiefe mit einem Lot vermaß, aber es lebte. Leider haben die letzten hundert Jahre unter der Wasseroberfläche mehr verändert als die 3.000 Jahre davor. Für den Ökologen J.S. Gray (1997) ist die Zerstörung der Habitate durch Fragmentierung und Urbanisierung die ernsthafteste Bedrohung der marinen Biodiversität. Von 1960 bis 1995 ging in Europa jeden Tag etwa 1 km Küste in Folge des Ausbaus der Infrastruk-

¹ Seneca, Epistulae morales ad Lucilium 89.21–22, 64 n. Chr. [21] '...Ubicumque scatebunt aquarum calentium venae, ibi nova deversoria luxuriae excitabuntur. Ubicumque in aliquem sinum litus curvabitur, vos protinus fundamenta iacietis, nec contenti solo nisi quod manu feceritis, mare agetis introrsus...'

tur verloren. Auf der europäischen Seite des Mittelmeeres sind 65 % der Küstenstreifen bebaut. Allein die Länge von Hafenanlagen beträgt über 1.500 km. Mehr als 85 % der 428 Mio. Menschen leben in Küstennähe in ca. 4.000 Städten mit >10.000 Einwohnern. Jedes Jahr wächst die Bevölkerung transient um weitere 220 Mio. Urlauber. Ihre Zahl entspricht einem Drittel der weltweiten Tourismusaktivitäten. Gleichwohl existieren subtiler agierende Triebkräfte des Wandels, deren Folgen verzögert sichtbar werden. Sie haben nicht die sofortige Zerstörung der Habitate zur Folge, aber sie führen zur steten Erosion der biologischen Vielfalt auf allen relevanten Ökosystemebenen. Zu diesen Treibern der Veränderung ökologischer Räderwerke zählen besonders die schonungslose Überfischung, die Belastung des Wassers mit eutrophierenden Schad- und Schwebstoffen, die globale Erwärmung und die Invasion gebietsfremder Arten (CIESM, 2009). Weil diese Bedrohungen auf unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Skalen interagieren und positive Rückkopplungen erzeugen, wirken sie beschleunigend auf die gegenwärtigen Veränderungen der mediterranen Biodiversität. Sie vermindern die Resilienz und Kapazität der marinen Biota zur Erholung, sie verwischen regionale Unterschiede und führen insgesamt zu einer großflächigen biologischen Homogenisierung.

Dem Verlust von „Biomasse“ durch Ausbeutung der natürlichen Ressourcen, den Folgen der Erwärmung sowie der durch den Menschen erleichterten Ausbreitung tropischer Arten aus dem Roten Meer wird in diesem Beitrag besondere Bedeutung zugemessen. Vielfältige Maßnahmen für den Erhalt und die Stabilisierung der weltweit einzigartigen mediterranen Lebensgemeinschaften und Habitate sind dringend notwendig und denkbar. Die Einrichtung eines Netzwerks aus funktionell verzahnten Meeresschutzgebieten ist eine davon. Erste Bestandsaufnahmen in solchen Oasen geben Anlass zur Hoffnung. Sie scheinen geeignet, die verloren gegangene biologische Vielfalt zu restaurieren. Indem sie essentielle Ökosystemleistungen erbringen, werden Schutzgebiete zu einer der wichtigsten Komponenten im Bemühen, das verbliebene Erbe des Mittelmeers zu bewahren und die Zukunft seiner Menschen zu sichern. Das gelingt freilich nur, wenn die politisch Verantwortlichen parallel zum vielfach formulierten Ruf nach dem Ausbau der Meeresschutzgebiete ihre Instrumente nutzen und endlich Taten folgen lassen. Auch diese Facette der Entwicklung effizienter Strategien und Management-Richtlinien für die Einrichtung funktionell vernetzter Meeresschutzgebiete soll kurz skizziert werden.

4.2 „Biodiversität“ ist mehr als „Artenvielfalt“

Das Europäische Mittelmeer, das *mare nostrum*, ist das größte (2.969.000 km²) und tiefste (i. D. 1.460 m, max. 5.267 m) zwischen Kontinenten liegende Nebenmeer der Welt (lat. *mare medi terraneum*, Abb. 1). Weite Strecken seiner vielfach gewundenen 46.000 km langen Küsten bestehen aus schroffem Felsgestein. Unter Wasser setzt sich die Landschaft in Form zahlloser Spalten und Höhlen fort. Sie sind Heimat einer ungewöhnlich großen Zahl von ca. 70 ökologisch unterscheidbaren Lebensgemeinschaften (Biozönosen), wie z. B. photophile Seegrasswiesen und Algenwälder oder sciaphile Koralligen- und Maerl-Bänke. Nach dem Ende der Messinischen Salinitätskrise war die Region wieder einmal wichtiger Knotenpunkt für den Austausch von Faunen- und Florenelementen unterschiedlichster

Provenienz. Wechselnde Klimaverhältnisse haben mehrere Kolonisierungswellen ausgelöst und eine einzigartige Vergesellschaftung von ursprünglich atlantischen und tropischen Elementen bewirkt. Tatsächlich gilt das Mittelmeer als ein „Hotspot der Biodiversität“. Obwohl es nur 0,32 % des Volumens und kaum 0,80 % der Meeresoberfläche aller Ozeane repräsentiert, zählt eine aktuelle Inventur ca. 17.000 Arten (Coll et al. 2010). Das entspricht 4–18 % aller marinen Spezies. Auf der Negativseite ist zu verzeichnen, dass bereits 20 % dieser Arten teils dramatisch dezimiert und in ihrer Existenz bedroht sind. Davon betroffen sind nicht nur charismatische Spezies wie die Mönchsrobbe, der Weiße Hai, die Karettschildkröte, der Blauflossen-Thun oder Delfine. Auch Biokonstrukteure der Biozöosen, wie Seegräser, Algen, Korallen, Schwämme oder Moostierchen, die in der öffentlichen Wahrnehmung wenig exponiert sind und ohne Lobby auskommen müssen, befinden sich in einem Zustand der Degradation.

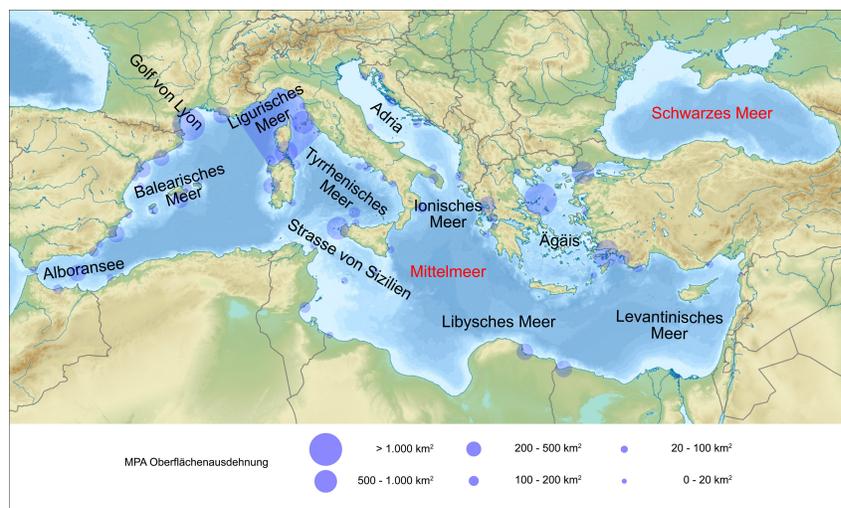


Abbildung 1: Das Mittelmeer und seine Marine Protected Areas (MPAs). Physische Karte (aus: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Relief_Map_of_Mediterranean_Sea.png) mit Bezeichnungen der wichtigsten Teilbecken und der im Text genannten Zonen. Violett unterlegte Bereiche kennzeichnen eingerichtete MPAs (Stand 2012).

Als Schlagwort wird „Biodiversität“ häufig mit bloßer Artenvielfalt gleichgesetzt. Doch Biodiversität ist keine einfache Größe wie Temperatur oder Volumen. Sie ist eine dynamische und multidimensionale Entität, die in verschiedenen Einheiten und Skalierungen ermittelt werden kann. Neben dem „Wie viele“ stellen sich z. B. Fragen nach dem „Wo“ und „Wann“, also der räumlichen und zeitlichen Dynamik der relativen Häufigkeit von Lebewesen. Unter dem Aspekt des menschlichen Wohlergehens rückt zudem die Frage nach dem „Wofür“ in den Vordergrund. Dabei weitet sich allmählich der Blick vom Einzelorganismus hin zur Lebensgemeinschaft in ihrem Lebensraum. Biodiversität bedeutet somit neben der ästhetischen und kulturellen Erfahrung von Natur auch Nahrung, ökologische Stabilität und Rohstoffe z. B. für die Medizin. In dieser Breite umfasst Biodiversität alle Ebenen der biologischen Komplexität. Die genetische, physiologische und ökologische Vielfalt der Organismen äußert sich in einem bunten Strauß von Verhaltens-

und Ernährungsstrategien; kurz der Entfaltung zahlreicher evolutionärer „Ideen“. Zu den bekanntesten Diversitäts-Merkmalen zählen funktionelle Gilden, die verschiedenartigste Ernährungstypen, vom einzelligen Phytoplankton als Primärproduzenten über eine Schar unterschiedlich großer Primär- und Sekundärkonsumenten bis hin zum Hai als Spitzenprädatoren, über meist vier trophische Niveaustufen hinweg koppeln.

Biodiversität definiert sich zudem über die Vielgestaltigkeit der Lebensräume und Lebensgemeinschaften, d. h. der Anzahl von Lebensumständen, die ein reich gegliederter Mini-Ozean wie das Mittelmeer zulässt. Jeder Taucher erkennt auf Anhieb, je strukturierter Lebensräume sind, umso höher ist die Zahl ökologischer Funktionsträger. Dies könnte auch erklären, warum sich das Mittelmeer als ein hochaktives Zentrum für die Entstehung endemischer Arten erweist. Auf der Basis von ca. 4.000 untersuchten Spezies beträgt ihr Anteil 20–30 % (Coll et al. 2010). Diese ungewöhnlich hohe Rate hat vermutlich ihre Ursachen in den vielen teils isolierten Becken, Subregionen und der irregulären Küstentopographie an sich (Abb. 1). Sie lassen zahlreiche Mikrohabitate entstehen, in denen sich neue genetische Varianten herausbilden können. Begünstigt wird der Prozess durch die diversen Richtungen und Stärken verschiedener Meeresströmungen und Windsysteme. Sie tragen durch Salinitäts- oder Temperatursprünge weiter dazu bei, differenzierte ökologische Nischen zu erzeugen. Beispielhaft dafür sind „Ökotypen“ wie die des Nesseltiers *Anemonia sulcata*. Typus I lebt an tieferen Standorten, ist groß und pflanzt sich geschlechtlich fort; Typus II ist klein, bevorzugt seichte sonnige Stellen und vermehrt sich ungeschlechtlich. Es ist gut vorstellbar, dass diese infraspezifische Differenzierung einer Art bereits erste Anzeichen einer Mikroevolution sind, die irgendwann zur Speziation führt. Hinzu kommt die einzigartige Ost-West-Orientierung des Mittelmeers, in Folge derer Organismen klimatischen Veränderungen nicht einfach durch ein Ausweichen nach Norden (bei Erwärmung) oder Süden (bei Abkühlung) begegnen können. Arten im Atlantik oder Pazifik haben es da leichter, entsprechende Refugien aufzuspüren.

Diese geographischen Besonderheiten in Verbindung mit klimatischen Schwankungen haben das Mittelmeer seit der Messinischen Salinitätskrise zu einer regelrechten „Biodiversitäts-Pumpe“ gemacht. Selbst hochmobile Tiere wie Finnwale (*Balaenoptera physalis*), die es gewohnt sind, große Wanderungen zu unternehmen, bilden im Mittelmeer eine eigene Population. Bisher wurde angenommen, dass sie in den Tropen überwintern, im Frühjahr über die Straße von Gibraltar einwandern und den Sommer im Balearen Becken und der Ligurischen See verbringen. Entgegen der bisherigen Überzeugung findet diese Wanderung aber nicht statt. Molekulargenetische Untersuchungen von Tieren aus dem Mittelmeer und dem Atlantik belegen, dass es sich dabei um zwei genetisch unterschiedliche Populationen handelt. Solche Erkenntnisse liefern nicht nur neue Einsichten in frühe Aufspaltungs- und Evolutionsszenarien. Sie können helfen, das Überleben der auf ca. 2.500 Tiere geschrumpften Mittelmeer-Population langfristig zu sichern. Dazu wird es notwendig sein, neben der „Pelagos“-Schutzzone (Pelagos-Sanctuary: 96.000 km², Abb. 1, <http://www.tethys.org/sanctuary.htm>) in der Ligurischen See weitere „Meeres-Oasen“ zu einzurichten, in denen keine Konkurrenz durch Fischerei besteht und die Tiere genügend Plankton finden, um sich Fettreserven für den Winter anzulegen. Die genannten Beispiele demonstrieren das hohe Entwicklungspotential der mediterranen Provinzen. Sieht man

von den Tropen ab, zeigen lediglich die Südküste Australiens (70 % der Algen sind endemisch) oder der Golf von Kalifornien eine vergleichbar hohe Biodiversität. Gleichwohl demonstriert das Beispiel der Braunalgen-Gattung *Cystoseira*, die mit 21 endemischen Arten im Mittelmeer vertreten ist, wie seit Jahren eine weitgehend unbeachtete allmähliche Reduktion der Vielfalt stattfindet. *Cystoseira* stellt höchste Ansprüche an die Wasserqualität, die vielerorts nicht mehr gewährleistet sind. Vor 50 Jahren noch war *Cystoseira* bis in 50 Metern Tiefe die dominante Gattung der Algenwälder des Küstenbiotops. Heute sind 7 der 21 *Cystoseira*-Arten aufgrund einer fatalen Kombination aus Abweidung durch explodierende Seeigelpopulationen, Habitatzerstörung, Zunahme von Schwebstoffen und anderen Verunreinigungen über weite Strecken lokal und ökologisch vernichtet (Abb. 2A–D) und mit ihnen die vielen hundert anderen Arten, denen sie Schutz und Lebensraum boten. Für die Rettung des Mittelmeers müssen auf viele drängende Fragen Antworten gefunden werden: Welche Auswirkungen hat es auf das ökologische System, wenn eine taxonomische Gruppe massiv dezimiert wird, so dass eine Trophie-Ebene ausfällt, während eine andere anwächst? Sind seltene Arten für die Funktion und Stabilität von Ökosystemen bedeutsam? Was passiert, wenn sie aus dem System der Lebensgemeinschaft verschwinden oder neue hinzugefügt werden? Und schließlich, was sind uns die inhärenten Werte der Biodiversität wert?

4.3 Ausverkauf des Mittelmeers

Die größte Bedrohung für das Ökosystem Mittelmeer geht von der schonungslos betriebenen Ausbeutung seiner natürlichen Ressourcen aus (Jackson et al. 2001, Colla et al. 2013). Noch vor 132 Jahren bekräftigte der Biologe Thomas H. Huxley, bekannt geworden als „Darwin’s Bulldogge“, in seiner vielbeachteten Eröffnungsansprache anlässlich der Fisheries Exhibition in London im Brustton tiefster Überzeugung „in relation to our present modes of fishing, a number of the most important sea fisheries ... are inexhaustible“. Das große Wettfischen war eröffnet. Wie viele andere, die in den 60–70iger Jahren groß wurden, staunten auch die Autoren über die heute pathetisch anmutenden ersten Unterwasserdokumentationen von Hans Hass (*Menschen unter Haien*, 1947) und Jacques-Yves Cousteau (*Le Monde du Silence*, 1956). Als die Pioniere mit selbstgebauten Atemgeräten in das Meer eintauchten, fanden sie eine scheinbar unberührte mediterrane Unterwasserwelt vor. Zwischen den Felslandschaften und um das Wrack der „Dalton“ vor Marseille filmte Cousteau unzählige 40 kg schwere Zackenbarsche; in der Ägäis konnte man Zeuge werden, wie Hans Hass binnen Sekunden über 3 m große Haie mit Köderfischen anlocken konnte. Angesichts dieser Abundanz großer Räuber hat es den Anschein, als hätten die Fleischfresser hier den Löwenanteil der gesamten Biomasse gestellt. Falls dies ein Zeichen mariner Ursprünglichkeit ist, wäre in einem gesunden Meer das konventionelle Bild der Nahrungspyramide auf den Kopf gestellt. Der Paläontologe Paul Colinvaux (1979) erklärte die Frage „Why big fierce animals are rare“ mit grundlegenden ökologischen Prinzipien: die meisten Tiere fressen Organismen, die kleiner und sehr viel zahlreicher sind als sie selbst. Da nur etwa zehn Prozent der Energie, die sie zu sich nehmen, in Körpermasse

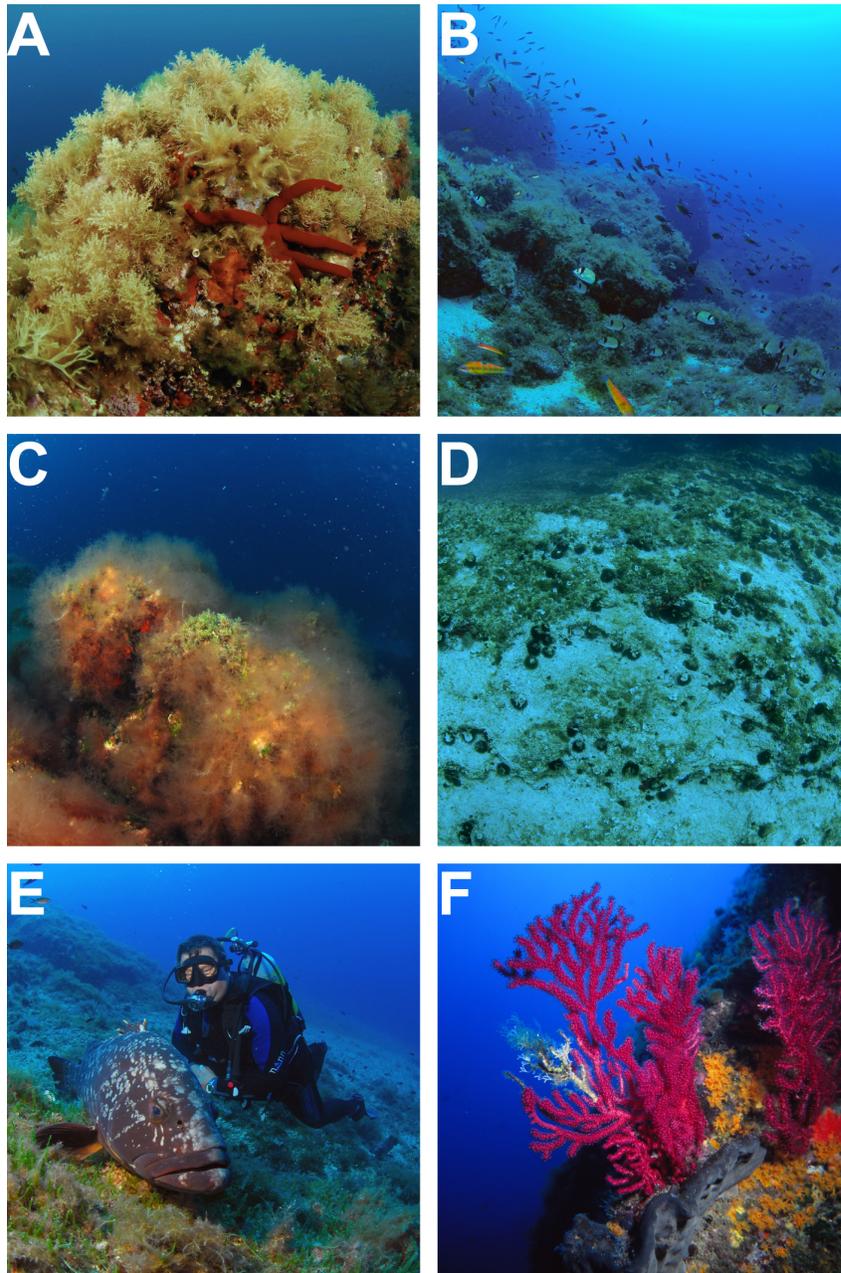


Abbildung 2: Biodiversität des Mittelmeeres und seine Bedrohung durch anthropogene Einflüsse. A–B: Braunalgen der Gattung *Cystoseira* bieten Lebensraum für unzählige Arten tierischer und pflanzlicher Mittelmeerbewohner und gehören hier zum typischen Bild eines gesunden, photophilen Hartsubstratbewuchses; C: Überwucherung durch die invasive Alge *Lophocladia lallemandii*; D: Kahlfraß durch den Seeigel *Arbacia lixula*. Beides führt zum Verlust von *Cystoseira*-Facies und ist ein Zeichen der ökologischen Degradation; E–F: Zu den typischen Vertretern einer intakten Mittelmeerfauna gehören der im Bestand bedrohte Braune Zackenbarsch (*Epinephelus marginatus*) und die Violette Fächerkoralle (*Paramuricea clavata*).

umgewandelt wird, müssen Mio. kleiner Insekten das Zehnfache ihres Körpergewichts an noch kleineren Insekten fressen. Sie werden schließlich von einer entsprechend geringeren Zahl von kleinen Vögeln vertilgt, die ihrerseits von noch weniger Raubvögeln gejagt werden. Noch stärker als von der Stückzahl werde, so Colinvaux, die Nahrungspyramide von der Masse bestimmt: „alle Insekten in einem Waldstück wiegen viele Male so viel wie die Gesamtzahl der Vögel und alle Singvögel zusammen wiegen weit mehr als die Gesamtheit aller Falken und Eulen.“ Kein Waldwanderer würde diese auf die Verhältnisse an Land bezogenen Schlussfolgerungen bestreiten. Warum sollten im Meer andere ökologische Prinzipien gelten als an Land?

Um diese Frage zu beantworten, muss man sich an einem der wenigen ursprünglichen Orte wie dem Kingman-Riff nordöstlich von Hawaii umsehen: Hier bestimmen große Räuber die Szenerie. Es gibt Heerscharen hungriger Haie und Barsche umgeben von Wolken kleiner Friedfische. Neue Untersuchungen bestätigen das scheinbare Paradoxon im Riff: Die Anzahl der kleinen Fische wird durch den Fressdruck der vielen Räuber erzeugt (Friedlander et al. 2002, Graham et al. 2005). Unter ihm pflanzen sie sich nicht nur schneller fort, sie wechseln bei Bedarf sogar das Geschlecht, um ihre immense Reproduktionsrate aufrechtzuerhalten. Die ausgeprägte dreidimensionale Riffstruktur mit unzähligen Spalten und Höhlen, in denen sich die kleinen Fische verstecken und vermehren können, sorgt für das ökologische Gleichgewicht. Aufgrund der ständigen Stoffumwandlung von sich permanent teilenden Kleinstlebewesen des Planktons in kleine Fische von kurzer Lebensdauer konzentriert sich der Großteil der aktuellen Biomasse in den langlebigen Prädatoren an der Spitze der Nahrungspyramide. Offenbar sind diese scheinbar umgekehrten Massenverhältnisse Zeichen einer intakten marinen Umwelt (Schmidt-Nielsen 1984, Britten et al. 2014). Bezogen auf das Mittelmeer scheint es also, dass wir die großen Räuber bereits aufgegessen haben und sie deshalb „selten“ sind. Cousteau selbst war es, der die Jagd auf die Spitzenprädatoren eröffnete: „Die riesigen Braunen Zackenbarsche um den Vorsteven der ‚Dalton‘ waren noch nie bejagt worden und hielten still für unsere Speere und Bolzen. Auf den Märkten der Provence waren sie unbekannt, bis die Brillentaucher hinuntergingen und sie aufspießten“. Später bedauerte der zum Naturschützer gewandelte Pionier die Folgen seiner Euphorie; er ahnte nicht, dass tausende professionelle Fischer sowie Hobbyjäger ihm folgen würden, um von Spanien bis zur Levante alles zu jagen, was ihnen vor die Harpune kam - frei nach dem römischen Rechtsgrundsatz „mare commune omnium est“. Die großen Räuber gibt es zwar bis heute, doch den meisten Tauchern bleiben sie verborgen. Es gehört zu den eindrücklichsten Erfahrungen der Autoren, dass es viele Jahre des Tauchens bedurfte, bis wir einige der in Bedrängnis geratenen Spitzenprädatoren, wie Haie und ausgewachsene Zackenbarsche (Abb. 2E), erst in ausgewiesenen Meeresschutzgebieten selbst zu Gesicht bekamen. Heute wird immer deutlicher, dass Huxley in seiner Annahme von der Unerschöpflichkeit des Meeres falsch lag. Aber es überrascht, wie wenig dieses Bewusstsein in der öffentlichen Meinung verbreitet ist.

4.4 Die Anfänge der Ausbeutung

Wenn wir heute kritisch auf die hausgemachten Veränderungen der Neuzeit blicken, darf nicht außer Acht gelassen werden, dass die Gattung *Homo* seit Jahrtausenden mehr oder weniger tiefgreifend in das biologische Gefüge Mittelmeer eingreift. Erste Spuren eines gezielten Nahrungserwerbs hinterließ bereits der Neanderthaler vor ca. 125.000 Jahren in den Vanguard- und Gorham-Höhlen bei Gibraltar. Deren Überreste bezeugen, dass neben diversen Muscheln und Fischen auch größere Säugetiere wie die Mönchsrobbe (*Monachus monachus*) Bestandteil ihrer Diät waren (Stringer et al. 2008). Höhlenfunde in Zypern, Griechenland und Kroatien aus der Zeit zwischen 20.000 – 4.000 v. Chr. weisen darauf hin, dass die damaligen Küstenbewohner anfangen, systematischer zu agieren und bestimmte Arten wie den Drückerrfisch (*Balistes capriscus*) oder den Thun (*Thunnus spp.*) bevorzugten. Auch wenn Isotopen-Analysen menschlicher Überreste belegen, dass die Menschen nicht explizit auf Nahrung aus dem Meer angewiesen waren und mit den zur Verfügung stehenden einfachen Fangmethoden höchstens die Erschöpfung lokaler Bestände einherging, deuten die Knochenreste ihrer Mahlzeiten darauf hin, dass die Körperlängen der Beutefische in den jüngsten Schichten der Fundorte bereits signifikant abnahmen. Spätestens in der klassischen, von Rom dominierten Welt, wird der Mensch zu einem bestimmenden ökologischen Faktor im *mare nostrum* (Trakadas 2006, Schmölcke 2008). Von Athenaios (2./3. Jh. v. Chr.) ist überliefert, dass Fisch zur bedeutenden Handelsware aufstieg und der Verzehr von Fisch und Fischsauce (Garum) für alle Gesellschaftsschichten einen wichtigen Bestandteil der antiken römischen Kultur darstellte. Dafür sprechen archäologische Funde und Schriftquellen aus der Epoche von 100 v. Chr. bis 100 n. Chr. Fisch wurde als *res nullius* betrachtet und jeder Bürger Roms konnte dem Fischfang nachgehen. Solange der Fisch im Meer schwamm, war er niemandes Eigentum, sondern Teil der *universitas* und der *bona natura*. Erst mit seinem Fang ging er in den legalen Besitz des Fischers über (*occupatio*).

Mosaik zeigen über 120 ökonomisch bedeutsame marine Spezies ihrer Zeit, darunter Haie, Rochen, Sardinen und Muränen. Während Seebarsche und Muränen bei keinem Festmahl fehlen durften (Plinius *Nat.* 35, 162), galt die Meerbarbe (*Mullus barbatus*) geradezu als exquisite Delikatesse. Um 40 n. Chr. wurden für sie Liebhaberpreise von 6.000 Sesterzen/kg gezahlt, was dem Kaufpreis eines kräftigen Sklaven entsprach (Plinius *Nat.* 9, 67). Der Prätor Publius Licinius Murena ging in die römische Überlieferung als der erste Mensch ein, der Muränen in Wassertanks hielt. Gleichwohl verband ihn mit den Fischen ein eher emotionales Interesse. Er legte ihnen Schmuck an und zähmte sie, bis sie ihm aus der Hand fraßen (Macrobius *Sat.* 3, 15, 3). Seinen Beinamen Murena trug er mit demselben Stolz, mit dem erfolgreiche Feldherren die Namen besiegter Völker vereinnahmten. Der Geschäftsmann Hirrius verfügte zwischen 50 und 40 v. Chr. über weitläufige Beckenanlagen, in denen tausende Muränen ausschließlich aus Ziergründen gehalten wurden. Den Wert der Fische verdeutlicht die Tatsache, dass er für keinen Preis bereit war, sie an Cäsar zu veräußern. Der wollte sie für ein öffentliches Festmahl auf dem Forum haben und war gezwungen, sich 6.000 Muränen bei ihm auszuleihen (Plinius *Nat.* 9, 171). Mit der Verbesserung der Fangmethoden deutete sich bereits zu Zeiten von

Plinius d. Ä. die lokale Ausbeutung der Fischbestände an. In einer wohl einmaligen Aktion wurden auf Geheiß von Tiberius mehrere tausend Papageienfische (*Sparisoma cretense*) in der Ägäis gefangen, an die tyrrhenische Küste verfrachtet und dort ausgesetzt. Per Gesetz wurde ihr Fang für fünf Jahre untersagt. Trotz aller Bemühungen erschöpften sich die natürlichen Bestände der italienischen Küsten allmählich, was zum Verbot bestimmter Fangtechniken und zur Ausweitung der Fanggründe bis nach Korsika und Spanien führte. Nach dem Niedergang des römischen Imperiums hatten die Bestände vermutlich einige Jahrhunderte Zeit sich zu erholen. Mit dem rapiden Bevölkerungszuwachs ab dem 17. Jahrhundert nahm der Druck auf die marinen Ressourcen wieder schlagartig zu.

4.5 *Fishing down the food web*

Wenngleich im globalen Maßstab die schwerwiegenden Eingriffe in das marine Ökosystem durch die Fischerei und andere anthropogene Faktoren noch nicht zu einem so umfangreichen Artensterben wie an Land geführt haben (McCauley et al. 2015), stellt das seit Jahrtausenden kulturhistorisch so bedeutende und damit dicht besiedelte Mittelmeer in seiner relativen Isolation von den Weltmeeren einen Sonderfall dar. Der fortgesetzte Raubbau insbesondere seit den 50iger Jahren hat in diesem einst als Garten Eden gerühmten Meer die Zusammensetzung der Artengemeinschaften sichtbar verschoben und das sensible Wirkungsgefüge der Nahrungsbeziehungen in einem Ausmaß verändert, das die Bereitstellung von Ökosystemleistungen für das menschliche Wohlbefinden bedroht (Lotze et al. 2011). Mit neuen, teils illegalen Fangmethoden lassen sich nicht nur die letzten Winkel des Meeres abfischen, sie reduzieren durch ihre geringe Selektivität immer mehr auch Organismen, denen nicht das Primärinteresse der Fischer gilt. Seit die ehemals handwerklich betriebene Fischerei industrialisiert wurde, haben sich die Bestände der ca. 45 wirtschaftlich interessantesten Arten um bis zu 98 % dezimiert (Mouillot et al. 2011). Dies führt zur besorgniserregenden Situation der lokalen bzw. ökologischen Ausrottung. Besonders betroffen sind große Spezies an der Spitze der Nahrungskette, wie Blauflossen-Thun, Seehecht, Haie, Zackenbarsche oder Mönchsrobber. Von einstmals mehreren hunderttausend Mönchsrobber haben 400–600 Individuen das Massaker überlebt (IUCN/UNEP 1988). Seit 1957 gelten 14 Hai-Arten als lokal und ökologisch ausgerottet.

Selbst die neue „Gemeinsame Fischereipolitik“ (GFP) der Europäischen Union, seit 1. Januar 2014 in Kraft, stellt fest, dass 88 % der traditionellen Fischgründe als „überfischt“ gelten oder sich aufgrund ihrer geringen Bestandsbiomasse „außerhalb sicherer biologischer Grenzen“ befinden. Noch in jüngerer Zeit tummelten sich an jedem Küstenstreifen ausgewachsene Zackenbarsche und Wolfsbarsche ließen sich in Körben fangen. Heute wird der Großteil der Fische, die in mediterranen Markthallen ausliegen, nicht mehr im *mare nostrum* gefangen. Die EU hat nach dem Leerfischen der eigenen Gewässer ihren Fischern einfach neue gekauft. Vergleichsweise lächerliche 150 Mio. Euro pro Jahr werden gezahlt, um in den Gewässern von Entwicklungsländern die Ausbeutung fortzuführen. Das kontinuierliche Monitoring der Bestände durch Instrumente wie dem *General Fisheries Council for the Mediterranean* (GFCM) der *Food and Agriculture Organization* (FAO) und dem

Scientific, Technical and Economic Committee of Fisheries (STECF) hat bisher nichts an der verheerenden Situation der Mittelmeerfischerei geändert. Gleichwohl formuliert die neue GFP eine Menge ambitionierter Ziele. Ressourcenschädigende Fischereimethoden, wie der Rückwurf („discard“) von Beifängen sollen verboten und Fangquoten (TAC, *Total Allowable Catch*) auf das „höchst mögliche“ Niveau eines „Dauerertrags“ (MSY: *Maximum Sustainable Yield*) begrenzt werden. Bis dieses jedoch durchgesetzt ist, werden jährlich viele Mio. Tonnen Beifang, dazu zählen u. a. Jungfische der Zielart, Nichtzielarten, Schildkröten, Meeressäuger, Haie oder Korallen gemäß geltender EU-Verordnung als toter oder irreversibel geschädigter „Rückwurf“ über Bord geworfen. Beifang kann bis zu 90 % der Gesamtanlandungen ausmachen. Durchweg liegen die bisherigen TAC-Werte um 30–50 % über den wissenschaftlichen Empfehlungen (de Juan und Leonart 2010). Sie zeigen keine konsistente Relation zu biologischen Parametern wie dem Alter der ersten Geschlechtsreife oder der maximal erreichbaren Biomasse einer Kohorte. Zu viele Arten werden gefischt, bevor sie Gelegenheit hatten sich fortzupflanzen. Eine solche Erosion der Altersstruktur verhindert nicht nur die Regeneration der Population, sie führt auch zu einer negativen genetischen Selektion und reduziert die Fähigkeit einer Art, auf veränderte Umweltparameter zu reagieren.

Metaanalysen über den Zeitraum von 20 Jahren belegen, dass nicht nur Nachhaltigkeit, sondern sogar höhere Erträge zu erzielen wären, würde man die Bestände erst dann fangen, wenn sie ihre maximale Biomasse erreicht und sich wenigstens einmal fortgepflanzt hätten. In der Realität liegt jedoch beispielsweise die durchschnittliche Länge der gefangenen Seehechte derzeit bei 20–35 cm; die optimale Größe wäre dagegen zwischen 50–85 cm. Vergleichbares gilt für Thun und Schwertfisch. Neue Daten zeigen, dass gerade die großen Prädatoren sogar erst viel später geschlechtsreif werden als bislang angenommen (Natanson et al., 2015). Zumindest länger, als die meisten Fischereiminister im Amt bleiben. So bewegt sich die Natur auf anderen Zeitskalen als die Fischereipolitik; da bleibt leider wenig Raum für Optimismus. Ob die der Fischereilobby zugeneigte Politik jetzt endlich Standfestigkeit beweist und den formulierten Ordnungsrahmen konsequent durchführt und streng überwacht, bleibt abzuwarten.

Um verständlich zu machen, was derzeit im Mittelmeer und in vielen anderen Meeren geschieht, müssen an dieser Stelle einige ökologische Abläufe vereinfacht skizziert werden. Die Grundlage der biologischen Produktion der Meere sind kleine Algen, das Phytoplankton. Sie definieren die 1. Trophie-Ebene (TE) und werden überwiegend von ebenfalls winzigen Organismen des Zooplanktons gefressen (2. TE), die ihrerseits Nahrung für kleine Fische der 3. TE darstellen. Die TE drückt aus, auf welcher Stufe im Nahrungsnetz sich eine Art einordnet. Für Sardellen etwa, deren Nahrung je zur Hälfte aus pflanzlichem Plankton und Zooplankton besteht, erhält man nach der Formel $TE = 1 + \text{Mittelwert der Nahrungskomponenten}$ den Wert 2,5. Prinzipiell ist also jeder Organismus auf eine bestimmte TE festgelegt, auch wenn sie sich im Laufe eines Fischlebens verändern kann. Große Haie oder Thune, die als „Schlusssteinräuber“ die 4. TE besetzen, können weder Zooplankton noch Kleinfische fressen. Ihre Anatomie und Physiologie sind darauf nicht eingerichtet. An dieser Stelle kommt die Fischerei ins Spiel. Seit jeher gilt in der Branche der Grundsatz: „die größten Fische zuerst.“ Meist sind es solche Arten, die nicht nur groß

sind, sondern auch viele Jahre alt werden müssen, um reproduktionsfähig zu werden. Ein Fischer auf Mallorca kann an einem ausgewachsenen Thun über 100.000 € verdienen, während er für die häufigste Fischart, eine Sardelle, nur einige Cent pro Tier bekommt. Generell lohnt es sich mehr, die großen Fische zu fangen, auch wenn es bei Schwarmfischen wie den Sardinen aufgrund der Schwarmgröße Ausnahmen gibt. Aus diesem Phänomen lässt sich die Bemessung des Fangdrucks ableiten, indem man die Größe der vorhandenen Fische registriert. Sie folgt einer einfachen Regel: Zunächst gibt es nur relativ kleine Bestände mittelgroßer Arten, da sie ja von den großen Spitzenprädatoren gefressen werden. Die industrielle Fischerei beginnt nun die großen Arten zu dezimieren, woraufhin die Zahl der mittelgroßen allmählich wieder zunimmt (Graham et al. 2005). Über Jahrzehnte kann sich der Fischfang auf die größten Tiere konzentrieren und wenn diese Größenklasse dann erschöpft ist, stellt sich die Fischerei wieder darauf ein und macht Jagd auf die nächstkleineren. Das setzt sich bis zu den kleinsten noch profitablen Spezies fort. Ordnet man die im Mittelmeer in den Jahren 1950 und 2000 gefangenen Fische nach ihrer Zugehörigkeit zu den vier trophischen Ebenen, ergibt sich eine signifikante Verschiebung der Artenzusammensetzung von Spezies einer höheren TE hin zu denen einer niedrigeren TE (Pershing et al. 2014). Inzwischen sind kleine, schnell wachsende Arten wie Sardelle, Tintenfische und Garnelen die Hauptertragsquelle der mediterranen Fischerei; früher wurden sie eher als Köder wahrgenommen. Die dezimierten Populationen der 4. TE leiden somit nicht nur unter der Überfischung, sondern zugleich unter der Verknappung ihrer Nahrungsquellen. Neben dem quantitativen Rückgang kommt es zu einer generellen Abnahme der Alters- und Größenstruktur ihrer Populationen. Man nennt diese Praxis, die das Trophieniveau absenkt, „fishing down the foodweb“ (Abb. 3, Pauly et al. 1998, Mouillot et al. 1998). Das Fishing Down avancierte inzwischen zu einem geflügelten Wort und gilt der Convention of Biological Diversity (CBD) als ein Biodiversitäts-Index; als ein Indiz für den drohenden Zusammenbruch der Fischfanggebiete.

Abb. 3 illustriert die weiteren Konsequenzen und zeitliche Abfolge des Fishing Down auf ein marines Ökosystem. Phase 1 markiert den ursprünglichen Zustand („pristine“) bevor menschliche Eingriffe die Dinge veränderten. Weltweit gibt es solche völlig unberührten Orte nur noch im entlegenen nördlichen und südlichen Pazifik. Dort sind die vier TE intakt und durch eine hohe Zahl an langlebigen Top-Prädatoren gekennzeichnet. Ihre Bestandsbiomasse und die ihrer kleineren Beutefische liegt um das 2- bis 5-fache höher als an bewohnten Küstenregionen. Die Zahl opportunistischer Gruppen wie Garnelen und Quallen ist dagegen niedrig. Der Meeresboden wird dominiert von einer reichen Fauna und Flora, bestehend aus Seegraswiesen und/oder sessilen Biokonstrukteuren, die als aktive oder passive Filtrierer (z. B. Schwämme und Korallen) und Detritusfresser (Seesterne, Seegurken) das Wachstum des Phytoplanktons begrenzen, die Resuspension von Detrituspartikeln unterdrücken und Schutzraum für den Fischnachwuchs bieten. Im Mittelmeer kann dieser Urzustand aufgrund fehlender rezenter Vergleichsdaten nur noch über historische Quellen und Anekdoten rekonstruiert werden. Die zweite Phase („exploited“, Abb. 3) kennzeichnet die zunehmende Ausbeutung der Ressourcen; sie entspricht dem heutigen Zustand des Mittelmeers: verringerte Abundanz der Räuber, Reduktion der durchschnittlichen Körperlänge, der TE und der Diversität der Fischerei (Mouillot et

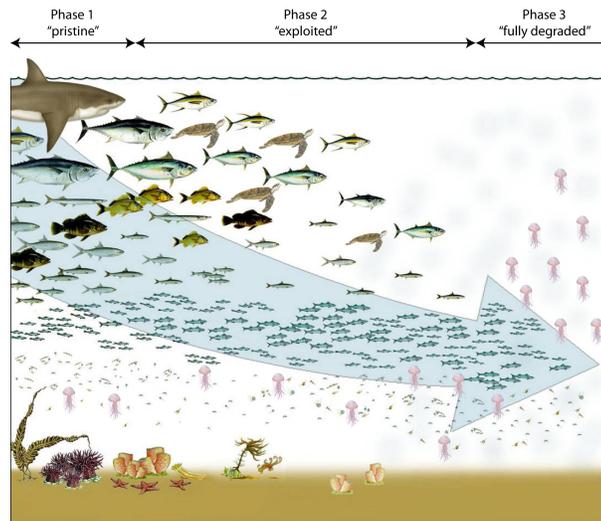


Abbildung 3: Schematische Darstellung des „fishing down the food web“. Im ursprünglichen Zustand (Phase 1: „pristine“) stellen Schlussteinräuber der 4. Trophieebene (TE) den größten Anteil an der Biomasse. Durch deren Befischung im industriellen Maßstab (Phase 2: „exploited“) nimmt der Fraßdruck auf kleinere Arten ab, so dass sich diese vorübergehend vermehren, bis sie selbst Opfer der Fischerei werden. In Phase 3: „fully degraded“ sind die Bestände bis zur 2. TE so weit abgefischt, dass es zu Algen- und Quallenblüten kommt. Durch Sauerstoffzehrung verliert der Meeresboden zunehmend seine filtrierenden Organismen. Der zerstörerische Effekt wird durch die Schleppnetzfischerei verstärkt (verändert nach Pauly et al. 2009).

al. 2011, Pauly et al. 2011). Initial werden die Verluste durch Kaskadeneffekte des Fishing Down oder durch Ausweichen auf andere Fanggründe und Zielarten kompensiert. In Phase 2 beginnen sich die Effekte auf den Meeresboden auszuwirken. Die zahlreichen vertikalen Austauschprozesse und Stoffflüsse zwischen Pelagial und Benthos werden gestört.

Ein sichtbares Zeichen ist die Zunahme von Seeigeln (z. B. *Arbacia lixula*) aufgrund fehlender Fressfeinde unter den Fischen und Schildkröten (*Caretta*, Abb. 4A). *Arbacia* kann die ökologisch wichtige Lebensgemeinschaft der Algenwälder bis auf den nackten Fels abnagen („barren“, Abb. 2D). Grundschieppnetze der Trawler verschlimmern die Situation. Sie zerstören die Biokonstruktionen der Filtrierer und wirbeln Sediment auf. Dadurch steigt der Nährstoffgehalt und mit ihm die Primärproduktion. In der dritten Phase („fully degraded“, Abb. 3) folgen Algenblüten („blooms“), die zunehmend den Sauerstoff des Wassers aufzehren. Die abgestorbenen Reste sinken zu Boden, können aber vom zerstörten Benthos nicht mehr in den Stoffkreislauf zurückgeführt werden. Am Meeresboden entstehen sauerstoffarme bzw. -freie Gebiete, sogenannte „Todeszonen“, in denen Bakterien dominieren und vielzelliges Leben weitgehend verschwunden ist. Weltweit sind über 200 „Todeszonen“ lokalisiert (u. a. in weiten Teilen der Ostsee, dem Golf von Mexico oder Chesapeake Bay). Im Mittelmeer entwickelten sie sich bisher nur episodenhaft in besonders warmen Jahren; vor allem in der flachen Adria. Hypoxische Bedingungen verschaffen Quallen kompetitive Vorteile gegenüber Fischen. Diese Anpassung führt am Ende der Entwicklung und in letzter Konsequenz der Ereignisse zu einem Meer, das von Quallen dominiert wird (Pauly et al. 2009; Abb. 4B). Trotz beginnender Anzeichen für ei-

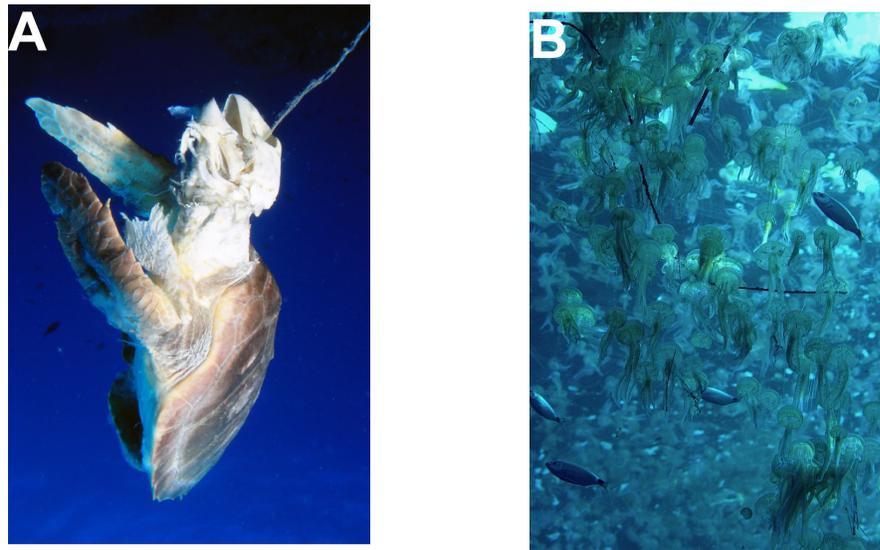


Abbildung 4: Die Realität des „Fishing down the food web“ im Mittelmeer - auf dem Weg zum Quallenmeer? A: Dezimierung der quallenfressenden Karettschildkröten (*Caretta caretta*) durch nicht selektive Langleinensfischerei; B: Massenhafte Vermehrung von Quallen (*Pelagia noctiluca*).

ne derartige Entwicklung verstehen wir die Prozesse und die Abhängigkeiten von anderen Umweltfaktoren bisher nur ansatzweise. Es besteht ein hoher Bedarf an grundlegender Forschung zur Frage, wie sich die seit Jahrtausenden praktizierte Bejagung markanter Prädatoren unter weiterer Berücksichtigung des Klimawandels oder des Eintrags eutrophierender Stoffe auf das mediterrane Ökosystem auswirkt.

4.6 Das *shifting baseline*-Syndrom

Dass wir trotz dieser Zahlen und Kenntnisse nicht alarmierter sind, mag zum Teil auch an dem als *shifting baseline* genannten Prozess der Veränderung menschlicher Wahrnehmung liegen (Pauly et al. 1995, Knowlton und Jackson 2008, Rost 2014). Viele, die erstmals in die mediterrane Unterwasserwelt eintauchen, nehmen an, dass die Lebensräume schon immer so waren, wie sie sie das erste Mal sehen und schließen anhand dessen auf die Zukunft. Grundsätzlich problematisch ist dabei die Ermittlung der ursprünglichen „Bestandsbiomasse“. Für die heute unter Druck geratenen Spezies war sie aber bereits lange vor einer systematischen Analyse eingebrochen, so dass Rückschlüsse nur durch den Vergleich mit historischen Quellen möglich sind. Nach diesen kann beispielsweise davon ausgegangen werden, dass vor dem Beginn der vorsätzlichen Bejagung die Population der atlantisch-mediterranen Karettschildkröte (*Caretta caretta*, Abb. 4A) 2–3 Mio. Individuen umfasste. Heutige Schätzungen beziffern die verbliebenen Individuen auf ca. 2.000–3.000. Nach unserem Verständnis von Biodiversität ist *Caretta* damit noch nicht vollständig ausgerottet, aber auf einen Bestand dezimiert, der es der verbleibenden Population kaum mehr möglich macht, ihre ursprüngliche Funktion im ökologischen Räderwerk wahrzunehmen. Diese

Dienstleistung bestand in Form eines Regulativs für die Populationsgröße ihrer primär aus Quallen und Seeigeln bestehenden Nahrung. Man kann daher berechtigterweise von der „ökologischen Ausrottung“ der Art sprechen (McCauley et al. 2015). In einer kürzlich vorgelegten Studie fanden Coll et al. (2014) klare Belege für das *shifting baseline*-Syndrom unter mediterranen Fischern. Während ältere Befragte ein deutliches Bewusstsein über den Rückgang von Fischbeständen, der ehemaligen Größe gefangener Fische und das Leerfischen von Fanggründen zeigten, haben jüngere kaum eine Vorstellung davon, dass die Bestände vor noch relativ kurzer Zeit erheblich größer und vielfältiger waren. Mit dem Rückgang der biologischen Vielfalt setzt somit jede Generation einen niedrigeren Maßstab zur Beurteilung der zukünftigen Verluste an. Nach Pauly betrifft dieses Syndrom jede Alterskohorte und nicht nur die von Fischern, sondern auch die von Wissenschaftlern oder Umweltmanagern. Mit dem Abtreten einer Generation verschieben sich die Referenzpunkte, die dem Bemessen des Wandels dienten, in Richtung Gegenwart. Diese verzerrte und eingeschränkte Wahrnehmung von Wandel kennzeichnet die aktuelle Fischereipolitik, die eine weitgehend unreflektierte Beurteilung der mediterranen Fischbestände vornimmt. Sie lässt eine angemessene historische Tiefe vermissen und orientiert sich an Fangmengen, die in einer Zeit erhoben wurden, als die Bestände bereits massiv unter Druck geraten waren. Dieser Verzerrung unterliegen vor allem die Interessenvertreter aus Industrie und Politik, obwohl die Wissenschaft inzwischen bestandssichernde Fischereistrategien vorlegen kann (u. a. Sweeting et al. 2009).

4.7 Klimawandel und *Alien Invasive Species*

Das Mittelmeer ist nicht nur ein Ort von herausragender ökologischer Bedeutung, sondern auch Hauptschauplatz der klassischen Kulturgeschichte und zahlloser Mythen. Aus der griechischen Sagenwelt kennen wir Tethys, die titanische Gemahlin von Okeanos. Beide werden in der Titanomachie, dem Kampf der Titanen, von den olympischen Göttern verdrängt und in den Tartaros verbannt. Dazu bilden die geologischen Einheiten Tethysmeer und („olympisches“) Mittelmeer eine interessante Parallele: Geologisch betrachtet gab es im frühen Mesozoikum den großen Urozean mit einer Einbuchtung im Osten des Superkontinents Pangäa, die als Tethys bezeichnet wird. Nach dem Auseinanderbrechen des Superkontinents Pangäa in Gondwana und Laurasia während Jura und Kreide schloss Tethys die Zone zwischen dem heutigen Europa und Afrika ein. Diese Region lag damals viel südlicher als heute, so dass die Tethys in diesem Stadium ein Zirkumtropikalmeer bildete. Weitere Kontinentalbewegungen führten zum Abschluss der Tethys nach Osten und zur Bildung der Meerenge von Gibraltar im Westen: damit war die ursprüngliche Tethys verdrängt und das Mittelmeer geboren. Aus dieser Zeit erhalten geblieben sind die sogenannten Tethysrelikte, das sind marine Tier- und Pflanzenarten, die indopazifischer Prägung sind, wie z. B. die Seegräser der Gattung *Posidonia*, die nur im Mittelmeer und südlich von Australien vorkommen. Während der Messinischen Salinitätskrise vor etwa 5–6 Mio. Jahren verlor das Mittelmeer mehrfach die Verbindung zum Atlantik und bestand vermutlich nur mehr aus einzelnen salzhaltigen Lagunen und Tümpeln. Der Wasserspiegel lag um mehrere hundert Meter unter dem heutigen und es bildeten sich 2–3 km dicke Salz-

ablagerungen. Die erneute Flutung des Mittelmeeres durch die Meerenge von Gibraltar erfolgte vor etwa 5,4 Mio. Jahren, dem Beginn des Pliozän. Nur wenige Arten dürften die Salinitätskrise überstanden haben. Wie fossile Reste bezeugen, gehörte dazu die riffbildende (hermatypische) Steinkorallen-Gattung *Porites*. Das heißt auch nach der Krise war das Mittelmeer zunächst tropisch geprägt. Vor ca. 5,32 Mio. Jahren waren die hydrographischen Verhältnisse wieder so weit hergestellt, dass die Wiederbesiedelung des Mittelmeers aus dem Atlantik einsetzen konnte. Aufgrund der warmen klimatischen Bedingungen (die Wassertemperatur lag um ca. 5 °C über der heutigen), waren es zunächst Einwanderer aus dem gemäßigten Teil des Atlantiks, die sich zu den wenigen Überlebenden tropischen Ursprungs gesellten. Ihr Einfluss endete vor 2,6 Mio. Jahren, im Zeitalter des Gelasian, das mit einer abrupt einsetzenden Abkühlung des Klimas einherging. Mit diesem Vorboten der nachfolgenden pleistozänen Vereisungen war das endgültige Aus für den letzten verbliebenen Riffbildner *Porites* gekommen. Er verschwand aus dem Arteninventar des Mittelmeers; bis heute erhalten sind nur die fossilen Überreste.

Seit dieser ersten Abkühlungsphase wurde das Artengefüge der mediterranen Meereswelt immer wieder von den Temperatur- und Meeresspiegelschwankungen der aufeinander folgenden Kalt- und Warmzeiten beeinflusst. Im letzten Interglazial, also vor ca. 110.000 Jahren, lag die durchschnittliche Wassertemperatur wieder um 2–3 °C höher als heute, was die Zuwanderung aus dem südlichen Atlantik begünstigte; vor 30.000 Jahren, während der Würm-Kaltzeit, sank nicht nur die Wassertemperatur auf kühle 12 °C, auch die mediterranen Ufer lagen 120 m unter dem heutigen Meeresspiegelniveau. Dadurch gelangten Arten aus dem borealen Teil des Atlantiks ins Mittelmeer. Für viele Warmwasserarten war somit erneut das Ende gekommen. Doch mit der wieder einsetzenden und vorerst letzten Klimaerwärmung verschwanden viele der borealen Faunen- und Florenelemente ebenso schnell wie sie gekommen waren. Belegt sind kälteliebende Schnecken, deren Schalenreste man noch heute im Golf von Lyon ab einer Tiefe von 90 m finden kann. Sie stammen aus der Zeit zw. 10.000–30.000 vor unserer Zeitrechnung. Die heute lebende Fauna und Flora verdankt ihre Existenz schließlich den gemäßigten Temperaturbedingungen der erdgeschichtlichen Neuzeit. Warmwasserarten aus den Refugien der tropischen bis warmgemäßigten Atlantik-Provinzen besetzten die frei gewordenen ökologischen Nischen und begannen sich zu diversifizieren. Die warm-gemäßigten Lebensbedingungen erlauben die Koexistenz nicht nur von Abkömmlingen aus dem (subtropisch-) warmen und borealen Atlantik, sondern seit der Eröffnung des Suez-Kanals auch von Einwanderern aus dem tropischen Indopazifik.

Die ersten Hinweise auf die rezente Erwärmung des Mittelmeers kamen erstaunlicherweise aus der Tiefsee. Zwischen 1959 und 1989 wurde eine subtile, doch stetige Erwärmung um 0,004 °C pro Jahr nachgewiesen. In höheren Zonen, zwischen 20 und 80 m Tiefe, fällt der Trend mit ca. 1 °C pro 30 Jahre deutlicher aus. Es wird erwartet, dass bis 2100 die Oberflächentemperatur um 2,5 °C ansteigen wird. Hydrographische Auswirkungen des klimatischen Wandels betreffen bereits die Reorganisation ganzer Strömungsketten und Upwelling-Zonen sowie die Verlagerung der 14 °C Februar-Wasserflächen-Isotherme in nord-westlicher Richtung. Die Biologie folgt dieser Verschiebung unmittelbar; schon heute ist die Verdrängung kälteliebender und die Ausbreitung wärmeliebender Arten nach

Norden hin zu beobachten (Bianchi 2007). Noch machen atlantische Elemente den größten Anteil der rezenten Mittelmeerfauna und -flora aus. Sie entstammen entweder dem warm-gemäßigten Süden (atlantisch-subtropisch: mauretische bzw. senegalesische Region), der lusitanischen Region (zwischen Ärmelkanal und Gibraltar) oder dem atlantisch-borealen Norden. Bis heute haben sich nur wenige boreale Formen als Glazialrelikte in den kältesten Regionen des Mittelmeers halten können: z. B. der Blasentang *Fucus virsoides* in der nördlichen Adria, der Seestern *Marthasterias glacialis* oder die Felsengoldrose *Cribrinopsis crassa*. Sie könnten, genau wie die Höhlengarnele *Hemimysis spelunca*, zu den Verlierern des Klimawandels zählen. Bis 1990 war *Hemimysis* weit verbreitet, dann plötzlich kollabierten die Populationen. Heute lebt sie nur noch in einigen wenigen Höhlen im äußersten nördlichen Zipfel der Adria und dem Golf von Lyon. Dieser Weg ist eine Einbahnstraße und wird über kurz oder lang zum Aussterben der Art führen. Die freigewordenen „Höhlen-Planstellen“ wurden gleichwohl durch ihren wärmetoleranten Verwandten *H. margalefi* sofort wieder besetzt. Am Nesseltier *C. crassa* könnte *H. spelunca* „lernen“, wie man sich einer Erwärmung entziehen kann. Die Felsengoldrose konnte sich bisher behaupten, indem sie auf tiefere, konstant kalte Wasserschichten ausgewichen ist. Vielen anderen borealen Arten ist dieses nicht gelungen.

Neben solchen „Einzelschicksalen“ unter den Verlierern des Klimawandels gibt es auch weitere ca. 50 Organismen, die es konstant kühl mögen und zudem wichtige Ökoingenieure ihrer Lebensräume sind, wie *Paramuricea clavata*, die Violette Fächerkoralle (Abb. 2F). Über mehrere hundert Kilometer entlang der tyrrhenischen Küste sind *Paramuricea*-Massensterben belegt, die mit ausgeprägten Wärmeanomalien und Temperaturrekorden der Jahre 1999 und 2003 korrelieren (Garrabou et al. 2009, Rivetti et al. 2014). Wie so oft werden Katastrophen wie diese durch negative Folgeerscheinungen verstärkt. Im Falle von *Paramuricea* setzte den wärmegepressten Fächerkorallen das plötzliche Auftauchen eines tropischen Erregers von Korallen-Krankheiten (*Vibrio coralliilytius*) sowie der Mangel an Planktonfutter zusätzlich zu. Letzteres erklärt sich durch die Erschöpfung der Nährstoffreserven im Laufe des Sommers. Damit der Planktonnachschub wieder funktioniert, muss im Spätsommer eine thermo-haline Konvektion einsetzen, die durch abnehmende Wassertemperaturen ausgelöst wird. Durch sie wird die sommerliche Sprungschicht (Thermokline) aufgelöst und kaltes, nährstoffreiches Tiefenwasser wieder nach oben befördert. Anhaltend hohe Temperaturen verschieben diesen Vorgang um mehrere Wochen nach hinten; zu lang für eine von Krankheit und Hunger angeschlagene *Paramuricea*.

Zu den Profiteuren der Erwärmung gehören neben den Lessepsschen Immigranten (s. u.) auch einheimische wärmeliebende Arten, wie der Hydropolyp *Halocordyle disticha*, die Sternkoralle *Astroides* oder Fische wie der Meerpavon (*Thalassoma pavo*) und Barrakuda (*Sphyræna spp.*). Ihre Populationen werden nicht nur größer, sie alle breiten sich immer weiter nach Norden und Westen hin aus. Vor 30 Jahren haben wir im westlichen Becken nur selten große Barrakudaschwärme gesehen; mittlerweile gehören sie zu den Attraktionen vieler Tauchplätze. Selbst auf den Fischmärkten werden die nur mäßig schmeckenden Fische angeboten. Was auf den ersten Blick als nützlicher Nebeneffekt erscheint, kann mit unangenehmen Begleiterscheinungen einhergehen: Die warme Umgebung begünstigt das Auftauchen eines tropischen Krankheitserregers, dem Dinoflagellaten *Gambierdiscus*

toxicus. Sein Artnamen lässt nichts Gutes ahnen. Der winzige Einzeller lebt eigentlich auf Algen. Um sich zu schützen, produziert er Ciguatoxin. Doch gegen große Fressfeinde hilft selbst das nichts. In der Nahrungskette, über Vegetarier hin zu den diversen Konsumenten, konzentriert sich das Nervengift. In einem Barrakuda ist es schließlich so hoch konzentriert, dass sein Verzehr zur Ciguatera-Vergiftung führt. Diese kündigt sich durch Juckreiz, Übelkeit und Erbrechen an, löst häufig die Umkehr der Wärme-Kälte-Empfindung aus und endet in 7 % der Fälle tödlich. Auf Kreta wurde *G. toxicus* bereits nachgewiesen, ebenso wie sein Verwandter *Ostreopsis ovata*. Dessen Gift, das Palytoxin, ist noch wirksamer; entsprechende Krankheitssymptome (Fieber, Atemnot, Muskellähmung) wurden aus dem Mittelmeer beschrieben. Zu den Nutznießern der Erwärmung gehören aber neben diesen einheimischen Organismen vor allem gebietsfremde Einwanderer (Neobiota) aus subtropischen und tropischen Regionen (Galil 2008, CIESM, 2001). Das bekannteste Beispiel einer durch menschliche Unachtsamkeit eingeschleppten Art ist die Schlauchalge *Caulerpa taxifolia*. Ihre Verbreitung über nahezu das gesamte West-Mediterran begann 1984 als 1 m² großer Fleck vor dem Ozeanographischen Museum Monaco. Ihr Ursprungsgebiet ist Australien. Weil sie so robust ist und selbst in kleinen Aquarien gut wächst, kam sie über die Stuttgarter Wilhelma nach Monaco und – während einer Putzaktion der Aquarien – ins *mare nostrum*. Andere Organismen haben als blinde Passagiere des internationalen Schiffsverkehrs (30 % des weltweiten maritimen Handels erfolgt entlang der Route Suez-Gibraltar) oder durch den Kanal von Suez ihre natürlichen Ausbreitungsbarrieren überwunden.

Das Eindringen fremder Arten muss für das Ökosystem nicht *per se* schlecht sein. Doch *C. taxifolia* verhält sich invasiv: sie verdrängt einheimische Organismen, verändert die Struktur und Funktion von Lebensräumen und ist damit zu einem Treiber des Biodiversitäts-Verlustes und der Homogenisierung der Lebensräume geworden. Ca. 14 % der über 1.000 Arten, die während der letzten 60 Jahre in das Mittelmeer einwanderten, sind als *alien invasive species* (AIS) registriert. Ihre Monokulturen überwachsen Ökoingenieure wie *Hornkorallen* oder *Seegräser*, welche maßgeblich die dreidimensionale Struktur der Lebensräume gestalten. Aufgrund von Top-down-Effekten verschwinden mit diesen Kronendach-artigen Miniaturwäldern hunderte weitere Arten, die darin Schutz und Lebensraum fanden. Vorerst nur regional bedeutsam ist *C. racemosa*, die 1990 plötzlich im Mittelmeer auftauchte. Im Bereich der Balearen fällt eine genetische Variante (*C. racemosa* var. *cylindracea*) durch ein äußerst aggressives Wachstum auf, mit dem sie die indigene Fauna und Flora massiv unter Druck setzt. Vergleichbares gilt für die Rotalgen *Asparagopsis armata* und *Lophocladia lallemandii*. Erste Befunde belegen eine physiologische Schädigung der überwachsenen Organismen, welche die Raumparasiten als Substrat missbrauchen. Aus diesem Grund stehen viele AIS unter genauer Beobachtung. Derzeit werden im Rahmen der *Marine Strategy Framework Directive* sowie der *EU Biodiversity Strategy 2020* Risikoanalysen erstellt, um das Gefährdungspotential für die mediterrane Biota zu ermitteln und zu untersuchen, inwieweit die Ausbreitung von AIS durch stressauslösende Phänomene wie der globalen Erwärmung überlagert und begünstigt wird.

Auf welchen Wegen AIS ins Mittelmeer gelangen, bleibt meistens mysteriös. Die wahrscheinlichsten Ursachen sind passives Verschleppen in Ankerkästen oder Ballasttanks von

Schiffen. Ein interessanter Fall ist die Steinkoralle *Oculina patagonica*. Sie wurde 1966 erstmalig im Golf von Genua nachgewiesen. Inzwischen sind viele weitere Fundorte bis nach Mallorca bekannt geworden. Lange Zeit ging man davon aus, dass sie aus Südamerika eingeschleppt wurde. Inzwischen wird die Verschleppungs-Hypothese in Frage gestellt: zum Problem wurde, dass es dort – anders als ursprünglich angenommen – gar keine lebenden Exemplare gibt, sondern nur versteinerte Fossilien.

4.8 Lessepssche Einwanderer: Rückkehr der tropischen Fauna und Flora

Die Öffnung des Suez-Kanals im Jahre 1869 fiel mit dem Beginn der Zunahme der durchschnittlichen Wassertemperatur zusammen. Die Erwärmung ist eine der wichtigsten Ursachen, weshalb sich immer mehr tropische Einwanderer erfolgreich im Mittelmeer verbreiten können. Nach dem Erbauer des Suez-Kanals, Ferdinand de Lesseps, werden sie als „Lessepssche Immigranten“ bezeichnet. Sind wir Zeitzeugen einer beginnenden „Tropikalisierung“ des Mittelmeers, d. h. der Veränderung von einer typisch mediterranen hin zu einer tropisch geprägten Biota? Inzwischen gibt es Belege, die diese Annahme untermauern (Boero 2014). Hält der Trend an, könnten in einer nicht zu weit entfernten Zukunft zwischen Gibraltar und Haifa, wie schon zu Zeiten der Tethys, wieder riffbildende Korallen heimisch werden. Der Meeresbiologe Francis Dov Por von der Hebrew-Universität spricht bereits von der „Regeneration“ der Tethys-Fauna (Por 2009). Zumindest im Levantinischen Becken ist mit einer durchschnittlichen Wassertemperatur von über 18 °C eine wichtige physiologische Voraussetzung für die Ansiedelung der härtesten Rifff Korallen geschaffen, wie *Porites nodifera*, die es selbst im nördlichsten Persischen Golf aushält. Hätte 1671, zu Zeiten der „Kleinen Eiszeit“, Gottfried Wilhelm Leibnitz mit seinen Plänen zum Bau eines Suez-Kanals beim Sonnenkönig Erfolg gehabt, wäre das Mittelmeer weit weniger empfänglich für tropische Neuankömmlinge gewesen als heute.

Seit 1869, dem Jahr der Fertigstellung des Suez-Kanals, kommuniziert das mediterrane Kerngebiet wieder mit dem Roten Meer. Damit wurde eine Verbindung zum indopazifischen Raum geöffnet, die seit wenigstens 13,5 Mio. Jahren dicht verschlossen war. Der Wasseraustausch über den nur 120 m breiten und 15 m flachen Suez-Kanal ist eher vernachlässigbar. Ein leichtes Gefälle - die Wasseroberfläche des Roten Meers liegt um 25–40 cm höher als die des Mittelmeers - sorgt dafür, dass das Wasser gemächlich westwärts fließt. Die biologischen Konsequenzen sind jedoch erheblich. In immer größerer Zahl folgen tropische Rote-Meer-Arten dem West-Strom. Zwei Barrieren, die den Exodus in den ersten Jahrzehnten nach der Fertigstellung verhindert haben, existieren heute nicht mehr: i) der ursprünglich hohe Salzgehalt der zwischengeschalteten Bitterseen hat sich bis heute durch Verdünnung weitgehend normalisiert: von 169 psu (practical salinity unit) im Jahre 1869 auf 41–45 psu heute (zum Vergleich: Atlantik 36 psu, Mittelmeer: 36–39 psu, Rotes Meer: 41–42 psu); ii) der Bau des Assuanstaudamms (1966) veränderte das Ökosystem des östlichen Mittelmeers, weil seither das nährstoffreiche Nilwasser weitgehend ausbleibt; zudem fließt sein Strom nicht mehr in den Westteil des Suez-Kanals. Vor

1966 legte er sich wie ein Pfropf aus Brackwasser (33 psu) vor den Ausgang des Kanals und versperrte den an die hohe Salinität des Roten Meers angepassten Organismen den Weg nach Westen. Die ersten, die kurz nach der Eröffnung den noch hypersalinen Kanal durchquerten, waren salztolerante Arten wie das Seegegras *Halophila stipulacea*. Ihr Erstnachweis im *mare nostrum* datiert auf das Jahr 1894 bei Rhodos. Heute ist es im östlichen Becken weit verbreitet. Im Jahre 1901 gelangte bei Port Said der Ährenfisch *Atherinomorus lacunosus* in die Netze der Fischer. Als erste „echte“ indo-pazifischen Faunenelemente waren 1924 die Schwimmkrabbe *Portunus pelagicus* und 1927 der Feilenfisch *Stephanolepis diaspros* im Mittelmeer angekommen (Abb. 5A). 1945 gesellte sich der Rote Eichhörnchenfisch *Sargocentrum rubrum* dazu, der zum Flugschiff unter den Lessepsschen Einwanderern avancierte (Abb. 5B). Der Nachweis dieser Fischarten ist hochinteressant, denn für beide Gattungen sind aus der Zeit vor der Salinitätskrise fossile Funde aus dem Mittelmeer belegt. Sie sind somit keine „echten Immigranten“, sondern eher „Heimkehrer“ in ein ehemaliges Stammgebiet. Bis heute sind über 1.000 Lessepssche Migranten bekannt. Man geht inzwischen davon aus, dass jede Woche ein weiterer hinzukommt – mit steigender Tendenz. Die überwiegende Zahl der Einwanderer aus dem Roten Meer (vgl. <http://www.ciesm.org/online/atlas/index.htm>) sind Algen (110), Krebse (70), Weichtiere (137) und Fische (116). Nur vereinzelt finden sich Vertreter anderer Tierstämme, wie die Seegurke *Synaptula reciprocans*. Die auffälligsten Faunenelemente sind Fische. Der Flötenfisch *Fistularia commersonii* hält den Rekord in Sachen Ausbreitung (Abb. 5C). Die Chronologie seiner Westeroberung liest sich wie folgt: 2000: Erstnachweis im Mittelmeer, 2002: Sizilische Strasse, 2003: Tyrrhenik, 2007: Ligurische See, 2009: Französische Mittelmeer-Küste, 2010: Alboransee; eine beachtliche Leistung, die ihm den Titel „Lessepsscher Sprinter“ einbrachte. Die genetische Analyse der bisher gefangenen Flötenfische ergab, dass sie alle von zwei trächtigen Weibchen abstammen, die vor ca. 12 Jahren den Weg ins Mittelmeer fanden.

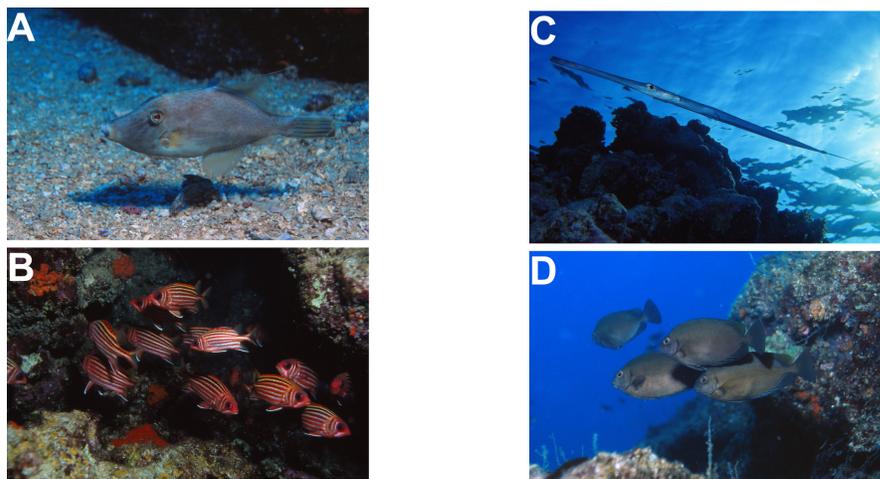


Abbildung 5: Lessepssche Immigranten bzw. „Rückkehrer“. A: Feilenfisch (*Stephanolepis diaspros*); B: Roter Eichhörnchenfisch (*Sargocentrum rubrum*); C: Flötenfisch (*Fistularia commersonii*); D: Kaninchenfisch (*Siganus luridus*).

Die Zukunft wird zeigen, ob und wie dieser Kleinfisch-Räuber das bestehende Gefüge der Nahrungsnetze neu ordnen wird. Die meisten Einwanderer sind bis heute vor allem im südöstlichen Teil verbreitet: vom Gebiet des Nildeltas entlang der levantinischen Küste bis in den Süden der Türkei. Man nennt dieses Gebiet inzwischen die „Lesepssche Öko-region“. Hält die Erwärmung des Mittelmeers weiter an, dürfte wohl bald das gesamte östliche samt großen Teilen des westlichen Beckens so bezeichnet werden. Ein weiteres prominentes Beispiel für diesen von Fachleuten prophezeiten Prozess der Tropikalisierung ist der Kaninchenfisch der Gattung *Siganus* (Abb. 5D). Sein Erstnachweis im Mittelmeer datiert auf das Jahr 1924. Bis zur Jahrtausendwende beschränkte sich seine Verbreitung auf die levantinische Küste. Dort hat er sich so gut etabliert, dass sein Fang bereits für die regionale Kleinfischerei von Bedeutung ist. Seit einigen Jahren rückt er immer weiter nach Norden und Westen vor. 2004 wurde er in der Sizilischen Straße bei Linosa gesichtet; 2009 bereits im Golf von Lyon. Als Vegetarier findet er in den Algenwäldern des westlichen Mittelmeers einen reich gedeckten Tisch vor. Die Analyse seines Mageninhalts ergab über 34 verschiedene Algenarten. Konkurrenz gibt es wenig, denn nur zwei weitere einheimische Vegetarier, *Sarpa salpa* und *Sparisoma cretense*, machen ihm die Kost streitig; und auch Fressfeinde sind hier längst nicht mehr so zahlreich vertreten wie im Roten Meer. Im östlichen Becken hat der erfolgreiche Pflanzenfresser die Struktur der Algenzone nachhaltig verändert und „barrens“ hinterlassen (Sala 2004).

Die schwierigste Aufgabe der mediterranen Meeresforschung wird sein zu verstehen, wie die verschiedenen biologischen und physikalisch-chemischen Faktoren ineinandergreifen. Einwanderer aus dem Roten Meer und die Erwärmung verändern das bestehende ökologische Gefüge. Zugleich wirken Überfischung, Überdüngung und Umweltverschmutzung auf die Biotopsysteme ein. Die Folgen dieser unheilvollen Gemengelage könnten dramatisch sein. Ein Schreckensszenario betrifft die befürchtete Dominanz der Quallen in Folge der Ausrottung ihrer Fressfeinde und der Wassererwärmung, die ihre Fortpflanzungsrate zu stimulieren scheint (Sala und Knowlton 2006). Die Konsequenz dieser Prozesse ist der Trend über die zunehmende Tropikalisierung hin zu einem „jellyfish“ dominierten Ozean (Abb. 4B). Selbst wenn dies nur eine langfristige Schreckensvision ist, könnte der begonnene Prozess bereits mittelfristig die besonderen regionalen Unterschiede der Biota zwischen Alboransee und der levantinischen Küste verwischen, welche die Vielfalt des Mittelmeers ausmachen. Sähe die Unterwasserlandschaft überall so aus wie in der südlichen Levante heute, wäre das Mittelmeer trotz der zahlreichen Einwanderer aus dem Roten Meer kein Hotspot der Biodiversität mehr. Ob es so weit kommt, hängt nicht zuletzt vom Willen der politischen Entscheidungsträger ab, den vorliegenden Empfehlungen aus Wissenschaft und Umweltverbänden zu folgen und endlich weitere Zonen des Mittelmeers als marine Schutzzonen (*Marine Protected Areas, MPAs*) auszuweisen und mit dem Status „no-take-areas“ zu versehen.

4.9 Meeresschutzgebiete – Wege aus der Krise

Erste Bestandsaufnahmen in MPAs belegen eine erstaunliche Lebenskraft des Meeres. Biozöosen regenerieren sich und ursprüngliche Nahrungsnetze werden wiederhergestellt

(Fraschetti et al. 2013). Ein Erfolgsbeispiel ist der mexikanische Cabo Pulmo Nationalpark im Golf von Kalifornien. Dieser Rückzugsraum wurde 1999 eingerichtet. Bis 2009 hat sich dort die Zahl der Fische vervierfacht und die ihrer natürlichen Jäger sogar verzehnfacht. Eine das Schutzgebiet umgebende Matrix fungiert als räumlicher Puffer; sie ermöglicht aufgrund des Überlaufeffekts die Existenz einer nachhaltigen lokalen Fischerei. Doch man sollte sich nichts vormachen: um die natürlichen Ressourcen des Mittelmeers nicht länger den Gesetzen des Marktes zu unterwerfen, ist eine unabdingbare Voraussetzung für den Erfolg von Schutzmaßnahmen die Einrichtung fischereifreier Zonen in Verbindung mit effektiver Kontrolle. Denn die industriell betriebene Großfischerei bleibt als größte Bedrohung bestehen. Sie ist mit ihren hoch technisierten Fangflotten nur stärker geworden, nicht aber vernünftiger. Bereits heute existieren etliche staatliche Beschlüsse und internationale Vereinbarungen, z. B. das Übereinkommen von Barcelona zum Schutz des Mittelmeers vor Verschmutzung (Barcelona-Konvention 1976). Ziel der 22 Vertragsstaatenparteien war die Verringerung der Verschmutzung und der Schutz und die Pflege der Meeresumwelt. 2004 trat es in überarbeiteter Fassung als „Konvention zum Schutz der Meeresumwelt und der Küstenregion des Mittelmeeres“ erneut in Kraft. Das Abkommen hat mehrere wichtige Protokolle (Specially Protected Areas and Biological Diversity in the Mediterranean - SPA/BD Protokoll), deren primäres Ziel ist, „Ecologically or Biologically Significant Areas“ zu definieren, um die Artenvielfalt im Meer zu erhalten und eine nachhaltige Fischerei zu gewährleisten. Die Prioritätenliste für das Mittelmeer enthält von der Alboransee im Westen bis hin zur levantinischen Küste zehn ökoregionale Schutzzonen (MedPAN 2012). Sie umfassen neben den Küstenregionen auch die offene See und weisen mehr als 385 weitere Subregionen aus, die sich durch besondere ökologische und biologische Charakteristika auszeichnen. Die EU-Erklärung steht im Einklang mit den internationalen Verpflichtungen, zu denen sich 193 Länder auf der zehnten Vertragsstaatenkonferenz des UN-Übereinkommens über die biologische Vielfalt (CBD-Konferenz) in Nagoya, Japan, im Jahr 2010 bekannt haben. Danach sollen bis 2020 immerhin 10 % der Weltmeere geschützt sein. Die Umsetzung der Vereinbarungen ist aus heutiger Sicht ungenügend. Es scheint, dass der politische Wille fehlt, den Worten Taten folgen zu lassen. Ein grundsätzliches Problem dabei ist die unglückliche Trennung politischer Kompetenzen. So beschäftigen sich in der EU die Umweltminister mit der Einrichtung von Schutzgebieten, aber die Regelung der Fischerei liegt ausschließlich in den Händen der Fischereiminister. Das macht konsequente Managementpläne fast unmöglich.

Die aktuelle Bilanz des Mittelmeers liest sich wie folgt: ca. 170 MPAs sind eingerichtet (Abb. 1, violett unterlegte Bereiche), 50 weitere befinden sich in Planung, 96 % liegen im nördlichen Teil des Beckens. Sie repräsentieren 4,6 % des Mittelmeers. Davon entfallen allerdings allein 3,5 % auf das Pelagos Sanctuarium in der Ligurischen See (Abb. 1), das dem Schutz der Walpopulationen dienen soll. Lediglich 0,1 % der MPAs sind als „no-take-areas“ ausgewiesen. Immerhin verfügen 42 % über eine Managementstruktur sowie dauerhaft beschäftigte Rangers. Ihre Einrichtung erfolgte bisher aufgrund nationaler bzw. regionaler Initiativen, die ihre Entscheidungen primär auf der Basis lokaler sozioökonomischer oder historischer Faktoren und nicht anhand makroökologischer, wissenschaftlicher Informationen fällten. Dabei wird immer deutlicher, dass der Schutzerfolg nicht allein

an der Größe von Schutzgebieten oder der darin lebenden charismatischen und in ihrem Schutzstatus besonders ausgewiesenen Arten gemessen werden kann. Zudem wird die statische Eigenschaft von MPAs den dynamischen Umweltbedingungen, etwa der Verschiebung von Verbreitungsgrenzen, wie sie der Klimawandel auslöst, nicht gerecht. Es wird also nötig sein, ein engmaschiges Netzwerk von Biodiversitäts-Hotspots zu schaffen, das die phylogenetische und funktionale Vielfalt mediterraner Arten widerspiegelt und zugleich über ausreichende Migrations- und Funktionskorridore verfügt, um den Genfluss trotz Habitatfragmentierung aufrechtzuerhalten. Eine wichtige Größe ist somit der Vernetzungsgrad der oft über weite Strecken verteilten MPAs. Er ist ein Maß dafür, wie gut es Populationen gelingt, über den Austausch von pelagischen Larven- und Jugendstadien bzw. Adulti ihren Fortbestand zu sichern. Ein solches Ausbreitungsmodell wurde kürzlich für den im Bestand bedrohten Braunen Zackenbarsch (*Epinephelus marginatus*) erstellt (Abb. 2E). Neben der Distanz zwischen den MPAs wurden für die Modellierung weitere biologische und physikalische Parameter wie die Dauer des pelagischen Larvenstadiums sowie die vorherrschenden Meeresströmungen berücksichtigt. Als Ergebnis stellten Andrello et al. (2013) fest, dass die Konnektivität der bestehenden Schutzzonen nicht ausreicht, um ausgehend von den 2–3 Zentren, die über eine gesunde *Epinephelus*-Population verfügen, andere MPAs zu „beimpfen“. Erkenntnisse wie diese beleuchten schlaglichtartig, welche neuen Herausforderungen mit dem Aufbau eines MPA-Netzwerks, das diesen Namen verdient in „unserem“ Meer zu bewältigen sind.

Literatur

- Andrello M, Mouillot D, Beuvier J, Albouy C, Thuiller W, et al. (2013) Low Connectivity between Mediterranean Marine Protected Areas: A Biophysical Modeling Approach for the Dusky Grouper *Epinephelus marginatus*. PLoS ONE 8: e68564
- Bianchi CN (2007) Biodiversity issues for the forthcoming tropical Mediterranean Sea. *Hydrobiologia* 580: 7–21
- Boero F (2014) The future of the Mediterranean Sea Ecosystem: towards a different tomorrow. <http://link.springer.com/journal/12210>
- Britten GL, Dowd M, Minto C, Ferretti F, Boero F, Lotze HK (2014) Predator decline leads to decreased stability in a coastal fish community. *Ecology Letters* 17: 1518–25
- CIESM (2001) Alien marine organisms introduced by ships in the Mediterranean and Black Seas. *CIESM Workshop Series*, 20, 136 pp, Monaco
- CIESM, The Mediterranean Science Commission (2009) CIESM Guide of Marine Research Institutes: <http://www.ciesm.org/online/institutes/marin.htm>
- Colinvaux PA (1979) Why Big Fierce Animals Are Rare: An Ecologist's Perspective. Princeton University Press, 264pp.

- Coll M, Lotze HK, Romanuk TN (2008) Structural degradation in Mediterranean Sea food webs: Testing ecological hypotheses using stochastic and mass-balance modelling. *Ecosystems* 11: 939–60
- Coll M, Piroddi C, Steenbeek J, Kaschner K, Ben Rais Lasram F, et al. (2010) The Biodiversity of the Mediterranean Sea: Estimates, Patterns, and Threats. *PLoS ONE* 5: e11842
- Colla F, Cardinale M, Maynou F, Giannoulaki M, Scarcella G, Jenko K, Bellido JM, Fiorentino F (2013) Rebuilding Mediterranean fisheries: a new paradigm for ecological sustainability. *Fish and Fisheries* 14: 98–109
- de Juan S, Leonart J (2010) A conceptual framework for the protection of vulnerable habitats impacted by fishing activities in the Mediterranean high seas. *Ocean & Coastal Management* 53: 717–23
- Friedlander AM, DeMartini EE (2002) Contrasts in density, size, and biomass of reef fishes between the northwestern and the main Hawaiian islands: the effects of fishing down apex predators. *Marine Ecol Prog Ser* 230: 253–64
- Fraschetti S, Guarnieri G, Bevilacqua S, Terlizzi A, Boero F (2013) Protection Enhances Community and Habitat Stability: Evidence from a Mediterranean Marine Protected Area. *PLoS ONE* 8: e81838
- Garrabou J, Coma R, Bensoussan N, Bally M, Chevaldonne P, et al. (2009) Mass mortality in northwestern Mediterranean rocky benthic communities: Effects of the 2003 heat wave. *Global Change Biology* 15: 1090–1103
- Galil BS (2008) Alien species in the Mediterranean Sea – Which, when, where, why? *Hydrobiologia* 606: 105–16
- Graham NAJ, Dulvy NK, Jennings S, Polunin NVC (2005) Size-spectra as indicators of the effects of fishing on coral reef fish assemblages. *Coral Reefs* 24: 118–24
- Gray JS (1997) Marine biodiversity: Patterns, threats and conservation needs. *Biodiversity and Conservation* 6, 153–75
- IUCN/UNEP (1988) The Mediterranean monk seal: Marine Mammal Action Plan Series, pp 1–59.
- Jackson JBC, Kirby MX, Berger WH, Bjorndal KA, Botsford LW, et al. (2001) Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science* 293: 629–38
- Knowlton N, Jackson JBC (2008) Shifting baselines, local impacts, and global change on coral reefs. *PLoS Biol* 6: e54
- Lotze HK, Coll M, Dunne JA (2011) Historical Changes in Marine Resources, Food-web Structure and Ecosystem Functioning in the Adriatic Sea, Mediterranean. *Ecosystems* 14: 198–222
- MedPAN Collection (2012) The status of Marine Protected Areas in the Mediterranean Sea 2012

- Mc Cauley DJ, Pinsky ML, Palumbi SR, Estes JA, Joyce FH, Warner RR (2015) Marine defaunation: animal loss in the global ocean. *Science* 347: DOI: 10.1126/1255641
- Mouillot D, Albouy C, Guilhaumon F, Lasram FBR, Coll M, Devictor V, Meynard CN, Pauly D, Christensen V, Dalsgaard J, Froese R, Torres F (1998) Fishing down marine food webs. *Science* 279: 860–3
- Mouillot D, Albouy C, Guilhaumon F, et al. (2011) Protected and Threatened Components of Fish Biodiversity in the Mediterranean Sea. *Current Biology* 21: 1044–50
- Natanson LJ, Skomal GB (2015) Age and growth of the white shark, *Carcharodon carcharias*, in the western North Atlantic Ocean *Marine and Freshwater Research* - <http://dx.doi.org/10.1071/MF14127>
- Pauly D (1995) Anecdotes and the shifting base-line syndrome of fisheries. *Trends Ecol Evol* 10: 430
- Pauly D, Christensen V, Dalsgaard J, Froese R, Torres F (1998) Fishing down marine food webs. *Science* 279: 860–3
- Pauly D, Graham W, Morissette L, Palomares Deng ML (2009) Jellyfish in ecosystems, online databases, and ecosystem models. *Hydrobiologia* 616: 67–85
- Pershing AJ, Mills KE, Record NR, Stamiezkin K, Wurtzell KV, Byron CJ, Fitzpatrick D, Golet WJ, Koob E (2014) Evaluating trophic cascades as drivers of regime shifts in different ocean ecosystems. *Philosophical Transactions B370*: 20130265
- Por FD (2009) Tethys returns to the Mediterranean: Success and limits of tropical re-colonization. *BioRisk* 3: 5–19
- Rivetti I, Frascchetti S, Lionello P, Zambianchi E, Boero F (2014) Global Warming and Mass Mortalities of Benthic Invertebrates in the Mediterranean Sea. *PLoS ONE* 9: e115655
- Rost D (2014) *Wandel (v)erkennen*, DOI 10.1007/978-3-658-03247-0_2, 17 © Springer Fachmedien Wiesbaden
- Sala E (2004) The Past and Present Topology and Structure of Mediterranean Subtidal Rocky-shore Food Webs. *Ecosystems* 7: 333–40
- Sala E, Knowlton N (2006) Global marine biodiversity trends. *Annu Rev Environ Resour* 31: 93–122
- Schmidt-Nielsen, K (1984) *Scaling: Why Is Animal Size so Important?* Cambridge University Press, New York. 241pp.
- Schmölcke U (2008) Fischhaltung im antiken Rom und ihr Ansehenswandel im Licht der politischen Situation. *Schr Naturwiss Ver Schlesw-Holst* 70: 36–55
- Stringer C, Finlayson J, Barton R, Fernandez-Jalvo Y, Caceres I, et al. (2008) Neanderthal exploitation of marine mammals in Gibraltar. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105: 14319–24

Sweeting CJ, Badalamenti F, D'Anna G, Pipitone C, Polunin NVC (2009) Steeper biomass spectra of demersal fish communities after trawler exclusion in Sicily. *ICES Journal of Marine Science* 66: 195–202

Trakadas LA (2006) Exhausted by fishermen's nets: Roman sea fisheries and their management. *Journal of Mediterranean Studies* 16: 259–72

Über die Autoren

Prof. Dr. Mathias Hafner studierte Biologie und Chemie an der Universität Heidelberg. Nach Stationen in Woods Hole und Pacific Grove und zahlreichen meeresbiologischen Expeditionen arbeitet er seit 1993 als Professor für Molekulare Zellbiologie an der Hochschule Mannheim. Seit 1998 ist er Mitglied der Medizinischen Fakultät Mannheim und Direktor am Institut für Medizintechnologie. Seine Arbeitsgebiete sind Mechanismen des Calciumsignals und die Lebendzellmikroskopie. Er ist Autor/Co-Autor von über 100 Originalpublikationen. Seit 2006 ist er Vorsitzender des Kuratoriums der BioRegion Rhein-Neckar. Der Meeresbiologie ist er bis heute treu geblieben.

Korrespondenz:

Prof. Dr. Mathias Hafner

Hochschule Mannheim, Institut für Molekular- und Zellbiologie

Paul-Wittsackstr. 10

68163 Mannheim

E-Mail: mathias.hafner@medtech.uni-heidelberg.de / m.hafner@hs-mannheim.de

https://www.researchgate.net/profile/Mathias_Hafner

Prof. Dr. Rüdiger Rudolf studierte Biologie an den Universitäten Heidelberg und Köln mit den Schwerpunkten Zoologie und Entwicklung von Nesseltieren. Zahlreiche meeresbiologische Expeditionen und umfangreiche Beschäftigung mit aquatischen Invertebraten. Promotion 2001 an der Universität Heidelberg. Nach Stationen Padua/Italien und Karlsruhe arbeitet er seit 2012 als Stiftungsprofessor für Biosensorik am Institut für Medizintechnik der Universität Heidelberg und der Hochschule Mannheim. Seine Arbeitsgebiete sind molekulare Biosensoren und deren Applikation in den Neurowissenschaften. Er ist Autor/ Co-Autor von mehr als 40 Originalpublikationen. Seit 2014 Investigator am Interdisziplinären Zentrum für Neurowissenschaften der Universität Heidelberg.

Korrespondenz:

Prof. Dr. Rüdiger Rudolf (ORCID ID 0000-0002-0833-1053)

Hochschule Mannheim, Institut für Molekular- und Zellbiologie

Paul-Wittsackstr. 10

68163 Mannheim

E-Mail: r.rudolf@hs-mannheim.de

<http://www.uni-heidelberg.de/izn/researchgroups/rudolf/>