

Die Mär vom grenzenlosen Reichtum: Was macht die Ozeane (un)produktiv?

Wolf E. ARNTZ und Jürgen LAUDIEN (Bremerhaven)

1 Einführung

Über lange Zeiten des Aufblühens menschlicher Zivilisationen wurden die Meere extensiv genutzt, und der Mensch konnte den Reichtum an Fischen, Schalentieren und Algen allenfalls im Strandbereich und in abgeschlossenen Buchten beeinflussen. Aus jenen goldenen Zeiten stammt offenbar die Vorstellung, die Ozeane seien unerschöpflich. Mit der stürmischen Entwicklung moderner Fangmethoden und der Freitaucherei bei gleichzeitig enorm gestiegener Nachfrage sind heute die meisten „lebenden Ressourcen“ auf Bruchteile ihres früheren Umfangs geschrumpft. Seit langem bemühen sich der *Internationale Rat für Meeresforschung* (ICES) und andere Organisationen um Schutzmaßnahmen und Fangbeschränkungen, und der einst grenzenlose Ozean wurde weitgehend in Fischerei- und Wirtschaftszonen aufgeteilt, um die Interessen der Küstenanlieger zu schützen. Heute sind nur noch zentrale Teile der Hoch- und Tiefsee ohne Grenzen; sie leisten jedoch nur einen kleinen Beitrag zu den biologischen Ressourcen.

Aber auch hier gibt es Forderungen, die auf eine Aufteilung hinauslaufen. „Lebende Ressourcen“ ist ein Begriff der Welternährungsorganisation FAO, der sämtliche Fischereierträge, auch ornamentalen Arten, die nicht zur Ernährung dienen, sowie Aquakulturprodukte im Meer und Süßwasser zusammenfasst.

Schon von ihren natürlichen Gegebenheiten her sind die Weltmeere unterschiedlich produktiv. Dies geht zunächst auf die jeweilige Breitengänge zurück, z. B. den Einstrahlwinkel der Sonne, die Tageslänge, die Licht- und Eisverhältnisse und die von diesen Faktoren abhängige Primärproduktion. Auch die Strömungsbedingungen im Meeresozean (Abb. 1) haben großen Einfluss auf die Produktivität. So sind die Zentren der großen

ozeanischen Wirbel „Wüsten im Meer“, in die Tiefsee gelangt nur ein Bruchteil der Oberflächenproduktion, aber der Auftrieb in den äquatorialen Divergenzonen bewirkt lokal eine Anreicherung der Hochsee. Dagegen sind die Gebiete des Küstenauftriebs auf der Ostseite von Pazifik und Atlantik, aber zum Beispiel auch vor Somalia, deswegen so produktiv, weil dort die Nährstoffe durch die Wirkung von Passatwinden oder Monsunen, Corioliskraft und Ekmanspirale in die euphotische Deckschicht zurückgeführt werden, wo Photosynthese stattfinden kann (Abb. 1). Hohe Produktion kennzeichnet auch die Flachmeere aller Breiten, wo die Düngung der Oberflächenschicht durch Gezeitenströme, Wind und Wellen erfolgt und die Produktion wesentlich vom Jahresgang der Sonneneinstrahlung gesteuert wird.

Interessanterweise sind gerade die an der Meeresoberfläche produktivsten Gebiete am Boden häufig extrem arm, was die nutzbaren Makroorganismen angeht, auf denen die menschliche Ausbeutung basiert. Diese Sauerstoffmangelzonen sind meist in mittleren Tiefen unter Küstenauftriebsgebieten zu finden, wo die extrem hohe Oberflächenproduktion nicht beim Absinken durch die Wassersäule bis zum Boden aufgearbeitet werden kann und die Zufuhr frischen, sauerstoffreichen Wassers durch stabile Temperatur/Salzgehalt-Schichtung in der Wassersäule und lange Wege gut durchlüfteter Wasserkörper über den Meeresgrund limitiert ist (Abb. 1).

Neben diesen natürlichen Voraussetzungen wird die Produktion im Ozean auch durch das Klima und durch menschliche Einwirkung beeinflusst, und mit diesen Faktoren möchten wir uns hier auseinandersetzen. Klimawandel findet ständig statt, von kurzfristigen Skalen (Wetter, Saisonalität) bis hin zum „Global Change“, der

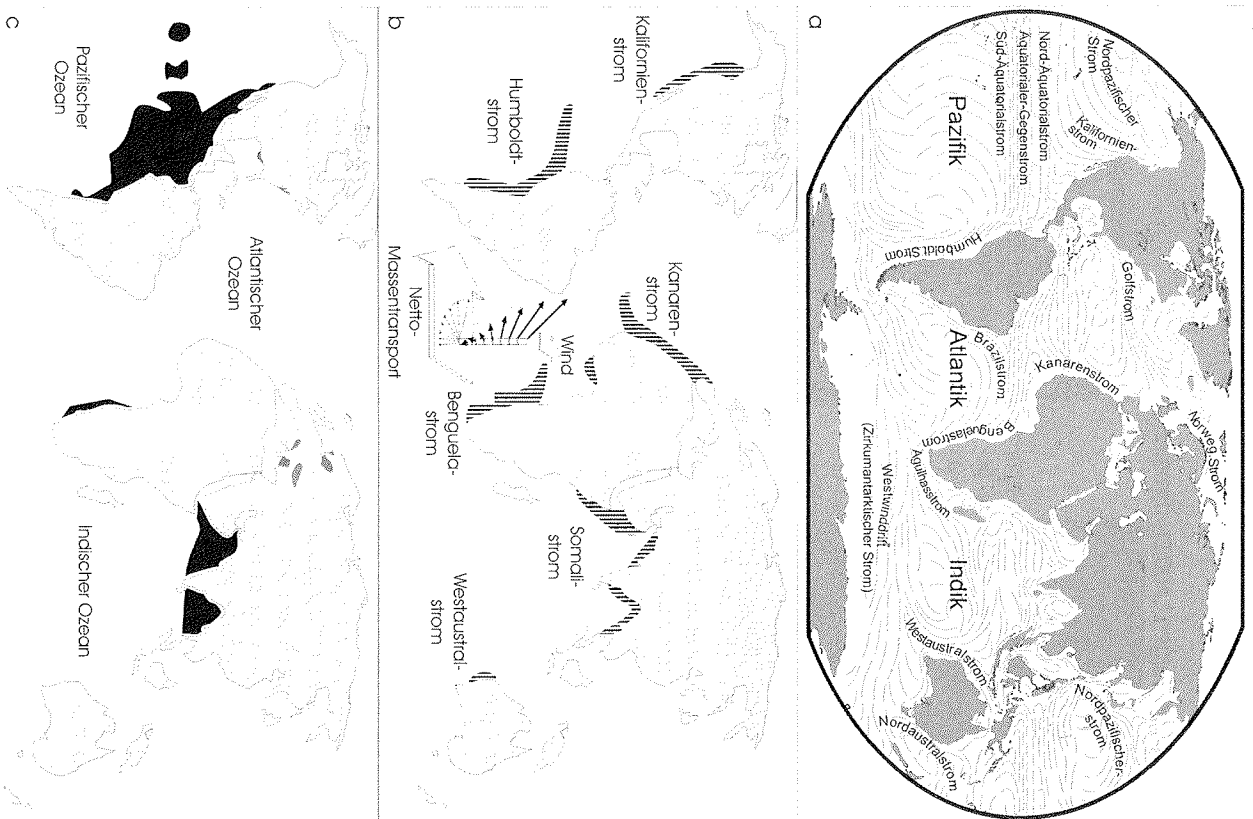


Abb. 1: Weltweite Verteilung a.) Der großen Strömungssysteme, b.) der Küstenauftriebsysteme, deren Wasserdelfizit durch einen Nettomassentransport im 90° Winkel zum küstennäheren Äquatorwärts gerichteten Wind zustande kommt (Ekmantransport), so dass nährstoffreiches Wasser mittlerer Tiefen an der Küste in die lichtdurchflutete Deckschicht gelangt und c.) der Sauerstoffminimumzonen am Boden (betroffene Gebiete des Weltozeans sind schwarz, hypoxische Randmeere und Flüde dunkelgrau eingzeichnet, nach Diaz & Rosenberg 1995).

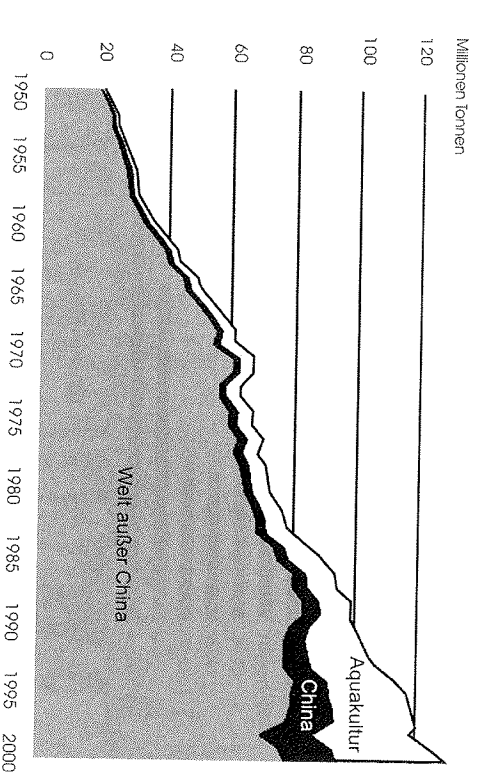


Abb. 2 Entwicklung der Weltfischereiproduktion (inkl. Aquakultur) in den vergangenen 50 Jahren. Der Rückgang der Wildfänge über die letzte Dekade ist deutlich zu sehen, wenn man die Anlandungen von China nicht in Betracht zieht (World Fisheries and Aquaculture Atlas, FAO 2003). Die Produktion aus der Aquakultur ist proportional enorm angestiegen (Aquakulturdaten von Vannucci 2003).

sich heute im Wesentlichen als Erwärmung zeigt, und zu langfristigen Zyklen von zehntausenden, hunderttausenden oder Millionen Jahren. Die enorme Bedeutung der Klimaschwankungen für lebende marine Ressourcen ist erst im letzten Jahrzehnt deutlich geworden, seitdem großflächige Monitoringprogramme in allen Meeren die verschiedenen Zeitskalen der Schwankungen detailliert erfassen. Lange Zeit wurden insbesondere die anthropogenen Einwirkungen – vor allem Fischerei und Verschmutzung – für die negativen Bestandsveränderungen verantwortlich gemacht. Inzwischen ist aber deutlich geworden, dass bei den Veränderungen der Bestände lebender Ressourcen gleichermäßen klimatische wie anthropogene Faktoren im Spiel sind.

Noch zu Beginn der 1970er Jahre betrug die Gesamtentnahme biologischer Ressourcen aus dem Wasser weltweit weniger als 60 Millionen Tonnen. Heute ist es mehr als das Doppelte (Abb. 2, 3). Angesichts dieser Steigerung stellt sich die Frage, weshalb so viele Biologen sich überhaupt Sorgen um die Zukunft der Meere

machen. Der vorliegende Beitrag versucht, auf diese Frage eine Antwort zu geben.

2 Klimaschwankungen auf unterschiedlichen Zeitskalen

„Klima“ ist nach dem Großen Brockhaus der „mittlere Zustand der Atmosphäre über einem bestimmten Gebiet und der für dieses Gebiet charakteristische Ablauf der Witterung“. Heute wird unter Klima „ein etwa 30-jähriges Witterungsgeschehen“ verstanden, „während man historisch größere Zeitschnitte... zusammenfasst“ (NEGENDANK 1995).

Abgesehen vom Wetter ist der kleinste Klimafaktor die Saisonalität. Sie ist in den Tropen mit Ausnahme besonderer Fälle wie den Monsunregionen meist schwach ausgebildet und nimmt zu den gemäßigten Breiten hin im Verlauf der Jahreszeiten zu. In der Regel sind die Organismen in diesen Klimazonen an solche Bedingungen angepasst, und Schäden entstehen vor allem dann, wenn einzelne Ereignisse über den systemüblichen Rahmen hinausgehen (ARNTZ

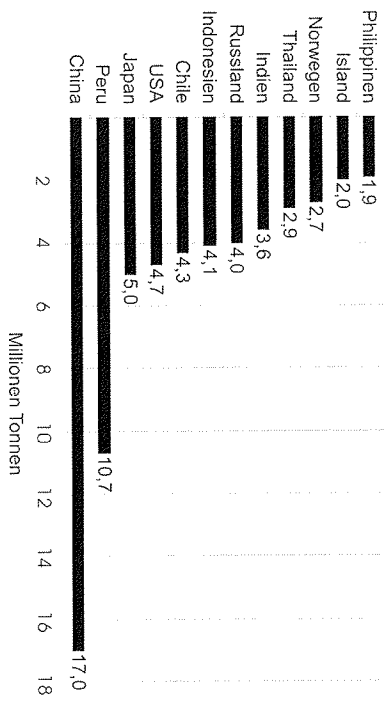


Abb 3: Meeres- und Süßwasserfischereierträge der 12 wichtigsten Fischereiländer im Jahr 2000 (modifiziert von: World Fisheries and Aquaculture Atlas, FAO, 2003). China, die USA und Japan sind aufgekommen, aber Peru und Chile halten ihre Positionen.

2001). Beispiele aus unserer näheren Umgebung sind Eiswinter, windstille, heiße Sommer mit Zusammenbrüchen des Sauerstoffregimes am Meeresboden, Blüten toxischer Algen aufgrund spezieller Wetter- und Schichtungsbedingungen und Erosion am Meeresgrund durch starke Stürme. Die Folgen solcher „Störungen“ für marine Organismen können katastrophal sein. Systeme, die häufig solchen Ereignissen ausgesetzt sind, haben aber eine gut entwickelte Fähigkeit, sich in kurzer Zeit (meist zwei bis drei Jahre) von den Schlägen zu erholen (ARNTZ 2001), und manche Arten profitieren sogar von Extremereignissen (STRASSER et al. 2002). In den Polargebieten kontrastiert die markante Saisonalität der Lichtbedingungen mit außergewöhnlicher Konstanz der Wassertemperaturen. Störungen der Bodentiergemeinschaften, insbesondere durch Eisbergkratzer auf dem Schelf (GUTT 2001) sind hier weniger saisonabhängig; die Erholungsphasen länger.

Ein Großteil der Klimaschwankungen fällt in den Bereich der interannuellen Schwankungen. Die bekannteste Klimaschwankung ENSO (El Niño-Southern Oscillation), wird durch immer noch nicht restlos geklärt Instabilitäten im Austausch

zwischen Ozean und Atmosphäre gesteuert. ENSO besteht aus einer Warmphase (El Niño, EN), die im Mittel sämtlicher Ereignisse alle vier, als stärkeres Phänomen durchschnittlich alle sieben Jahre auftritt, und einer zwischenzeitlichen Kaltphase (La Niña, LN), die manchmal etwa nach dem sehr starken EN 1982-83 – nicht sehr deutlich ausfällt (Abb. 4). Inwieweit LN überhaupt als eigenständiges Ereignis anzusehen ist, oder als die Normalität der betroffenen Ökosysteme, ist strittig. Im Gegensatz zu den Hintergrundbedingungen für das Auftreten von EN ist der Ablauf inzwischen sehr gut bekannt (WYRTKI 1982; 1985; ARNTZ & FAHRBACH 1991; SCHWING et al. 2002; ARNTZ & TARAZONA 1999). Drastische biologische Auswirkungen treten nur während starker und sehr starker EN auf; insbesondere für das Ereignis 1982-83 (im Bereich des Kalifornienstroms auch noch 1984) sind sie ausführlich beschrieben worden (z. B. WOOSTER & FLUHARTY 1985; ARNTZ 1986; GLYNN 1990; ARNTZ & FAHRBACH 1991).

Die abiotischen Veränderungen sehr starker EN wie 1982-83 und 1997-98 beschränkten sich keineswegs auf den Anstieg der Wassertemperaturen, sondern umfassten eine große Zahl

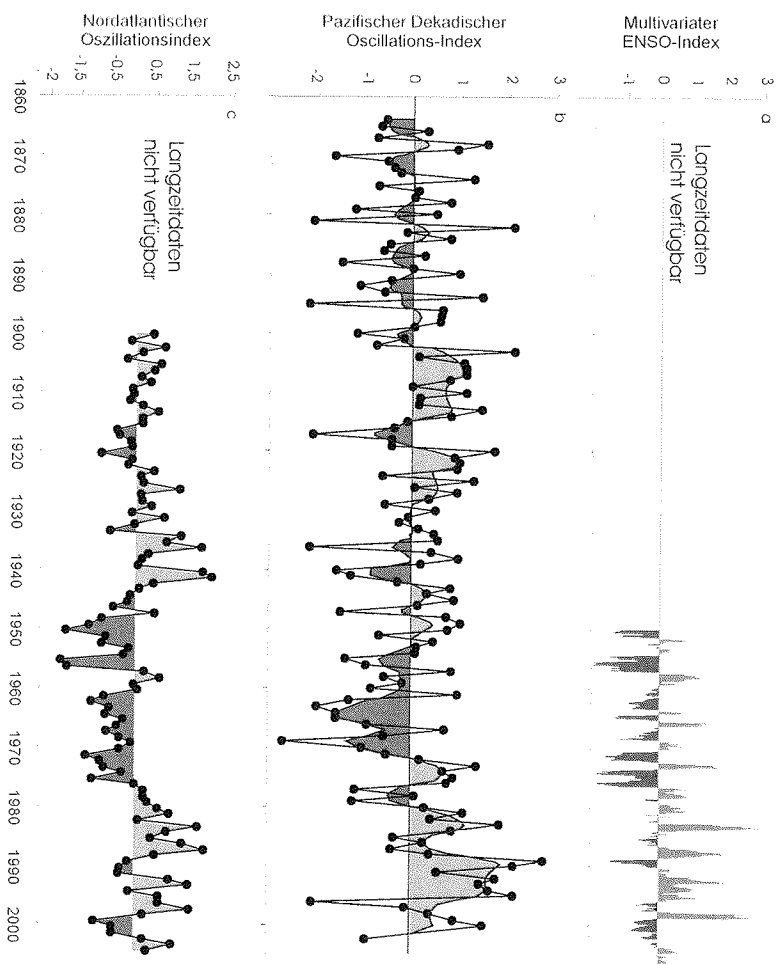


Abb. 4: Klimaschwankungen auf unterschiedlichen Skalen: a: interannuelle Schwankungen El Niño-Southern Oscillation (ENSO) bestehend aus einer Warmphase (El Niño) und einer Kaltphase (La Niña); b: dekadische Schwankungen: Nordatlantische Oszillation (NAO); und c: reziduelle Dekadische Oszillation (PDO). Die früheren Warm- und Kaltphasen der verschiedenen Klimaphänomene schwanken bis zu einem gewissen Grad synchron. Darin liegt in dieser Form erst seit Mitte des vorigen Jahrhunderts verfügbar: (Daten von NOAA, Arctic's Climate Diagnostic Center, University of Colorado at Boulder)

anderer Variablen (ARNTZ & TARAZONA 1999). Die Auswirkungen auf die biologischen Ressourcen waren 1982-83 überwiegend negativ, vor allem im Pelagial und im gut belüfteten Flachwasserstreifen vor der peruanischen und nordchilenischen Küste, die den größten Beitrag zu den Fängen dieser Länder liefern. Das pelagische Nahrungsnetz des Auftriebssystems (Kleinfägen-Herbivore, Krabbe-Pelagische, Schwammfische-Raubfische, Robben und Seevögel) brach fast vollständig zusammen und wurde durch ein biomassearmes tropisches Netz ersetzt, in dem für Fische nicht nutzbare Kleinstalgen, gelatinoöse Zooplankter und Fische aus äquatorialen und

ozeanischen Regionen dominierten. Die Zielarten der Fischmehlfischerei, Anchovy (Engraulis ringens) und Sardine (Sardinops sagax) stellten die Fortpflanzung ein, wanderten in tieferes Wasser oder polwärts, und die Ringwadenfischerei kam vor Peru ganz zum Erliegen, während vor Chile noch die südwärts gewanderten Sardinen gefischt wurden. Die beiden in Peru und Nordchile vorkommenden Robbenarten, Seebär (Arctocephalus australis) und Seelöwe (Otaria byronia) sowie die Guanovogel (Guanay-Kormoran, Phalacrocorax bougainvillii, Guanotipeel Sula variegata und Meerespelikan Pelecanus thagus), erfuhr als Spitzenkonsumenten empfindliche

Verluste, die durch eingewanderte tropische Fische nicht gemildert wurden.

Im Flachwasser der Sand- und Felsküsten erlitten Makroalgen und Wirbellose Massenmortalitäten (ARNITZ et al. 1988), die verheerende Auswirkungen auf die handwerkliche Kleinfischerei hatten (ARNITZ & FAHRBACH 1991). Hier kam es jedoch lokal zu einer gewissen Kompensation durch eine Massenerwicklung der Pilgermuschel *Argopecten purpuratus*. Die im Küstenstreifen lebenden Fische wanderten großenteils polwärts oder auf dem Kontinentalhang in kühleres Wasser ab; die dispersen Bestände konnten nicht befishet werden.

Vor Nordamerika (Kalifornien und Oregon) im Bereich des Kalifornienstroms waren 1982-83 spiegelbildlich ähnliche, aber weniger drastische Auswirkungen zu beobachten (z. B. WOOSTER & FLUHARTY 1985). 1997-98 war die Stärke der Auswirkungen eher umgekehrt, vermutlich weil dieser EN anders als in den Jahren 1982-83 im Frühjahr der Nordhemisphäre begann. In beiden EN lagen die Schäden weltweit bei hohen Milliarden-Dollarbeträgen. Das schließt allerdings Auswirkungen im terrestrischen Bereich und in Korallenriffen des tropischen Warmwassergürtels ein, wo die Überschiebung der oberen Temperatur-Toleranzgrenzen zum Ausbleichen der Korallen mit erheblichen negativen Konsequenzen für die assoziierten Arten führte (GLYNN 1990).

EI Niño wirkt sich also kurzfristig sehr deutlich auf lebende Ressourcen aus und bringt die Fischerei und nachgeschaltete Wirtschaftszweige in arge Bedrängnis. Wie bei den saisonalen Extremereignissen beschränkt sich die Wirkung

zumindest in Auftriebsystemen i.d.R. auf wenige Jahre, weil auch diese Ökosysteme sehr flexibel sind. In Korallenriffen dauert sie erheblich länger.

Zu erwähnen ist bei den interannuellen Klimawechseln noch die Zirkumantarktische Welle, die in einem Zeitraum von acht Jahren um die Antarktis läuft und eng mit ENSO verknüpft ist. Über die Auswirkungen wissen wir erst sehr wenig, aber diese Welle könnte als Verursacher heftiger Schwankungen des Krillvorkommens und damit der Nahrungsbasis für die meisten antarktischen Spitzenkonsumenten in Frage kommen, die bisher der ENSO zugeschrieben wurden, vielleicht auch für den sporadischen An siedlungserfolg von Benthosorganismen (DAYTON 1989).

Dekadische Schwankungen nehmen mit zwei Phänomenen im Atlantik und Pazifik nachhaltigen Einfluss auf Bestandsschwankungen von Fischereiprodukten. Die Nordatlantische Oszillation (NAO) schwankt mehr oder weniger regelmäßig zwischen warmen und kalten Phasen, die von deutlich weniger als zehn Jahren bis zu mehreren Jahrzehnten dauern können. Die Übergänge werden als „Regimewechsel“ bezeichnet. In den verschiedenen Phasen der NAO dominieren verschiedene Fischarten in der Nordsee, zum Beispiel in den Kalphasen der Hering (*Clupea harengus*) und in den Warmphasen die Sardine (*Sardina pilchardus*) (ALBERT & HAGEN 1997). Dieses Wechselspiel hatte bereits im Mittelalter große ökonomische Auswirkungen in Nordeuropa, etwa beim Bohuslän-Hering (ALBERT & HAGEN 2002), und könnte sogar die Geschichte

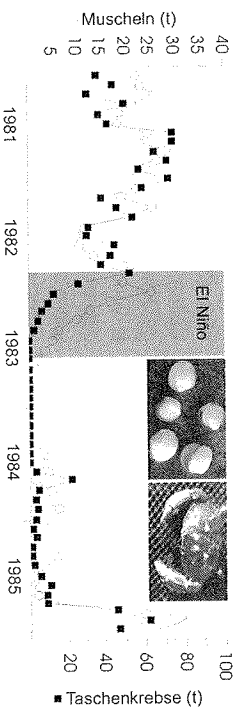


Abb. 5: Starkere Rückgang der Anlandungen von Muscheln (*Gari solitica*) und Taschenkrebsen (*Cancer spp.*) in Pisco (Peru, 14°S) während EN 1982/83. Die Bestände erholt sich im dritten Jahr (Arnitz et al. 1988).

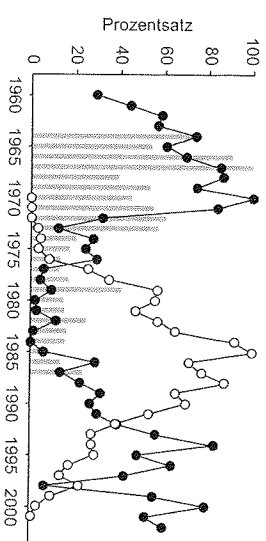


Abb. 6: Schwankungen der Anchovy- (● Nord- und Zentraperu) und Sardinfänge (○ Nord-, Zentral-, Südpacu und Nordchile) sowie das ± vorhandene Plankton (Daten für 1964-1987). Der jeweils höchste Fang wurde 100% gleichgesetzt (modifiziert von Alheit & Niquen 2004).

der Hanse beeinflusst haben, die zunächst den vor Schonen im Öresund gefangenen baltischen Hering gegen Salz aus der Lüneburger Heide tauschte, aber nach Wechseln zwischen guten und schlechten Hering-Perioden zunehmend diversifizieren musste. Auch der Kabeljau im Nordatlantik wird stark von der NAO-Dynamik beeinflusst; er gehört – mit Ausnahme der weit im Norden lebenden Bestände – zu den Arten, die in Kalphasen gefördert werden (LANNIG et al. 2004).

Die pazifische dekadische Oszillation (PDO) oszilliert über ähnliche Zeiträume wie die NAO, meist wohl etwas länger (Abb. 4), und wirkt sich über die Planktonzusammensetzung sehr deutlich auf die Dominanzverhältnisse und Bestandsstärken der pelagischen Schwarmfischbestände aus (vor allem Sardellen, A. ringens, und Sardinen, S. sagax). Die dekadische Rhythmik der PDO überschneidet sich stark mit den interannuellen Fluktuationen des ENSO-Zyklus. Dabei führt EN zu relativ kurzfristigen Einbrüchen und Massenerentwicklungen oder Einwanderung fischerlich genutzter Arten, während die PDO in ihren Warm- oder Kalphasen jahrzehntelange Veränderungen der Dominanzverhältnisse hervorruft, die für das Plankton und die pelagischen Schwarmfische gut belegt sind (Abb. 6). Das hat in der Vergangenheit, als die Bedeutung der PDO noch nicht bekannt war, gelegentlich zu Verwirrung geführt, weil die Dauer von Erholungsphasen oder Bestandssammenbrüchen

nicht mit dem ENSO-Rhythmus erklärt werden konnte.

Sowohl die interannuellen als auch die dekadischen Klimaoszillationen dokumentieren sich in verschiedenen „Proxies“ wie Baumringen (MILCHAEISEN 1989), Gletscherkappen (THOMPSON et al. 1984) oder, im Meer, in der Sedimentschichtung mit Vorkommen von Schuppen dominanter Arten (BAUMGARTNER et al. 1992), in Ablagerung von Schwermetallen in Korallenstöcken (SHEN & SANFORD 1990). Mit diesen Klimareihen können die Schwankungen recht weit in die Vergangenheit zurückverfolgt werden.

Über die dekadischen Schwankungen hinaus gibt es weitere Klimaoszillationen im Jahrtausendbereich, wie die „Kleine Eiszeit“ zwischen ca. 1600 und 1800, oder im Jahrtausendbereich, wie das „Holozäne Maximum“ vor 5000-6000 Jahren. Diese centennialen und millennialen Veränderungen haben sich ebenfalls auf die lebenden Ressourcen ausgewirkt, aber die Belege dafür sind spärlicher. Immerhin ist bekannt, dass Heringe während der „Kleinen Eiszeit“ im Überfluss, Sardinen dagegen spärlich in der Nordsee vorkamen (OTTERTSEN et al. 2004). Diese kühle Periode ist auch in den Sedimenten vor der kalifornischen Küste anhand der Anchovy- und Sardinenominanz zu erkennen (BAUMGARTNER et al. 1992).

Der Zeitskala folgend sind die Eiszeiten und Interglaziale zu nennen, die mit erheblichen Veränderungen der polaren Eiskappen einhergingen.

gen. „Milankovich-Zyklen“ mit einer Phase um 100.000 Jahre beruhen auf orbitalen Veränderungen. Mit hoher Frequenz erfolgten diese Oszillationen erst im Pleistozän. Eine Eiskappe in der Ostantarktis scheint es dagegen schon seit dem Oligozän gegeben zu haben, und Extinktionen der Fauna gab es über das gesamte Tertiar. Ein interessanter Beleg für Anpassungen in der Antarktis sind die vielen „aurybathen“ Benihosarten, die der vorrückenden Eiskappe auf den Kontinentalshelf ausweichen konnten, indem sie weite Tiefenbereiche vom Flachwasser bis in die Tiefsee besiedelten (Brey et al. 1996). Arten, die das nicht vermochten, starben beim Vorrückten des Eises aus. Dies zeigen subfossile und fossile Ablagerungen von Leitfossilien sowohl in der Antarktis als auch in der Arktis.

Gegenwärtig befinden wir uns in einem interglazial, und statistisch gesehen sollte ein deutlicher Klimawechsel erst wieder in ca. 60.000 Jahren eintreten. Aufgrund menschlicher Einwirkungen beschleunigt sich aber derzeit die globale Erwärmung mit einer bislang unbekanntem Geschwindigkeit (IPCC 2001). Alle Anzeichen sprechen eher für einen Trend, der sich noch mindestens auf Jahrhunderte fortsetzen wird. Dieser Temperaturanstieg geht deutlich über das normale „Rauschen“ hinaus (KARL & TRENBERTH 2003). Die Vorhersagen des IPCC liegen im globalen Mittel bei Temperaturanstiegen zwischen 1,4 und 5,8°C bis zur nächsten Jahrhundertwende, bei wahrscheinlich deutlich höheren Anstiegen im Nordpolbereich. Fatal ist, dass die niedrigeren Werte für den Fall gelten, dass die Menschheit die Treibhausgas-Emissionen schnell drastisch senkt, was zurzeit eher unwahrscheinlich ist.

Die globale Erwärmung unterscheidet sich grundsätzlich von den kürzestfristigen Klimaschwankungen, bei denen das marine Ökosystem spätestens innerhalb eines Menschenlebens in den vorhergehenden Zustand zurückschwingt. Wir können davon ausgehen, dass eine Fortsetzung des gegenwärtigen Trends durch viele Veränderungen im marinen Milieu gekennzeichnet sein wird, die wir bereits bei den kurzfristigen

Schwankungen beobachtet haben. Im Moment vermag niemand abzuschätzen, was genau es bedeutet, wenn diese Trends auf absehbare Zeiträume übertragbar sind, aber wir stehen mit Sicherheit vor einschneidenden Veränderungen, die sich im größten Teil der Arktis und an der Antarktischen Halbinsel mit anomalen Temperatursteigerungen und Eisrückgang bereits andeuten, allerdings nicht in Grönland und auf dem Antarktischen Kernkontinent (VAUGHAN et al. 2003).

3 Fischerei: Schwindende Ressourcen

Der derzeit vielleicht wichtigste indirekte anthropogene Eingriff ist die Beschleunigung der globalen Erwärmung durch Treibhausgasemissionen. Daneben gibt es eine ganze Reihe direkter anthropogener Maßnahmen, welche die Lebensbedingungen im Meer und die lebenden Ressourcen nachhaltig verändern.

Die bei weitem größte Gruppe direkter anthropogener Negativfaktoren stellt die Fischerei. Mitte der 70er Jahre wurden noch große Fischereipotenziale, besonders für Indki, Ostpazifik und Westantarktis gesehten (HEMPEL 1979). Seitdem jedoch Schleppnetze, Ringwaden und andere Fanggeräte die heutige Effizienz erreicht haben, ist es sukzessive zur Überfischung vieler Bestände gekommen. Neben der direkten Einwirkung von Grundschieppnetzen auf den Meeresboden hat dieses Problem die Fischereibiologen bereits seit Jahrzehnten beschäftigt. Überfischung kann auf vielen Ebenen stattfinden. So können die Eierbestände so weit heruntergefischt werden, dass der produzierte Nachwuchs nicht mehr zur Bestandserhaltung ausreicht (Rekrutierungsüberfischung). Das betrifft insbesondere die so genannten K-Strategen wie Haie und Rochen, die anstelle der Massenproduktion von Eiern auf eine geringe Zahl gut ausgestatteter Nachkommen setzen (TEGNER & DAYTON 1999). Heute sind jedoch selbst hochproduktive Arten wie der Kabeljau betroffen, deren Weibchen Millionen von Eiern erzeugen. Dem gegenüber lässt die Wachstumsüberfischung die Res-

source nicht mehr das Alter erreichen, in dem sie sich fortpflanzt, weil die Fische bereits in jungem Alter weggefangen werden.

Beispiele für Überfischung gibt es reichlich, seit die kalifornische Sardine den Anfang machte. Wir nennen nur einen Bruchteil der Beispiele: Peruanische Anchovy, Nordseeering, Neufundland-Kabeljau, Ostseedorsch, Nordseekabeljau, Heilbutt und Rotbarsch, roter Zackenbarsch und Rotschnäpper im Golf von Mexiko sowie viele Wirbellose. Außerhalb sicherer biologischer Grenzen befinden sich im arktischen Teil des Nordatlantiks Kabeljau, Schellfisch, Blauer Wittling und Robbarsch; in der Nordsee Seehecht, Wittling, Kabeljau, Scholle und Seezunge; in der Ostsee Dorsch und Hering (ICES 2003). Der europäische Aalbestand und dessen Larvenaufkommen befinden sich auf einem historischen Tief (WGEEL des ICES, Vigo, Sept. 2004). Überfischung ist dafür nur eine, aber wohl die wichtigste Ursache. Weltweit werden 40 Prozent der Bestände vollständig befischt, etwa ein Drittel ist überfischt (DAYTON et al. 2003). Allerdings gibt man heute der Überfischung nicht mehr die Allensschuld an den schwindenden Ressourcen; vor allem bei den pelagischen Schwarmfischen sind Rückgänge durch ungünstige Klimaregime offenbar vorprogrammiert, und die Fischerei gibt dem Bestand unter solchen Bedingungen nur den Rest. Umgekehrt kann fortgesetzte Überfischung natürlich auch die Erholung verzögern.

In der Antarktis, die einen besonderen Verdragsystem unterliegt und deren lebende nutzbare Ressourcen südlich von 60°S von CCAMLR (*Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources and Stocks*) verwaltet werden, wurden mehrere wertvolle Ressourcen nacheinander völlig überfischt. Zunächst traf es den Marmorbarsch (*Nototothenia rossii*), dessen anfänglich hohe Anlandungen binnen drei Jahren von rund 400.000 Tonnen auf Null kollabierten, dann die Eisfische (Fam. Channichthyidae) und schließlich den Schwarzen Seehecht (*Dissostichus eleginoides*), der vermutlich nur deshalb noch als Ressource existiert, weil sein Bestand

an den Südkontinenten abtaucht und fast bis zum Äquator reicht. Die Befischungsstrategie der Antarktische erinnert fatal an den antarktischen Walfang, in dessen Verlauf ebenfalls ein Bestand nach dem anderen dezimiert wurde (EVERSON 1987). Die wirbellosen Ressourcen um den Sechsten Kontinent sind bislang weitestgehend von Ausbeutung verschont geblieben, wenn man von den Steinkrabben (Lithodidae) bei South Georgia absieht, die in der Saison 1995/96 Fänge um die 500 Tonnen erbrachten (CCAMLR 2003), dann aber nicht mehr befischt wurden, weil die Fänge nicht mehr lohnten. Alle antarktischen lebenden Ressourcen haben den Nachteil, dass das Wachstum stark saisonal und langsam ist. Die Erstreife wird bei vergleichsweise hohem Alter erreicht, die Zahl der Nachkommen ist gering, und heruntergefischte Bestände wachsen zu langsam nach, um hohem Fischereidruck standzuhalten. Im Vergleich zu den übrigen Ozeanen sind die antarktischen Fänge, inklusive des pelagischen Krillfangs mit weniger als 0,1 Prozent Anteil an der Weltproduktion, minimal, und der Wert aktueller und potenzieller Anlandungen aus der Grundschieppnetzerei wiegt aus ökologischer Sicht die Zerstörungen an der Bodenfauna in keiner Weise auf. Trotzdem wird den wertvollen Antarktischen weiterhin nachgestellt, mit einem hohen Anteil von nicht von CCAMLR lizenzierten Fischern, für die das Risiko aufgrund der hohen Marktpreise lohnt.

Ein weiteres großes Fischereiproblem sind die Beifänge, das sind die Arten, die nicht Ziel der Fischerei und oft auch nicht nutzbar sind, aber aufgrund mangelhafter Selektivität der Netze mitgefangen werden. Noch heute geht ein großer Teil der gefangenen Fische und Wirbellosen wieder über Bord, wobei die meisten von ihnen dies nicht überleben (BERGHAN et al. 1992; LINDBOOM & DE GROOT 1998).

Inzwischen haben sich große Fischereien auf den Fang von „industriefisch“ (HUBOLD 1997) spezialisiert, bei dem sowohl kleine Arten als auch die Jugendstadien großer Arten gefischt und zu Fischmehl und Fischöl verarbeitet wer-

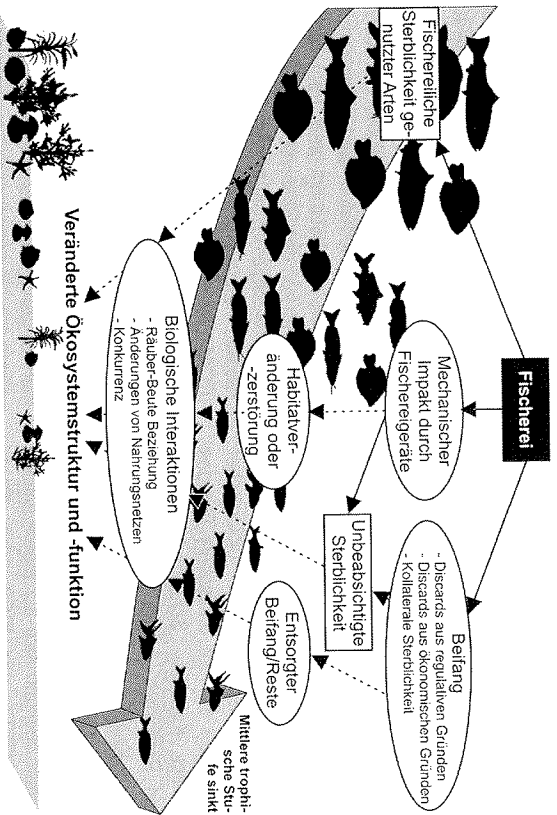


Abb 7: Viele große, alte Fische und großwüchsige Arten sind sehr selten geworden: "Fishing down the food web" (Pauly et al. 1998) senkt zudem die mittlere trophische Stufe der Fänge. In extrem überfischten Gebieten kann das dazu führen, dass nur noch Seesterne und Medusen gefangen werden. Die gesamte Struktur des Ökosystems und dessen Funktion sind beeinträchtigt (modifiziert aus Pauly et al. 1998).

den. Manche dieser Fische, wie beispielsweise Sardellen und Sardinien, könnten auf andere Weise gar nicht in großen Mengen vermarktet werden. Große, gut verkäufliche Exemplare werden jedoch nur selten aus diesen Fängen herausgesucht und gehen mit in die Fischmehlfabrikation. Besonders bedenklich wird es, wenn wie in Chile für den menschlichen Konsum gut verwertbare Arten wie etwa ausgewachsene Holzmakrelen direkt für die Fischmehlindustrie gefangen werden.

Der gradenlose Einsatz hocheffizienter Fanggeräte hat weltweit dazu geführt, dass große, alte Fische vieler Arten, und großwüchsige Arten überhaupt, selten geworden sind. "Fishing down the Food Web" nennt der Fischereibiologe Daniel Pauly diese Verhaltensweise (PAULY et al. 1998): ein anderer Ausdruck ist "Ökosystemüberfischung". Im Extremfall führt das dazu, dass wertvolle Arten durch kommerziell wertloses

Jahrzehnte haben viele Fischereien weltweit, besonders in Entwicklungsändern, das Prinzip „hit and go“ angewandt – frei übersetzt: „fisch alles ab und nach mir die Sinfitt“. Das konnte nur deshalb noch Erträge bringen, weil irgendwo immer noch Restbestände vorhanden waren, aber eben das hat sich in letzter Zeit grundlegend geändert. Inzwischen mehren sich die Hinweise, dass es immer häufiger auch zu ökonomischer Überfischung kommt.

4 Fischerei: Einwirkungen auf das Ökosystem

Der direkte Einfluss von Grundschleppnetzen jeder Art besteht vor allem in der Vernichtung komplexer Strukturen am Meeresboden. Komplexität fördert die Artenvielfalt und die Biomasse. Ein pfiffiger Fischer von den Nordseehalligen, der als Entwicklungshelfer in Südstasien eingesetzt war, brachte immer Büsche auf dem strukturlosen Weichboden aus, bevor er ihn einige Tage später mit dem Schleppnetz beifischte – mit glänzendem Erfolg. Die FAO hat solche „FADS“ (Fish Aggregating Devices) sogar in ihr Trainingsprogramm aufgenommen (FAO 1989).

Sukzessive sind Makroalgenbestände, Kaltwasserkorallen und andere „Ökosystem-Architekten“ über weite Bereiche durch die Grundschleppnetzfischerei vernichtet worden, mit äußerst negativen Folgen für die lebenden Ressourcen, denn Meeresböden ohne Struktur herbergen sehr viel weniger Fische und nutzbare Wirbellose als strukturreiche Gebiete. Negativbeispiele sind die vernichteten Braunalgenbestände in den europäischen Nordmeeren und vor der amerikanischen Ostküste, die zerstörten Riffe der Kaltwasserkoralle *Lophelia pertusa* in der nördlichen Nordsee, im Nordostatlantik (SCHIERMEIER 2002; ROBERTS et al. 2003) und im Mittelmeer sowie Seegrasswiesen in vielen Gebieten (JACKSON et al. 2001). Selbst in der südlichen Nordsee, mit ausgedehnten Sand- oder Schlickflächen, gab es vor der drastischen Zunahme der Grundschleppnetz-Fischerei verschiedene Strukturen (Seegrasswiesen, Wurmri-

fe, Austernbänke), welche die Biodiversität erheblich gefördert haben dürften (REISE 1994, 2005). Heute geht das Grundschleppnetz oder die Baumkrone über manche Flächen bis zu zehnmal pro Jahr, mit dem Verlust jedweder Struktur sowie der Vernichtung der meisten großwüchsigen und langlebigen Arten. Auch hier ist das Endergebnis die Förderung von Arten, die für die Fischerei keinen und als Fischnahrung nur begrenzten Wert haben, wir haben es also wieder mit Ökosystemüberfischung zu tun. Nur wenige nutzbare Arten, in der Nordsee und auf der Georges Bank vor Nordamerika vor allem Krebsstiere wie Garnelen und Taschkrebse beziehungsweise Hummer, profitieren scheinbar von solchen Bedingungen, aber der Grund ist wahrscheinlich das Abfischen ihrer großen Feinde (JACKSON & SAVA 2001).

Komplexität und Biodiversität werden natürlich auch durch andere Faktoren vernichtet. So ist der Gebrauch von Dynamit vor allem in tropischen Gewässern ein „albewährtes“ Hilfsmittel, um im Riff versteckte Fische zu erbeuten. Ebenso wie beim Einsatz von Cyanid vorwiegend in jüngerer Zeit sind dabei die Nebenwirkungen noch größer als die Auswirkungen auf die Zielarten. Sprengstoff zerstört die Rifffstruktur. Gift greift zwar das Gerüst von Rifften nicht an, tötet aber ungezählte Fische und Wirbellose, auf die es die Fischer nicht abgesehen haben. Hier geht es meist um einzelne, sehr große und wertvolle Fische, die sich im Gegensatz zu den Begleitarten von dem Giftleinsatz erholen und in teuren Restaurants zu horrenden Preisen angeboten werden.

Im Palagial der Hochsee bringt die Fischerei andere Probleme. Hier werden keine Strukturen vernichtet, aber kilometerlange Treibnetze fangen neben den Zielarten, meist Thune und Hochseemakrelen, auch viele Haie, Schildkröten, marine Säuger und tauchende Seevögel. Bei Langliefenfishereien sterben hunderttausende Seevögel, die beim Versuch, die Köder zu ergreifen, gehakt und in die Tiefe gezogen werden (DAYTON et al. 2003). Ansätze, dies zu verhindern, wie etwa das Aussetzen der Leinen unter

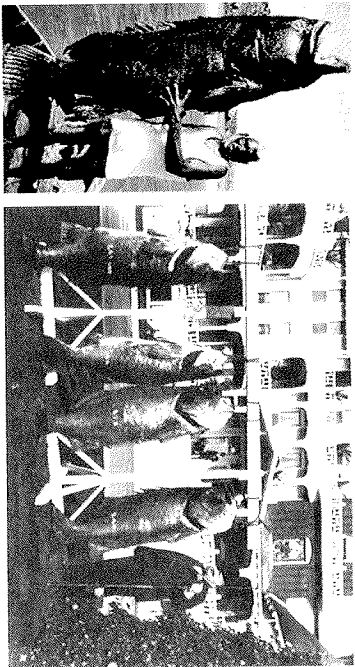


Abb. 8: links 300kg schwerer Zackenbarsch von Australien (http://people.leece.ac.uk/sportfishing/zackenbarsch.jpg), rechts Angler mit seiner "Tagesstricke" an Zackenbarschen im Dezember 1905 (aus Jackson et al. 2001).

Wasser oder bei Nacht, werden allenfalls von lizenzierten Fischern respektiert. Warmblüter und Schildkröten können auch als Beifänge im Schleppnetz landen. Schildkröten werden in den USA häufig beim Schleppen auf Garnelen getötet. Ein ganz anderes Problem sind Verhaltensänderungen bei Vögeln und Fischen, die durch über Bord gegebene Beifänge und Innereien bewirkt werden (Hüppop et al. 1994, WALTER & BECKER 1994; WALTER 1999). Seevögel wie Möwen und Pelikane können von dieser „Fütterung“ so abhängig werden, dass sie bei Einstellung der Fischerei (z.B. Schonzeiten) kaum noch zu eigenem Beutefang in der Lage sind.

Die Nutzung von frei lebenden biologischen Ressourcen jedweder Art stößt, auch aufgrund ihrer Nebenwirkungen, weltweit an ihre Grenzen, was sich nicht nur in dem allmählichen Rückgang der Wildfänge an Fisch und Schalentieren zeigt, sondern auch in der Größenzusammensetzung dieser und ornamentalen Arten. Von vielen Fischen, Krebsen und Mollusken sind ausgewachsene Exemplare heute nur noch selten zu finden (JACKSON & SALA 2001). Riesengrouper, standorttreue Zackenbarsche von bis zu mehreren Metern Länge, mit denen sich die glücklichen Angler und Unterwasserjäger in der Freizeit der Freitaucherei zuweilen nach Art der Großwildjäger präsentierten (Abb. 8), existieren

nur noch in marinen Reservaten wie den Medes-Inseln an der Costa Brava.

Auf Felsböden hielten früher große Räuber (Zackenbarsche, große Krebse, Seeotter) herbivore Arten wie zum Beispiel die Seeigel unter einer Bestandgröße, bei der Dauerschäden an der strukturbildenden Vegetation, insbesondere den Braunalgen, angerichtet werden (TEGNER & DAYTON 1999). Nach der weitgehenden Auslöschung dieser Spitzenkonsumenten können sich die herbivoren Formen ungebremst ausbreiten (DAYTON 2003). Aufgrund von Daten aus der Langleinfischerei seit 1960 schätzen MYERS & WORM (2003), dass die Biomasse großer Raubfische heute weniger als zehn Prozent der Biomasse jungfräulicher Bestände beträgt. Die Folgen sind an vielen Stellen des Mittelmeeres zu sehen: kahle Felsen ohne Vegetation und Massenentzuckerter Artenvielfalt im Flachwasser. In tropischen Korallenriffen (PENNISI 1997), wo früher algenfressende Schildkröten und Fische die Korallenstöcke frei von Algenbewuchs hielten, übernahmen nach der Dezimierung dieser Pflanzenfresser durch die Fischerei zunächst Seeigel diese Rolle. Diese wurden aber durch Hurrikane und Krankheiten dezimiert, und viele Riffe anschließend (wie beim Ausbleichen) von Algen

überwachsen, die keine artreichen Gemeinschaften zulassen.

5 Andere anthropogene Einflüsse

Tropische Korallenriffe werden derzeit stark durch Erosion infolge der Abholzung von Waldbeständen und Mangrovenrückrichten an der Küste geschädigt. Die empfindlichen Filterapparate der Korallenpolypen werden mit dem starken Anfall von Partikeln nicht fertig und sterben ab (CORTES & RISK 1985). Der weltweit stark angestiegene Tourismus zerstört viele Korallenriffe. Sportbootfahrer und Sporttaucher beschädigen die Riffe durch (un)beabsichtigtes Abbrechen von Korallenkolonien, Nichttaucher durch Trampeln auf den Riffröhren (LÖFFLER 2002), nicht zuletzt während der niedrigen Wasserstände, die El Niño im Westpazifik verursacht. Allerdings dürfen die Auswirkungen dieser menschlichen Eingriffe im Indischen Ozean durch das Seebeben vom Dezember 2004 mit nachfolgendem Tsunami für eine Reihe von Jahren in den Schatten gestellt werden.

Die starke Zunahme von Freizeiteinrichtungen wie Marinas und Häfen hat an vielen Sandstrandküsten zu einer Verbauung und Zunahme sekundärer Hartböden geführt. Solche Häfenwände werden sofort von großen Mengen an Nesselierpolypen besiedelt, die allerorten zu einer drastischen Zunahme von Medusen (Qualle) geführt haben. Diese Nesselier konkurrieren direkt mit lebenden Ressourcen um Nahrung und können in solchen Dichten vorkommen, dass ihr Einfluss alle anderen Effekte übertrifft (PARCELL & ARAI 2001).

Verschmutzung, Baggern und Verklappung verschmutzter Sedimente, die etwa bei der Verfestigung von Häfen anfallen, sind weitere anthropogene Faktoren, die lebende Ressourcen schädigen können (BIG 1996). Dazu sei der Effekt von Organozinnverbindungen erwähnt, die in Bootsanstrichen den Schiffsaufwuchs verhindern, sich aber lokal zu einer gefährlichen Belastung lebender Ressourcen entwickelt haben (KRAUSE 2001). Zu flächendeckenden Schäden

führt die Einleitung von Abwässern selbst aus Industrien, die direkt vom Fisch leben, wie die der peruanischen und namibischen Fischmehlindustrie. Da diese Betriebe ihren Fang i.d.R. küstentfern entnehmen, schädigen sie nicht direkt ihre Zielarten, wohl aber Wirbellose und Fische der artensarmen Fischerei im Flachwasser.

Die Anreicherung von Nährstoffen (Eutrophierung) wird mit zunehmender Weltbevölkerung immer mehr zu einem Problem, insbesondere bei Binnenmeeren wie der Ostsee und dem Schwarzen Meer. Eutrophierung steigert zunächst die Produktion, aber der Langzeiteffekt ist negativ, weil die Makrofauna auf kleine Opportunisten reduziert wird und schließlich verschwindet (PEARSON & ROSENBERG 1978; DIAZ & ROSENBERG 1995). In stark eutrophierten Meeresgebieten wie der Ostsee können Sauerstoffmangelsituationen auch als periodische Störung auftreten, etwa während der Stagnation in warmen, windarmen Sommern (ARNTZ 2001).

Ein weiteres Problem von inzwischen globaler Bedeutung sind toxische Algen, die im Ballastwasser von Schiffen weltweit verbreitet werden. Die giftigen Substanzen finden sich besonders in filterierenden Suspensionfressern wie Muscheln, welche die Algen und damit die Toxine in hohem Maß anreichern können. Die Verfrachtung von „Algen“, von Arten aus weit entfernten Seegebieten, ist nicht nur dann problematisch, wenn es sich um toxische Formen handelt. Invasoren, die absichtlich eingeführt wurden (wie etwa sämliche Salmonidenarten in Südamerika oder Nilbarsche, *Lates niloticus*, im Victoria-See), oder die im Ballastwasser und Rumpfbewuchs von Schiffen transportiert werden, haben schon manches Ökosystem verarmen lassen. Ein aktueller Fall mit besonders vielen Neueinwanderern (Neozoen) sind Nord- und Ostsee (LEPPÄKOSKI et al. 2002), in denen aufgrund der kurzen Spanne der Erholung nach der letzten Eiszeit noch viele Ökosystemischen frei sind (NEHRING & LEUCHS 1999). Manche dieser Einwanderer wie die Wollhandkrabbe (*Eriocheir sinensis*) sind in der Nordsee schon seit vielen Jahrzehnten heimisch, wurden aber erst in jüngster Zeit aufgrund ihres

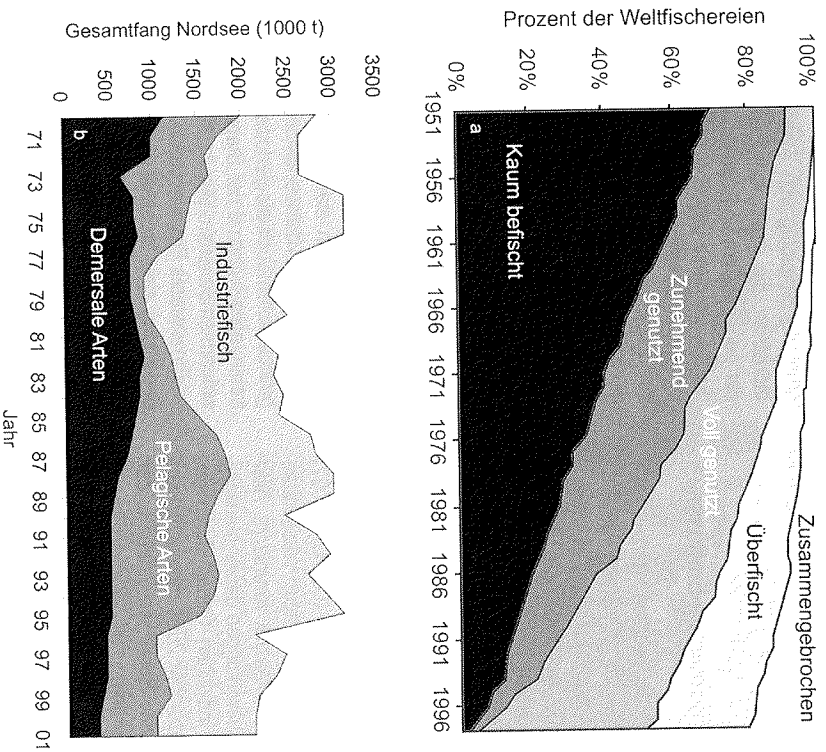


Abb. 9: Entwicklung a.) des Zustandes globaler Fischereien und b.) des Gesamtfangs aus der Nordsee während der letzten drei Jahrzehnte, hier wird deutlich, dass die bodenlebenden (demersalen) Ressourcen einen klaren Abwärtstrend aufweisen.

Massenvorkommens zu einem Problem (GOL-LASCH et al. 1999). Andere, wie die Borstentwurmgatung *Marerzelleria* oder die pazifische Auster *Crassostrea gigas*, sind erst seit wenigen Jahren im System, zeigen aber eine außerordentliche Aggressivität. Dagegen hat die Messemuschel *Ersis americana* im Nordseewatt offenbar eine nicht besetzte Nische vorgefunden und scheint trotz großer Häufigkeit keine negativen Effekte zu haben (LEHRING & LEUCHS 1999).

Ebenso wie Neozoen kann sich auch die Entfernung von Arten aus einem System nachträglich auswirken. Vor Jahren machte die Massenvermehrung der Dornenkrone, eines tropischen

Seesterns (*Acanthaster planci*), der in tropischen Korallenriffen in Scharen auftrat und die Korallen dezimierte, Schlagzeilen (JACKSON et al. 2001). Er erscheint beispielsweise dann, wenn Korallenriffe unter El Niño-Einwirkung die schützenden Hydrokorallen (*Pocillopora*) verlieren, die über starke Nesselkapseln und Wächtergameten verfügen (GLYNN 1985). In anderen Riffen wurden die Räuber entfernt, welche die Dornenkronen normalerweise kontrollieren. Dazu gehören bestimmte Schnecken (Tritonschömer, *Tritonalia* oder *Charonia*), die man abgesammelt hatte, weil sie sowohl bei Schalensammeln wie für die Küche begehrt sind. Immer noch wird eine Viel-

zahl ornamentaler Schnecken vor allem aus den Tropen weltweit trotz Verbots durch das *Washingtoner Artenschutzabkommen* gehandelt. Von vielen dieser Arten ist bislang nicht einmal bekannt, welche Rolle sie im Ökosystem spielen, aber es ist zu vermuten, dass die Entfernung so vieler Funktionsträger aus ihren Ökosystemen Konsequenzen für die strukturelle und funktionelle Biodiversität dieser Systeme haben wird, die sich über lange Zeiträume entwickelt hat (THRUSH & DAYTON 2002).

6 Was sind die Perspektiven?

Die hier gegebene Zusammenstellung negativer Faktoren, welche die Produktivität lebender mariner Ressourcen einschränken, ist keineswegs vollständig. Sie zeigt aber klar, dass es in der bisher betriebenen Weise nicht weitergehen kann, weil die lebenden Ressourcen nicht unerschöpflich sind und die Nachfrage nach Produkten aus dem Wasser in Zukunft weiter ansteigen wird. Es ist deutlich geworden, dass der unaufhaltsame „Anstieg“ der Erträge aus dem Meer und Süßwasser zum einen auf zusätzlicher Aquakulturproduktion vor allem Chinas beruht, und dass zum andern die Zunahme der Wildfänge nur die pelagischen Schwarmfische betraf, die in Abhängigkeit von El Niño stark schwanken (WATSON & PAULY 2001). Die bodenlebenden (demersalen) Ressourcen zeigen schon lange einen Abwärtstrend (Abb. 9). Außerdem musste die FAO die chinesischen Meldungen korrigieren, die offensichtlich übertrieben waren, was allerdings an Chinas Rolle als Nr. 1 der Produzenten lebender Ressourcen nichts ändert.

Dem Faktor „Klima“ kann nur im Fall der beschleunigten globalen Erwärmung direkt begegnet werden. In den Fällen ENSO, NAO und PDO lassen sich Klimafolgen durch rechtzeitige Aufklärung und Umdisposition von Märkten und Verbrauchern mildern, aber nicht vermeiden. Seit sicher ist, dass die derzeitige rapide Erwärmung eine Ursache vor allem in der anthropogenen Emission von Treibhausgasen hat, müsste dem Trend durch eine drastische Verringerung dieser

Emissionen, Entwicklung alternativer Energien und gezielte Vernichtung des CO₂ entgegenge wirkt werden. Aber der erste Weg ist angesichts der globalen industriellen Entwicklung unrealistisch, der zweite langwierig, teuer und unbeliebt, und die bisher für den dritten Weg vorgeschlagenen Lösungsmöglichkeiten sind untauglich, weil sie neue schädliche Nebenwirkungen mit sich bringen, von den Kosten ganz zu schweigen. An der beschleunigten globalen Erwärmung führt bei realistischer Einschätzung vermutlich kein Weg vorbei.

Welche Möglichkeiten bieten sich zu einer Reduktion der negativen anthropogenen Einflüsse? Die Erkenntnis, dass das Meer nicht gleichzeitig als Müllkippe und Nahrungsmittelproduzent benutzt werden kann, ist nicht neu, aber von ihrer strikten Umsetzung sind wir weit entfernt. Auch die Folgen der Betonierung von Küsten sind hinreichend bekannt, werden aber nur selten berücksichtigt. Die übliche Regulation von Maschenweiten und Fangbeschränkungen sind offenbar untaugliche Mittel, die Überfischung von Ressourcen zu vermeiden, weil sie nicht helfen, wenn die errechneten höchstzulässigen Fänge entgegen dem Rat der Experten hoch gesetzt werden. „Fischereimanagement ist ein endloses Argumentieren über die Frage, wie viel Fisch es im Meer gibt – bis zu dem Punkt, an dem alle Zweifel (und alle Fische) beseitigt sind“, pflegte der Fischereibiologe John Gulland zu sagen (ROSENBERG 2003).

Ausgedehnte Schutzgebiete, in denen die Schleppnetz-Fischerei am Boden untersagt ist, wären wahrscheinlich der sicherste Weg, eine Zunahme der Bestände zu erreichen, weil auch die Strukturdiver in ihnen wieder eine Chance hätten. Allerdings müsste die Einhaltung der Sperre sorgfältig überwacht werden, wie es im Fall der Windparks in der Deutschen Bucht wohl geplant ist. Die technischen Voraussetzungen dafür sind geschaffen. Nach LAUCK et al. (1998, vgl. HALL 1998) nimmt die Gefahr eines Mangement-Misserfolgs mit dem Anteil der befischten Fläche an der Gesamtfläche zu – in der Nordsee gibt es bisher kaum unbefischte Flä-

chen! Schutzzonen würden den Fischern also vermutlich Vorteile bringen. Die Einrichtung von Schutzgebieten für die Nord- und Ostsee wird gegenwärtig von der Europäischen Union gefördert, und Vorschläge liegen auf dem Tisch (RACHOR & GÜNTHER 2001; RACHOR im Druck), aber die Ablehnung durch die Fischer ist vehement. Offenbar ist es nicht gelungen, ihnen das ökologische Grundprinzip zu vermitteln, dass die Produktion in einem Seegebiet weniger von der Größe des Gebiets abhängt als von seiner Beschaffenheit (Struktur, Bewuchs, Nahrungsangebot), und dass ausreichende Aufwuchs- und Nahrungsgebiete insgesamt den Ertrag nachhaltiger steigern würden.

Chile hat vor einiger Zeit MPAs (*Marine Protected Areas*) bzw. MEAs (*Management and Exploitation Areas*) im küstennahen Flachwasser eingerichtet, für die jeweils eine Fischerkooperative verantwortlich ist. Die ortsansässigen Fischer passen gut auf, dass sich keine Fremden an ihren Ressourcen vergreifen, und können es sich deshalb auch erlauben, Arten wie die begehrte Schrecke „loco“ (*Concholepas concholepas*) zu ihrer vollen Größe heranwachsen zu lassen, ehe sie auf den Markt geht. So kommt der wohlbekanntere Konkurrenzdruck nicht zum Tragen, der früher dazu führte, dass die Zielarten viel zu früh geerntet während der Schonzeiten gefangen und dann versteckt wurden, um sie bei Gefangen der Fischer zu verkaufen (zu MPAs siehe auch RITTEHOFF et al. 2004).

Dem Schutzgebiet-Konzept liegt der Ökosystemansatz der Fischereibiologie zugrunde, der sich inzwischen auch beim ICES durchgesetzt hat. Seit Beginn der 1990er Jahre gilt das Vorsorgeprinzip, das eine Pufferzone über der Bestandsbiomasse vorschreibt, bei der die Fortpflanzung geschädigt wird. Ein Bestand ist in sicheren biologischen Grenzen, wenn seine Größe noch über dieser Pufferzone liegt (ICES 2003). Der ICES lässt von seinen Arbeitsgruppen regelmäßig den Zustand der genutzten Bestände berechnen; im Jahr 2001 lagen nur noch 18 % der 113 vom ICES untersuchten Bestände im sicheren Bereich. Ob dieser Ansatz mittelfris-

tig zu einer Entholung der Bestände führt, hängt von der Einsicht der Politiker ab. Gegen eine umweltgerechte, nachhaltige Fischerei wäre nichts einzuwenden, aber dieses Ziel ist offenbar nur schwer zu erreichen. PAULY et al. (2003) haben verschiedene Szenarien für die künftige Entwicklung der Fischerei entworfen und errechnen für den günstigsten Fall – den sie wohl selbst nicht erwarten – eine Aufrechterhaltung des gegenwärtigen Niveaus.

7 Aquakultur

Angesichts dieser Entwicklung und der vielen zerstörerischen Nebenwirkungen der Ausbeutungsfischerie hat die Aquakultur im Meer, die Marikultur, in letzter Zeit enorme Steigerungen gezeigt. Nun wird niemand daran zweifeln, dass es letztendlich zur Aquakultur keine Alternativen gibt, soll nicht überhaupt auf Produkte aus dem Meer und Süßwasser verzichtet werden. Die anfängliche Euphorie hat sich aber inzwischen oftmals ins Gegenteil verkehrt, weil auch die Aquakultur eine Vielzahl schädlicher Nebenwirkungen hat.

Abgesehen davon, dass künstlich aufgezogene Arten in den meisten Fällen den Wildprodukten an Geschmack und Konsistenz unterlegen sind, sind zur Aufrechterhaltung der Gesundheit erhebliche Mengen an Medikamenten notwendig, deren Spuren etwa bei Käfigfisch und Zuchtgarnelen nicht ganz zu beseitigen sind. Krankheiten im Medium Wasser, vor allem unter Warmbedingungen, sind eine viel größere und schlechter zu kontrollierende Gefahr als bei Viehhaltung an Land. In Kulturen des atlantischen Lachses (*Salmo salar*) gibt es mit der Befruchtung der Eier Probleme, die von „Ausreißern“ in Wildbestände getragen werden. Zur Aufzucht von Produkten, die hoch in den Nahrungsketten angesiedelt sind (Lachse, Steinbutt, Hummer u.ä.) müssen Futterfische für die Fabrikation von Pellets gefangen werden, somit erzeugt die Aquakultur zusätzlichen Druck auf Wildbestände. Das ist auch der Fall, wenn Larven oder Jungtiere im Freiland besorgt werden müssen, weil der

volle Lebenszyklus in Gefangenschaft noch nicht beherrscht wird, wie beim europäischen (im Gegensatz zum japanischen) Aal (*Anguilla anguilla*), oder weil es billiger ist, wie bei der Pilgermuschel *Argopecten purpuratus*.

Garnelenkulturen verdrängen in den Tropen vielerorts die Mangrovenbestände, die für das obere Litoral wichtige ökologische Funktionen erfüllen. Abgesehen davon führt ihre Abholzung zu verstärkter Erosion und Wassertrübung. Aquakulturen im tieferen Flachwasser, etwa in Florida, sind mit teilweise katastrophalen Auswirkungen für das Ökosystem des Meeresbodens verbunden. Futterreste und Faeces bringen ein so hohen organischen Input, dass das organische Material nicht von der aeroben Makro- und Mesofauna aufgearbeitet werden kann. Die Futterindustrie gibt sich zwar alle Mühe, etwa durch Verlangsamung der Sinkgeschwindigkeit des Futters eine möglichst hohe Ausnutzung zu erreichen; oder man versucht, durch Kombination zum Beispiel mit Muschelkulturen diese Auswirkungen zu verringern. In vielen vormals oligotrophen Gewässern sind anaerobe Meeresboden mit Bakterienplöcken unter den Kulturen jedoch immer noch die Regel, so in norwegischen und chilenischen Fjorden. Eine Verlagerung von Kulturen auf die hohe See würde angesichts dieser Eutrophierungsschäden Sinn machen, ist aber zu teuer und wird in manchen Gebieten durch Stürme sehr erschwert.

Ökologisch sinnvoll sind vor allem solche Makroalgen, in denen Algen, Wirbellose oder Fische gehalten werden, die dicht an der Basis der Nahrungsketten stehen. Algenkultur ersetzt heute schon an vielen Küsten weitgehend den Wegbau von Wildformen, Muscheln filtern vornehmlich Phytoplankton, und Garnelen und bestimmte Fische wie die Meerärschen (*Mullusidae*) sind in der Lage, sehr effizient marines Seston und Detritus zu nutzen. Leider sind solche Produkte nur zum Teil auf dem Weltmarkt gefragt, und selbst solche Kulturen haben natürlich ökologische Nebenwirkungen, wenn es sich um Freilandkulturen handelt. Diese Nebeneffekte lassen sich durch Tankfütterung an Land oder in Kreis-

laufsystemen reduzieren. Das Wasser muss bei dieser Haltung jedoch aufbereitet werden; hohen Erträgen stehen sehr hohe Produktionskosten gegenüber.

8 Zusammenfassung

Klimavariabilität auf verschiedenen Zeitskalen trägt maßgeblich dazu bei, dass die Erträge lebender Ressourcen großen Schwankungen unterliegen. In jüngerer Zeit haben menschliche Nutzung und schädliche anthropogene Einwirkungen auf marine und limnische Ökosysteme ein solches Ausmaß angenommen, dass die Erträge freilebender Ressourcen zurückgehen; Reserven sind kaum noch vorhanden, und die Erkenntnis setzt sich durch, dass die Ozeane nicht unerschöpflich sind. Bei den Bestandseinbrüchen können natürliche Effekte des Klimawandels und durch den Menschen verursachte Auswirkungen sich aufsummieren wie im Fall des El Niño, der PDO und der Überfischung von Schwarmfischen, deren Einzelwirkungen nur schwer zu entschlüsseln sind. Zu direkten Wirkungen auf die Bestände, zum Beispiel durch den Fischfang, kommen indirekte Effekte über die Vermichtung komplexer Lebensräume und die Reduktion der Biodiversität. Verbesserungen im Management, vor allem ein noch stärkerer ökosystemarer Bezug aller Maßnahmen und die Einrichtung von Schutzgebieten sind notwendig, können die Talfahrt aber allenfalls bremsen. Nennenswerte Zuwachsraten in der Produktion lebender Ressourcen sind künftig nur aus der Aquakultur zu erwarten, die ebenfalls erhebliche Nebenwirkungen mit sich bringt. Dennoch gibt es zu einer ökologisch angepassten, umweltfreundlichen und nachhaltigen Aquakultur keine Alternativen.

Literatur

- ALBERT, J.; HAGEN, E. (1997): Long-term climate forcing of European herring and sardine populations. *Fisheries Oceanography* 6, 130-139.

- ALHEIT, J., HAGEN, E. (2002): Climate variability and historical NW European fisheries. In: Weiler, G., Berger, W., Behre, K.-E., Jansen, E. (Hrsg.): *Climate Development and History of the North Atlantic Realm*. Springer, Berlin, 435-445.
- ALHEIT, J.; NIJOUEN, M. (2004): Regime shifts in the Humboldt Current ecosystem. *Progress in Oceanography* 60, 201-222.
- ARNTZ, W.E. (1986): The two faces of "El Niño" 1982-83. *Meeresforschung* 31, 1-46.
- ARNTZ, W.E.; FAHRBACH, E. (1991): El Niño. Klimaxperiment der Natur. Physikalische Ursachen und biologische Folgen. Birkhäuser, Basel.
- ARNTZ, W.E.; TARAZONA, J. (1999): El Niño - Biologische Auswirkungen. Deutsche Hydrogr. Zeitschrift, Suppl. 8, 97-101.
- ARNTZ, W.E., VALDIVIA, E.; ZEBALLOS, J. (1988): Impact of El Niño 1982-83 on the commercially exploited invertebrates (mancos) of the Peruvian shore. *Meeresforschung* 32, 3-22.
- ARNTZ, W.E. (2001): Das Janusgesicht des El Niño: Zur Wirkung rezenter "Katastrophen" im Meer. In: Becker, H.D.; Domres, B.; Flinck, D.v. (Hrsg.): *Katastrophen – Trauma oder Erneuerung? Attempto*, Tübingen, 77-98.
- BAUWGARTNER, T.R.; SOUTJAR, A.; FERRERIRA-BARTIRNA, V. (1992): Reconstruction of the history of Pacific sardine and northern anchovy populations over the past two millennia from sediments of the Santa Barbara Basin. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigation Report* 33, 24-40.
- BERGHAIN, R.; WALTERMATH, M.; RUMSDORF, A. (1992): Mortality of fish from the by-catch of shrimp vessels. *J. Appl. Ichthyol.* 8, 293-306.
- BfG (Bundesanstalt für Gewässerkunde) (1996): *Baggern und Verklappen im Küstenbereich. Auswirkungen auf das Makrobenithos*. Mittg. BfG Nr. 11, 1-11.
- BREY, T.; DAHM, C.; GORNY, M.; KLAGES, M.; STILLER, M.; ARNTZ, W.E. (1996): Do Antarctic benthic invertebrates show an extended level of eurybathy? *Antarctic Science* 8, 3-6.
- CCAMLR (Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources) (2003): *Statistical Bulletin* (Hobart) 15, 24.
- CORTES, J.; RISK, M.J. (1985): A reef under siltation stress: Cahuita, Costa Rica. *Bull. Mar. Sci.* 36, 339-356.
- DAYTON, P.K. (1989): Interdecadal variation in an Antarctic sponge and its predators from oceanographic climate shifts. *Science* 245, 1484-1486.
- DAYTON, P.K. (2003): The importance of the natural sciences to conservation. *The American Naturalist* 162, 1-13.
- DAYTON, P.K.; THRUSS, S.; COLEMAN, F.C. (2003): *Ecological Effects of Fishing in Marine Ecosystems of the United States*. Report prepared for the PEW Oceans Commission, Arlington, 1-44.
- EVERSON, I. (1987): Exploitation of Antarctic fisheries. In: Walton, D.W.H. (ed.): *Antarctic Science*, Cambridge University Press, Cambridge, 125-137.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (1989): *How to make and set FADs (fish aggregating devices)*. FAO Training Series 15, Rom, 1-68.
- GLYNN, P. (1985): El Niño-associated disturbance to coral reefs and post disturbance mortality by *Acanthaster planci*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 26, 295-300.
- GLYNN, P.W. (1990, Hrsg.): *Global Ecological Consequences of the 1982-83 El Niño-Southern Oscillation*. Elsevier, Amsterdam.
- GOLLASCH, S.; MINCHIN, D.; ROSENTHAL, H.; VOIGT, M. (1999): Exotics across the Ocean. *Case Histories of Introduced Species*. Logos, Berlin.
- GUTT, J. (2001): On the direct impact of ice on marine benthic communities: a review. *Polar Biol.* 24, 553-564.
- HALL, S.J. (1998): Closed areas for fisheries management – the case consolidates. *TREE* 13, 297-298.
- HEMPEL, G. (1979): *Fischerregionen des Weltmeeres – Produktion und Nutzung*. Geographische Rundschau 31, 492-497.
- HÜPPER, O.; GARTHE, S.; HARTWIG, E.; WALTER, U. (1994): *Fischerei und Schiffsverkehr. Vorteil oder Problem für See- und Küstenvögel?* In: Lozan, J.L.; Racher, E.; Reise, K.; Westerbogen, H.; Lenz, W. (Hrsg.): *Warnsignale aus dem Wattenmeer*. Blackwell, Berlin, 278-285.
- HUBOLD, G. (1997): *Pro und Kontra Industriefischerei*. Inf. Fischw. aus der Fischereiforsch. 4, 135-138.
- ICES (International Council for the Exploration of the Sea) (2003): *Environmental Status of the European Seas*. BMU, Bonn.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2001): *Klimawandelung 2001: Synthesebericht*. Dt. IPCC-Koordinierungsstelle des BMBF und des BMU, Bonn.
- JACKSON, J.B.C.; SALA, E. (2001): *Unnatural oceans*. In: Gill, J.M.; Prentis, J.L.; Packard, T.T. (Hrsg.): *Marine Science Odyssey into the 21st Century*. *Scientia Marina* 65, Suppl. 2, 273-281.
- JACKSON, J.B.C.; KIRBY, M.X.; BEGGER, W.H.; BJORNDAL, K.A.; BOTSFOED, L.W.; BOURQUE, B.J.; BRAUBURY, R.H.; COOKE, R.; ERLANDSON, J.; ESTES, J.A.; HUGHES, T.P.; KIDWELL, S.; LANGE, C.B.; LENIHAN, H.S.; PANDOLF, J.M.; PETERSON, C.H.; STENECK, R.S.; TEGENER, M.J.; WARNER, R.R. (2001): Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science* 293, 629-638.
- KARL, T.R.; TRENBERTH, K.E. (2003): *Modern global climate change*. *Science* 302, 1719-1723.
- KRUSE, R. (2001): *Statushebung zur Belastung von kommerziell bedeutsamen Fischarten, Garnelen und Muscheln durch Organozinn-Verbindungen. Nördsächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittel-sicherheit*. Cuxhaven.
- LANNIG, G.; BOCK, C.; SARTORIS, F.J.; PÖRTNER, H.O. (2004): Oxygen limitation of thermal tolerance in cod, *Gadus morhua* L. studied by non-invasive NMR techniques and on-line venous oxygen monitoring. *American Journal of Physiology-Regulatory Integrative and Comparative Physiology* 287, R992-R910.
- LAUCK, T. et al. (1998): *Implementing the precautionary principle in fisheries management through marine reserves*. *Ecol. Appl.* (Suppl.) 8, 72-78.
- LEPAKOSKI, E.; GOLLASCH, S.; OLEIN, S. (2002): *Invasive Aquatic Species of Europe*. Distribution, Impacts and Management. Kluwer, Dordrecht.
- LINDEBOOM, H.J.; DE GROOT, S.J. (1998, Hrsg.): *IMPACT-II: The Effects of Different Types of Fisheries on the North Sea and Irish Sea Benthic Ecosystems*. NIOZ Rapport 1998-1 and RIVO-DLO Report C003/98, Den Burg and IJmuiden.
- LOFFLER, E. (2002): *Belastung von Riffsystemen durch den Tourismus. Beispiele aus dem australischen Barriere Riff und den Malediven*. In: Karasch, H.; Garmeth, W.; Schwam, T.; Sachs, K.; Walter, A. (Hrsg.): *Ferntourismus: Potentiale, Konflikte, Nachhaltigkeitsanspruch*. HGG-Journal 17, 45-66.
- MACHAELSEN, J. (1989): *Long-term fluctuations in El Niño amplitude and frequency reconstructed from tree rings*. In: Peterson, D.H. (Hrsg.): *Aspects of climate variability in the Pacific and western Americas*. Geophys. Monogr., AGU, Washington, 69-74.
- MILLS, C.E. (1995): *Medusae, siphonophores, and ctenophores as planktivorous predators in changing global ecosystems*. *ICES J. mar. Sci.* 52, 575-581.
- MYERS, R.A.; WORM, B. (2003): *Rapid worldwide depletion of predatory fish communities*. *Nature* 423, 280-283.
- NEGENDANK, J.F.W. (1995): *Paläoklima und aktuelles Klima*. *Vortragsveranstaltung der Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF) am 30. November 1995 im Wissenschaftszentrum Bonn-Bad Godesberg*, 5-7.
- NEHRING, S.; LEUCHS, H. (1999): *Neozoa (Makrozoobenthos) an der deutschen Nordseeküste – eine Übersicht*. *Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, Bericht BfG-1200*.
- OTTENSEN, G.; ALHEIT, J.; DRINKWATER, K.; FRIEDLAND, K.; HAGEN, E.; STENSETH, N.C. (2004): *The responses of fish populations to ocean climate fluctuations*. In: Stenseth, N.C.; Ottersen, G.; Hurrell, J.W.; Belgiano, A. (Hrsg.): *Marine Ecosystems and Climate Variation*. Oxford Univ. Press, 73-94.
- PAULY, D.; CHRISTENSEN, V.; DALSGAARD, J.; FROESE, R.; TORRES, F. (1998): *Fishing down marine food webs*. *Science* 279, 860-863.
- PAULY, D.; ALDER, J.; BENNETT, E.; CHRISTENSEN, V.; TYEMERS, P.; WATSON, R. (2003): *The future of fisheries*. *Science* 302, 1359-1361.
- PEARSON, T.H.; ROSENBERG, R. (1978): *Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment*. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 16, 229-311.
- PENNISI, E. (1997): *Brighter prospects for the world's coral reefs?* *Science* 277, 491-493.
- PURCELL, J.E.; ARAI, M.N. (2001): *Interactions of pelagic ctenidarians and ctenophores with fish: a review*. *Hydrobiologia* 451, 27-44.
- RACHOR, E. (in press): *Search for particularly valuable marine areas in the German North Sea EEZ from a benthological point of view*. *BfN-Skripten*.
- RACHOR, E.; GÜNTHER, C.-P. (2001): *Concepts for offshore nature reserves in the southeastern North Sea*. *Senckenbergiana maritima* 31, 353-361.
- REISE, K. (1994): *Changing life under the tides of the Wadden Sea during the twentieth century*. *Ophelia* Suppl. 6, 117-125.
- REISE, K. (2005): *Coast of change: habitat loss and transformations in the Wadden Sea*. *Helv. Mar. Res.* 59, DOI: 10.1007/s10152-004-0202-6.

- ITTERHOFF, J.; GUBBAY, S.; ZUCCO, C. (2004): Marine Protected Areas and Fisheries. *BN-Skripten* 122, 1-117.
- ROBERTS, J.M.; LONG, D.; WILSON, J.B.; MORTENSEN, P.B.; GAGE, J.D. (2003): The cold-water coral *Lophelia pertusa* (Scleractinia) and enigmatic seabed mounds along the north-east Atlantic margin: are they related? *Mar. Poll. Bull.* 46, 7-20.
- ROSENBERG, A.A. (2003): Managing to the margins: the overexploitation of fisheries. *Frontiers in Ecology and Environment* 1, 102-106.
- SCHIERMEIER, Q. (2002): How many more fish in the sea? *Nature* 419, 662-665.
- SCHWING, F.B.; MURPHREE, T.; DEWITT, L.; GREEN, P.M. (2002): The evolution of oceanic and atmospheric anomalies in the northeast Pacific during the El Niño and La Niña events of 1995-2001. *Prog. Oceanogr.* 54, 459-491.
- SHEN, G.T.; SANFORD, C.L. (1990): Trace element indicators of climate variability in reefbuilding corals. In: Glynn, P.W. (Hrsg.): *Global Ecological Consequences of the 1982-83 El Niño-Southern Oscillation*. Elsevier, Amsterdam, 255-283.
- STRASSER, M.; DEKKER, R.; ESSINK, K.; GÜNTHER, C.-P.; JAKLIN, S.; KRÖNCKE, I.; MAJSEN, P.B.; MICHAELIS, H.; VEDEL, G. (2002): How predictable is high bivalve recruitment in the Wadden Sea after a severe winter? *J. Sea Res.* 49, 47-57.
- TEGNER, M.J.; DAYTON, P.K. (1999): Ecosystem effects of fishing. *TREE* 14, 261-262.
- TEMMING, A.; TEMMING, B. (1991): Aufwandssteigerung und ökonomische Überfischung der Krabbenfischerei in der Nordsee. In: Lukowicz, M. v. (Hrsg.): *Fragen zur fischereilichen Nutzung küstennaher Flachwassergebiete – Wattmeer und Bodden-gewässer. Arbeiten des Dt. Fischerei-Verbandes* Heft 52, 95-136.
- THOMPSON, L.G.; MOSLEY-THOMPSON, E.; MORALES ARNAO, B. (1984): El Niño-Southern Oscillation events recorded in the stratigraphy of the tropical Quelccaya ice cap, Peru. *Science* 226, 50-53.
- THRUSH, S.F.; DAYTON, P.K. (2003): Disturbance to marine benthic habitats by trawling and dredging: implications for marine biodiversity. *Annual Rev. Ecol. Syst.* 33, 449-473.
- VANNUNCCINI, S. (2003): Overview of fish production, utilization, consumption and trade, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italy; www.fao.org/fi/statist/FISOFT/FISHPLUS.asp
- VAUGHAN, D.G.; MARSHALL, G.J.; CONNOLLEY, W.M.; PARKINSON, C.; MULVANEY, R.; HODGSON, D.A.; KING, J.C.; PUSEY, C.J.; TURNER, J. (2003): Recent rapid regional climate warming on the Antarctic Peninsula. *Climate Change* 60, 243-274.
- WALTER, U. (1999): Auswirkungen der Garmeleinfische-rei auf Seevögel (Zusammenfassung). *Dt. Hydro-graph. Zeitschrift*, Suppl. 8, 91-92.
- WALTER, U.; BECKER, P.H. (1994): The significance of discards of the brown shrimp fisheries for seabirds in the Wadden Sea – preliminary results. *Ophelia* Suppl. 6, 253-262.
- WATSON, R.; PAULY, D. (2001): Systematic distortions in world fisheries catch trends. *Nature* 414, 534-536.
- WITBAARD, R.; DUINEVELD, G.C.A.; DE WILDE, P.A.W. (1997): A long-term growth record derived from *Arctica islandica* (Mollusca, Bivalvia) from the Fladen Ground (northern North Sea). *J. Mar. Biol. Ass. UK* 77(3), 801-816.
- WOOSTER, W.S.; FLUHARTY, D.L. (1985, Hrsg.): *El Niño North: Niño Effects in the Eastern Subarctic Pacific Ocean*. Washington Sea Grant Program, Univ. of Washington.
- WYRTKI, K. (1982): The Southern Oscillation, ocean-atmosphere interaction and El Niño. *Mar. Technol. Soc. J.* 16, 3-10.
- WYRTKI, K. (1985): Water displacements in the Pacific and the genesis of El Niño cycles. *J. Geophys. Res.* 90, 7129-7132.



Prof. Dr. Wolf E. Arntz – geb. 1942
1970 Promotion (Kiel)
Leiter der Sektion „Ökologie Mariner Tiere“ des Alfred-Wegener-Instituts
in Bremerhaven



Dr. Jürgen Laudien – geb. 1979
2002 Promotion (Bremen)
Derzeit Postdoktorand am Alfred-Wegener-Institut in Bremerhaven