

11 Recherche Schutzschild Natur: Katastrophenschutz

Naturkatastrophen wie Stürme, Hochwasser und Lawinen haben die Menschheit immer begleitet. Neu dazu kommen vom Menschen verursachte Schäden unserer Lebensgrundlagen (Klima, Wasser, Nährstoffkreisläufe). Ein Wert der Natur ist der Schutz, den die natürliche Umwelt vor derartigen Katastrophen bietet. Er lässt sich ökonomisch zum Beispiel anhand der vermiedenen Schäden oder den Kosten alternativer Strategien berechnen.

Hochwasserschutz

Der Klimawandel ist kaum noch aufzuhalten, so dass auch in Deutschland immer häufiger mit extremen Klimaereignissen zu rechnen sein wird. Die ökonomischen Schäden extremer Wetterereignisse sind in den letzten drei Jahrzehnten um den Faktor 15 gestiegen (Kemfert 2008). Seit 1998 haben Hochwasser in Europa über 700 Menschenleben gefordert, eine halbe Million Menschen obdachlos gemacht und über 25 Milliarden Euro an versicherten Schäden verursacht – die tatsächlichen Schäden liegen noch um ein Vielfaches darüber.

Allein das „Jahrhunderthochwasser“ 2002 entlang der Donau und Elbe kostete 21 Menschenleben und verursachte Deutschland einen Schaden von etwa 9,2 Milliarden Euro (BMU 2005, vgl. Münchner Rück: Jahresrückblick Naturkatastrophen 2002. München 2002). Diese wurden durch eine Verschiebung der zweiten Stufe der Steuerreform um ein Jahr und durch Umschichtungen von Mitteln im Verkehrshaushalt sowie im EU-Strukturfonds für Deutschland finanziert. Auch die Bilanzen der Versicherer litten darunter. Allein bei der am stärksten betroffenen Allianz-Versicherung, die im Zuge der Wiedervereinigung die Haushaltspolizen aus DDR-Zeiten übernahm, beliefen sich die Kosten auf 770 Mill. Euro. Der Konzern erhöhte daher die Prämien um 7 % und kündigte an, seine Gefährdungskategorien um die zusätzlichen Risikofaktoren 'Starkregen' und 'Deichschutz' zu erweitern. Der Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft (GDV) schätzt, dass durch die Einbeziehung dieser Risikofaktoren der Anteil der nichtversicherbaren Gebiete von derzeit 10 % auf 20 bis 25 % steigt (Schwarze, Wagner 2003).

In Baden Württemberg im Zollernalbkreis verwandelte ein Starkregen im Sommer 2008 mehrere kleine Bäche in reißende Flüsse. Autos wurden von den Wassermassen weggespült, Gebäude schwer beschädigt, zwei Menschen ertranken und ein Lokführer, dessen Zug gegen umgestürzte Bäume prallte, wurde schwer verletzt. Allein die Gemeinde Jungingen bezifferte ihren Schaden auf 6,9 Millionen Euro. Hinzu kommen nach früheren Angaben der SV Sparkassen-Versicherung elf Millionen Euro für rund 850 versicherte Gebäude. (Bericht der Tageszeitung, http://www.szon.de/news/wirimsueden/land/200809060548.html?_from=rss).

Fast wöchentlich gab es im vergangenen Jahr neue Schadensmeldungen aufgrund von Überflutungen: Anfang Mai 2008 standen ganze Landstriche in Myanmar unter Wasser, 85.000 Tote wurden offiziell bestätigt, 54.000 Personen gelten immer noch als vermisst. Ende Mai 2008 hieß es in etlichen Regionen Nordhessens „Land unter“, im Juni 2008 schob der Mississippi aufgrund Dauerregeneine riesige Flutwelle vor sich her, brachte Deiche zum Einstürzen und bedrohte über elf Millionen Menschen in Iowa und anderer US-Bundesstaaten des Mittleren Westens der USA. Am

9. Februar 2009 ging in London und Südengland in 24 Stunden so viel Regen nieder, wie sonst in einem ganzen Monat. Autobahnen und Straßen waren wegen Hochwassers gesperrt worden. Etwa 30 Menschen steckten mit ihren Autos auf überfluteten Straßen fest und mussten von der Feuerwehr befreit werden. Mehr als 300 Hausbesitzer pumpten ihre voll gelaufenen Keller leer und stapelten vorsorglich Sandsäcke.

Kürzlich berichten die Medien wieder aus den USA: Der Pegel des Hochwasser führenden Red River im US-Staat North Dakota hat einen 112 Jahre alten Rekord gebrochen und ist auf 12,3 Meter gestiegen. Aus Sorge vor einer Jahrhundertflut verließen hunderte Einwohner ihre Häuser (ZEIT vom 27.03.2009, <http://www.zeit.de/news/artikel/2009/03/27/2761346.xml>).

Die Gesamtschäden summierten sich im Jahr 2008 auf über 200 Milliarden US-Dollar, versichert davon waren Schäden in Höhe von 45 Milliarden US-Dollar (Münchner Rück, 2009). Damit war 2008 - gemessen an inflationsbereinigten Werten – das Jahr mit den dritthöchsten versicherten und volkswirtschaftlichen Schäden durch Naturkatastrophen. Der kräftige Anstieg der Schäden ist auch damit zu erklären, dass die vom Klimawandel besonders betroffenen Küstenregionen zunehmend stärker besiedelt werden. In einer Fortschreibung des ökonomischen Trends der Daten der Münchner Rück würden die Schäden bis zum Jahr 2050 um das Zehnfache auf über 600 Mrd. Euro steigen (Kemfert 2004, 2008).

In Köln wurde nach den Hochwasserereignissen 1993 und 1995 ein Hochwasserschutzkonzept auf den Weg gebracht, das bis Ende 2008 eine Investition von rund 400 Mio. Euro in den baulichen, in den entwässerungstechnischen Hochwasserschutz und in Retentionsmaßnahmen vorsah – die Gesamtkosten beliefen sich letztlich auf 'nur' 260 Mio Euro (HKC 2008, vgl. Pressemitteilung vom 5. Dez. 2008, http://www.umwelt.nrw.de/ministerium/service_kontakt/archiv/presse2008/presse081205.php).

Extreme Niederschläge durch Klimaveränderungen verursachen in erster Linie in Mittel- und Südwestdeutschland Kosten, die sich in den kommenden 50 Jahren auf bis zu 800 Milliarden Euro kumulieren können. Dabei werden wirtschafts- und bevölkerungsstarke Bundesländer wie Bayern und Baden-Württemberg in absoluten Größen die höchsten wirtschaftlichen Schäden durch den Klimawandel erleiden. Die errechneten gesamten Kosten des Klimawandels in den kommenden 50 Jahren liegen für Baden-Württemberg bei 129 Milliarden Euro, gefolgt von Bayern mit 113 Milliarden Euro und Niedersachsen mit 89 Milliarden Euro (Kemfert 2008).

Nach Angaben des WWF-Aueninstituts in Rastatt kostet eine naturverträglichere Flussbewirtschaftung höchstens ein Zehntel der Reparatur der Hochwasserschäden. So liegt beispielsweise das Schadenspotential für die 200 Flusskilometer des Rheins zwischen Iffezheim und Bingen bei rund sechs Milliarden Euro, während die Umsetzung des so genannten Integrierten Rheinprogramms, bei dem es gleichzeitig um Hochwasserschutz und Naturschutz geht, für diesen Flussabschnitt etwa 500 Millionen Euro kostet (www.wwf.de) und auf etwa 1.500 Milliarden Euro wird das betroffene Gesamtvermögen in den hochwassergefährdeten Gebieten am gesamten Rhein von der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins geschätzt (www.iksr.org).

Ein Kilometer Deichneubau entlang der Elbe kostet 2,1 Millionen Euro. Diese Kosten fallen unter Umständen auch an, wenn Deiche rückverlegt werden, um Überschwemmungsflächen

wiederherzustellen, aber dann werden im Unterlauf entsprechen weniger Verbauungen benötigt (Hartje et. al. 2003). Wenn die Deichrückverlegung gleichzeitig zur Optimierung der Deichlinie genutzt werden kann, dann spart die Deichrückverlegung sogar beim Deichbau, wie das Beispiel des Oberluch bei Roßlau an der Elbe zeigt (http://www.asp.sachsen-anhalt.de/presseapp/data/mrlu/2005/005_2005.htm ; <http://www.ufz.de/index.php?de=11135>). In einer Kosten-Nutzen-Analyse wurden verschiedene Szenarios für die Schaffung von Überflutungsgebieten entlang der Elbe durch die Rückverlegung von Deichen berechnet. Dabei wurde der Nettonutzen für diese Maßnahme auf 10.000-15.000 Hektar zwischen 854 Mio. und 1,074 Millionen Euro beziffert (Meyerhoff/ Dehnhardt 2004).

Naturschutz hilft hier bei der Schadensvorsorge. Die Freihaltung und Renaturierung von Überschwemmungsgebieten und Auenwäldern, die naturnahe Gestaltung von Bachläufen sowie weniger Bodenversiegelung können verhindern, dass große Niederschlagsmengen in Rekordzeit die Flüsse erreichen und diese über die Ufer treten lassen. (Wasserrahmenrichtlinie einfügen)

Wichtig ist auch eine extensivere Forst- und Landwirtschaft. Eine Reihe meteorologisch-agronomische Studien zeigen, dass Veränderungen in landwirtschaftlicher Bodennutzung und -bearbeitung Hauptursachen der Überflutungskatastrophen sind. Der hohe Grünlandanteil an der Landfläche und die stabile Krümelstruktur der Ackerböden hielten in ihrer landschaftshydrologischen Wirkung noch in den 1960er Jahren die Niederschläge zurück wie ein Schwamm und verlangsamten so den Oberflächenabfluss. Aber über die letzten 50 Jahre wurden allein in den alten Bundesländern mehr als 3 Mio. ha an natürlichem Grünland umgebrochen und zu Ackerflächen gemacht. Dies sind etwa 21 % der Landfläche. In den neuen Bundesländern lag der Anteil des Grünlandumbruchs noch höher. Gleichzeitig verschwand das Feldgras, das 15 bis 20 % der Ackerfläche gedeckt hatte, aus den Fruchtfolgen. Gleichzeitig stiegen Leistungsfähigkeit und Achsgewichte der Landmaschinen. Die Böden wurden durchschnittlich 35 cm tief gepflügt und über die Jahre durch die schweren Maschinen bis tief in den Unterboden verdichtet. All diese Faktoren zusammen haben die Landschaftshydrologie auf Grund verstärkten Oberflächenabflusses tiefgreifend verändert. Der Scheitelabfluss des monatlichen Niederschlagsaufkommens stieg im Falle des Rheins um bis zu 20 %, die so verursachten Schäden führen jährlich zu Kosten in Höhe von mehreren 100 Mio. Euro (Gieska et. al. 2003, vgl. Sparovek et al. 2002). Fast wie eine Zusammenfassung all dessen zeigen Studien der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, dass die Böden im konventionellen Anbau nur halb so viel Wasser aufnehmen können wie im Öko-Landbau. Gleichzeitig Indikator und Grund dafür ist, dass sich unter ökologisch bewirtschafteten Äckern, Feldern und Wiesen sieben Mal so viele Regenwürmer tummeln, die kleine Abflusskanäle für das Regenwasser schaffen (www.pb.fal.de).

Auch in bergigem Gelände hat die Natur einen großen Einfluss auf den Hochwasserschutz. Vor allem bei einem kurzen und intensiven Starkregen können Wälder eine Dämpfung der Hochwasserwelle in den Flüssen bewirken. Dies ist hauptsächlich eine Folge der Fähigkeit des Waldbodens zur Wasserspeicherung aufgrund des Bodenaufbaus, der geringen Verdichtung und der großen Verdunstungsrate des Waldes (Hegg et al. 2004). Zwar ist nach einer langen Regenperiode auch der Waldboden mit Wasser so weit gesättigt, dass ein großer Teil des Regenwassers an der Oberfläche abfließt. Trotzdem ist die positive Wirkung des Waldes nicht zu unterschätzen, denn oft

kann bereits eine kleine Verringerung der Hochwasserspitzen größere Schäden vermeiden (Huber 2006). Eine Studie der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft vergleicht die Wasserrückhaltefunktion der Bergwälder mit den Kosten für eine technische Wasserrückhaltung und kommt dabei auf einen flächenspezifischen Mehrwert von bis zu 2.000 €/ha, den der Bergwald für die Hochwasserrückhaltung erbringt; beim Auwald sind dies sogar bis zu 20.000 €/ha (Kennel 2004).

Dabei geht es um erhebliche Schadenssummen. Eine Zusammenstellung der durch Unwetter, Dauerregen und Schneeschmelze verursachten Hochwasser und Rutschungsschäden in der Schweiz ergab für die Zeitspanne 1972 – 1988 eine Schadenssumme von 2,962 Mrd. Schweizer Franken, Schäden durch Lawinen, Felsstürze, Hagel und Sturmwinde und Folgekosten späterer Sanierungsmaßnahmen nicht einberechnet. Dem steht ein wasserbaulicher Aufwand von 1,82 Mrd. Schweizer Franken im gleichen Zeitraum gegenüber (Röthlisberger 1991).

Küstenschutz

Auch Küstengebiete sind dem Risiko von Überschwemmungen ausgesetzt. Im Zusammenhang mit dem Klimawandel erhöht sich der Meeresspiegel und starke Stürme nehmen zu (IPCC 2007). Die trilaterale Expertenkommission CPSL (“Coastal Protection and Sea Level Rise”) aus deutschen, holländischen und dänischen Experten rechnet bis zum Jahr 2100 mit einem Anstieg des Meeresspiegels um etwa 1 Meter und zunehmenden Stürmen (CPSL 2001).

- Über 1800 km Deiche sowie zahlreiche Sperrwerke schützen die deutschen Küsten der Nordsee vor Hochwasser und gefährlichen Sturmfluten. Die zu sichernde deutsche Ostseeküste beträgt ohne die Bodden- und Haffküsten ca. 700 km (BMU 2007). Allein in Schleswig-Holstein wird die Nordseeküste durch 350 km Deiche gesichert, die Ostseeküste immerhin noch durch 70 km. Seit 1962 wurden in Schleswig-Holstein rund 1,5 Mrd. Euro für den Küstenschutz ausgegeben. In den letzten 10 Jahren waren dies durchschnittlich 50 Mio. Euro pro Jahr. Fast 25 Prozent der Landesfläche, das sind rund 3.700 km², zählen zu den so genannten überflutungsgefährdeten Küstenniederungen. In diesem Raum leben rund 345.000 Menschen und sind Sachwerte in Höhe von 47 Milliarden Euro vorhanden. Etwa 172.000 Arbeitsplätze erzielen eine Bruttowertschöpfung in Höhe von ca. 8,5 Milliarden Euro jährlich (Landesregierung Schleswig-Holstein n.d.).
- Der Erosion von Badestränden wird mit wachsenden künstlichen Sicherungsmaßnahmen begegnet – 70% aller Strände weltweit weisen Erosionsschäden auf und nur 20% sind stabil (Isebe et al. 2007). So verliert beispielsweise die Insel Sylt jährlich aufgrund der Erosion rund 1 Million Kubikmeter Sand. Um dem gegenzusteuern werden jährlich für etwa 10 Millionen Euro eine Menge von 1,3 Millionen Kubikmeter Sand auf einer Strandlänge von 5,7 km künstlich aufgespült, zusätzlich wird bereits seit Mitte des 19. Jahrhunderts biotechnischer Küstenschutz auf Sylt mit der Anpflanzungen von Strandhafer, unterstützt durch künstliche Verbauungen durchgeführt (Hörnum 2005).

Mittlerweile gibt es zahlreiche Forschungen zum Küstenschutz und Managementpläne werden erarbeitet bzw. angepasst. Das Projekt “Climate Change and Preventive Risk and Coastal Protection

Management on the German North Sea Coast” (Schirmer / Schuchart, n.d.) hat ähnliche Ziele wie das EU Projekt FLOODsite (2007): beide entwickeln (für verschiedene Zielräume) die Vorbedingungen für den Schutz vor Flutwellen einschließlich der monetären, umweltrelevanten und sozialen Effekte (evtl. weiter recherchieren, aktuelle Ergebnisse)

Verschiedene natürliche Strukturen wie natürlicherweise erodierende Riffe, Feuchtgebiete, Mangrovenwälder und Korallenriffe tragen zum Küstenschutz bei und sind meist kostengünstiger und effektiver als technische Verbauungen. Wie notwendig diese Strukturen sind illustriert die Tatsache, dass mehr als die Hälfte der Weltbevölkerung in einem weniger als 100 km breiten Küstenstreifen lebt, vor allem in Ländern mit Wüstenzonen. In Australien leben in den am dichtesten besiedelten Landesteilen entlang von zwei Küstenabschnitten 85% der Gesamtbevölkerung (Australian Bureau of Statistics 2004 – Quelle ergänzen)

Feuchtgebiete (Wetlands) als Küstenschutz

Feuchtgebiete nehmen eine große Menge Wasser auf und geben sie langsam wieder ab, womit sie Flutwellen abpuffern. In einer Meta-Analyse wird der ökonomische Wert, den Feuchtgebiete für den Küstenschutz leisten mit 211,5 US\$ pro Haushalt und Jahr bewertet (Brouwer et al. 1997). In einer anderen Studie wird dieser Wert mit 464 US\$ pro Hektar und Jahr angegeben (Schuyt, Brander 2004).

In den gemäßigten Breiten sind es vor allem Seegraswiesen und Salzmarschen, die die Küstenzonen und deren Sedimente stabilisieren. (Fonseca / Callahan 1992, Coops et. al. 1996). Die gesamte Küstenlinie der Nordsee wurde durch menschliche Eingriffe verändert. Frühere Überschwemmungsgebiete wurden durch Deiche dem Einfluss des Meeres entzogen und besiedelt. Küstenwälder wurden abgeholzt. Der technische Aufwand für den Küstenschutz hat sich dadurch extrem verteuert. Aber es gibt immer noch Salzmarschen in großen Teilen des Wattenmeeres, die den Deichen vorgelagert sind und eine wichtige Rolle für den Küstenschutz spielen (Beaumont et al. 2006) Der ökonomische Wert des holländischen Wattenmeers zur Flutprävention wird auf 189 Mio. US\$/Jahr beziffert (Schuyt, Brander 2004). Salzmarschen und Feuchtgebiete an der Küste können die Wellenenergie zu 79 – 99% brechen (Möller 1999, Cooper 2005). Englands Küsten werden von etwa 45.500 ha Salzmarschen geschützt, die überwiegend im Osten des Landes und außerhalb der Deiche angesiedelt sind (<http://www.ukbap.org.uk/UKPlans.aspx?ID=33#1>). Ihre Fähigkeit, wie ein Schwamm große Wassermengen aufzunehmen und die Energie von Wellen zu brechen, machen sie wertvoll – im Vergleich zu künstlichen Schutzmassnahmen erbringen sie pro Hektar Einsparungen von 0,38 – 0,71 Mio. £ im Bezug auf die notwendigen Kapitalkosten und 7.100 £ an jährlichen Erhaltungskosten., Dies summiert sich landesweit auf 17 – 32 Mrd. £ Gesamtkosten (Beaumont et al. 2006, DEFRA 2006). King & Lester (1995) schätzen die Kosten sogar annähernd doppelt so hoch und verweisen auf das Beispiel von Essex, wo der Verlust von Salzmarschen Verbauungen für 1,2 Mrd. £ nötig machte.

Seegräser stellen einen wichtigen Lebensraum für zahlreiche Meerestiere dar und schützen diese vor Verdriftung. Dabei können ökologisch intakte Lebensgemeinschaften mit einer hohen Biodiversität besser mit grösseren Störungen fertig werden und ihre Funktionsfähigkeit erhalten bzw. wiederherstellen (Hughes et al. 2005, Kettunen, ten Brink 2006, Reusch et al. 2005). Auch

Hughes und Paramor (2004) weisen darauf hin, dass eine große Artenvielfalt notwendig sei, um einen hohen Schutz vor Flutwellen zu gewährleisten.

Tornados, Hurrikans und Flutwellen richten in den USA durchschnittlich Schäden von 11,4 Mrd. US\$/Jahr an Küstenstürme sind für 71% der gesamten Verluste durch Naturkatastrophen verantwortlich (NOAA 2006). Allein der Hurrikan Katrina verursachte Sachschäden von mindestens 150 Milliarden Euro, unzählige Tote, sowie einen globalen Anstieg des Ölpreises innerhalb weniger Tage um 24 Euro pro Barrel. Der Hurrikan legte einen Großteil der Ölförderung vor der US-Küste im Golf von Mexiko lahm und löste hierdurch einen Preisschock aus. So verteuerte sich in Deutschland der Benzinpreis allein vom 31. August zum 1. September 2005 um 12 Cent pro Liter. Die besonders zerstörerische Kraft des Hurrikans potenzierte sich durch die Klimaerwärmung (höhere Meerestemperatur), den Rückgang der natürlichen Sumpfbereiche in Louisiana entlang der Küste im vergangenen Jahrhundert um 40 bis 50 Prozent sowie die Begradigung des Mississippi (So der Geologe Shea Penland von der Universität von New Orleans gegenüber der „Chicago Tribune“, in <http://onnachrichten.t-online.de> vom 31.08.05).

Den Wert von Lebensräumen für den Küstenschutz kann man entweder messen, indem man die Werte beziffert, die dadurch geschützt werden, oder indem man die Kosten beziffert, die für einen künstlichen Küstenschutz aufgewendet werden müssten. Der Wert variiert beträchtlich in Abhängigkeit von der Küstenstruktur und der Nutzung des Küstenstreifens. Der Gesamtwert an Vermögenswerten an den europäischen Küsten (incl. Strände, landwirtschaftliche Flächen und Industrieanlagen) wird derzeit auf 500 bis 1000 Milliarden Euro geschätzt (Kommission der Europäischen Gemeinschaften 2004). Wenn es allerdings um den Schutz von Menschenleben geht, hat ein funktionierender Küstenschutz Vorrang. Naturschutzmaßnahmen wie der Erhalt und die Renaturierung von Salzgrasland (an Nord- und Ostsee) als natürliche Überflutungsflächen, helfen dabei, Schäden vorzubeugen oder zu minimieren.

Küstenschutz in den Tropen durch Mangrovenwälder und Korallenriffe

Nach der Tsunamikatastrophe vom Dezember 2004 wurde klar, wie wichtig der Schutz von Korallenriffen und Mangrovenwäldern für einen wirksameren Küstenschutz ist. Sie helfen dabei, Flutwellen abzufangen. Ein internationales Forscherteam fand bei der Untersuchung 24 betroffener Küstengebiete auf Sri Lanka heraus, dass ökologisch intakte Mangrovenwälder mit den in der Region typischen Baum- und Pflanzenarten, einen wirksameren Schutz vor Flutwellen bieten, als degradierte Wälder. Deshalb plädierten sie dafür, bei einem Tsunami-Frühwarnsystem auch die ökologische Qualität der Küstenwälder zu berücksichtigen (Dahdouh-Guebas et. al. 2005).

Ein Hektar intakter Mangrovenwald ist nach Angaben der UNEP ca. 800 Euro wert, wenn man seinen Beitrag zum Küstenschutz, seine Funktion als natürlicher Schadstofffilter und als Kinderstube für Fisch berechnet. Wird er für die Nutzung als Shrimpsfarm trocken gelegt, sinkt sein produktiver Wert auf ungefähr ca. 100 Euro (Balmford et. al. 2002, Millennium Ecosystem Assessment 2005). Shrimpsfarmen schaffen lediglich für ca. zehn Jahre 15 neue Arbeitsplätze zzgl. 50 Personen als Wachpersonal, aber für den privaten Unternehmer lohnt sich die Umwandlung thailändischer Mangrovenwälder in Shrimpsfarmen betriebswirtschaftlich gerechnet trotzdem. Eine Million Hektar Mangrovenwälder sind im vergangenen Jahrzehnt in den Tropen verschwunden

(www.deepwave.org). Ein paar Beispiele aus Bewertungsstudien:

- Geschützte Mangrovegebiete in Indonesien steuern jährlich durch ihre Funktion des Erosionsschutzes US\$ 600 pro Haushalt bei (Mulongoy, Gitta 2008).
- Der Wert der Mangrovenwälder in Malaysia für den Schutz vor Stürmen und Flutwellen wird anhand der Kosten einer künstlichen Verbauung auf US\$ 300.000 pro km geschätzt. (Gilman et. al. 2006).
- In Jamaikas Portland Bight hatte die Zerstörung der Mangrovenwälder die Beschädigung einer Küstenstrasse zur Portland Ridge zur Folge. Dabei lässt sich der Wert der Mangroven mit etwa 3.55 Mio. US\$ in NPV bzw. 400 000 US\$ pro Jahr beziffern (Cesar et. al. 2000).

Auch Korallenriffe können die Gewalt von großen Wellen, Gezeiten, Stürmen und Flutwellen brechen. Die der Küste vorgelagerten Unterwasserstrukturen können das Eigentum und Leben der Bewohner retten. Dies zeigte sich beim Tsunami 2004 in Indien, Sri Lanka, Malaysia und Indonesien. Der Beitrag von geschützten Korallenriffen allein zum Küstenschutz weltweit lässt sich auf 9 Mrd. US\$ veranschlagen (Mulongoy, Gitta 2008). Nach dem Tourismus ist der Küstenschutz diejenige Funktion von Korallenriffe, die die höchsten ökonomischen Werte schafft. Auch hier einige Beispiele aus den zahlreich vorhandenen Bewertungsstudien:

- Auf den Northern Mariana Islands beträgt der Anteil des Küstenschutzes an der gesamten Wertschöpfung der Korallenriffe 13 % (van Beukering 2006), in American Samoa 8,7% (=5,1 Mio. US\$/Jahr), in Guam 6,6% (127,28 Mio. US\$/Jahr) (Roxburgh 2007).
- In Sri Lanka werden an den südlichen und westlichen Küstenstreifen etwa 40 cm Land pro Jahr durch Erosion weggespült, nachdem die Korallenriffe geschädigt wurden. Für Küstenverbauungen wurden bisher mehr als 30 Mio. US\$ aufgewendet, woraus sich Gesamtkosten für diese Region in Höhe von 246.000 – 836.000 US\$/km berechnen lassen (Berg et al. 1998).

In der Karibik schützen Korallenriffe etwa 21% der gesamten Küstenlinie auf etwa 18.000 km Länge. Der ökonomische Wert dieses Schutzes schwankt zwischen 50.000 und 800.000 US\$ je km im Vergleich zu künstlichen Schutzverbauungen, und zwischen 2.000 und 1.000.000 US\$ je km in Abhängigkeit vom Entwicklungsgrad des betroffenen Hinterlands (Bevölkerungsdichte, Tourismus-Infrastrukturen usw.). In dieser Studie wird unterschieden zwischen

- schwach besiedelten Gegenden mit weniger als 100 Bewohnern in einem Radius von 5km (geschätzter Wert: 2.000 – 20.000 US\$ pro km Küstenlinie)
- mittelmäßig besiedelten Gegenden mit 100 - 600 Bewohner in einem radius von 5km (geschätzter Wert: 30.000 – 60.000 US\$ pro km Küstenlinie)
- stark besiedelten Gegenden mit mehr als 600 Bewohner in einem Radius von 5km (geschätzter Wert: 100.000 – 1.000.000 US\$ pro km Küstenlinie)

29 Prozent der Korallenriffe liegen in schwach besiedelten gebieten, 27 % in mittelmäßig besiedelten Gebieten und 44% in stark besiedelten Gebieten. Legt man die genannten Werte zugrunde, so kann man für die ganze Karibik einen ökonomischen Wert der Korallenriffe für den

Küstenschutz in Höhe von 750 Mio. US\$ - 2,2 Mrd. US\$ pro Jahr errechnen. Gleichzeitig sind 84% dieser Korallenriffe in Gefahr, ihre Schutzfunktion künftig nicht mehr in vollem Umfang erfüllen zu können (Burke et al. 2004).

Korallenriffe und andere natürliche Küstenstrukturen vollbringen diese Schutzfunktion umsonst. Das ist vor allem in den wirtschaftlich armen Ländern in Südostasien wichtig (Cesar et. al. 2000). Die Fähigkeit von Korallenriffen zum Küstenschutz hängt jedoch größtenteils von ihrer ökologischen Unversehrtheit ab. Auf den Seychellen konnte nach einer starken Korallenbleiche im Jahr 1998 beobachtet werden, wie das Korallenriff in nur zwei Jahren zerstört wurde (Turner et. al. 2000). Deutlich teurer als der Schutz der Korallenriffe ist der Bau künstlicher Küstenbefestigungen (Beispiele aus UNEP 2006):

- Ein Wellenbrecher aus Beton- Tetraedern auf den Malediven kostet 10 Mio. US\$ pro Kilometer. Er wurde nötig, nachdem die natürlichen Korallenriffe vor der Küste zerstört waren.
- Ein Hotel in West Lombok, Indonesien, gibt durchschnittlich 125.000 US\$/Jahr für die Wiederherstellung des 250 m langen Sandstrands aus, nachdem das vorgelagerte Korallenriff durch den Korallenabbau zerstört wurde.

In den Tourismus- Hochburgen Indonesiens ist der Küstenschutz durch Korallenriffe bis zu 1 Mio. US\$ pro Quadratkilometer wert, denn so hoch sind die Kosten des Erhalts der Sandstrände. Der UNEP- Report schätzt, dass durch ein typisches Korallenriff bis zu 90% der Wellenenergie absorbiert werden kann. Studien aus Sri Lanka zeigen, dass ein Quadratkilometer Korallenriff die Erosion von 2.000 Kubikmeter Sediment pro Jahr verhindert (UNEP 2006). Die Erosion von Stränden führt zu einer wachsenden Herausforderung für Ingenieure und Techniker, denn derzeit ist befinden sich 70% aller Strände weltweit in einer Erosionsphase, 10% zeigen Ermüdungserscheinungen und nur 20% sind als stabil zu bezeichnen (Isebe et. al. 2007).

Lawinenschutz

Lawinen sind lebensgefährlich, ebenso wie Muren, also Berg- und Erdrutsche, deren Zunahme stärker durch den Klimawandel beeinflusst wird. Beim Lawinenschutz stellt die Natur direkte Schutzmaßnahmen bereit. Ein intakter Bergwald kann die Entstehung von Lawinen vor allem unterhalb der Baumgrenze effektiv stoppen, weil er das Anbrechen von Lawinen verhindern kann (Margreth 2004). Auf Freiflächen ist neben künstlichen Verbauungen vor allem die adäquate Bewirtschaftung wichtig, denn wo die Berghänge nicht mehr durch die Alplandwirtschaft gemäht werden und langes, überständiges Gras bergab liegt, bilden sich ebenfalls deutlich schneller Lawinen. Diese Form der Bewirtschaftung wird heute vielfach mit öffentlichen Mitteln gefördert, wobei die Förderung Gründe des Natur- und Artenschutzes mit ökonomischen Gründen des Lawinenschutzes kombiniert.

Was es bedeutet, wenn eine große Lawine eine Ortschaft trifft, zeigt anschaulich der Polizeibericht über das Lawinenunglück in Galtür am 23.02.1999: „Die Lawine zerstörte bzw. beschädigte 60 Gebäude. Ca. 100 Personenkraftwagen wurden zum Teil total beschädigt. 31 Menschen starben. Elf zum Teil schwer verletzte Menschen wurden, nachdem der Lufttransport möglich war ins

Krankenhaus Zams geflogen. Ca. 20-25 leicht verletzte Personen wurden vom Arzt Dr. Treidl vor Ort behandelt. Ein Haus wurde total zerstört, darin starben 14 Menschen. Von den ca. 100 Verschütteten konnte sich ein Teil selbst aus den Lawinen befreien bzw. von anwesenden Personen befreit werden. Im Katastrophengebiet Tirols wurden bei Versorgungs- und Evakuierungsflügen insgesamt 45 Hubschrauber angefordert. Das größte Kontingent stellte das Österreichische Bundesheer mit 13 Maschinen, die USA und Deutschland mit zehn, das Bundesministerium für Inneres mit sechs und Frankreich mit fünf Hubschraubern. Der Bergrettungsdienst Tirol war mit 378 Helfern aus 27 Ortsstellen im Katastrophengebiet im Einsatz. Das Bundesheer stellte die Infrastruktur in der Pontlatzkaserne Landeck sowie zwei Lawineneinsatzzüge zur Verfügung. Die Hubschrauber des Österreichischen Bundesheeres führten 3300 Landungen durch, beförderten 18.284 Personen und 270 t Lasten. Weiters waren 306 Beamte des Bundesministeriums für Inneres eingesetzt. Die Freiwillige Feuerwehr beteiligte sich mit 487 Manntagen. Das Schwergewicht des Roten Kreuzes lag bei der Betreuung der Evakuierten und der Organisation von Psychologen und Psychiatern.“ (<http://www.alpinesicherheit.at>).

In der Schweiz sterben im Durchschnitt 25 Menschen pro Jahr in Schneelawinen. Das Jahr 1999 war eine besondere Katastrophe mit mehr als 3.000 Lawinenabgängen. Allein die direkten Schäden durch Einwirkung von Lawinen oder großen Schneemengen (Gebäude, Verkehrswege, Bergbahnen, Wald- und Flurschäden, Räumungsaufwand) werden für den Winter 1998/99 in der Schweiz auf fast 290 Millionen Euro geschätzt, die indirekten Schäden durch Einbußen im Tourismus beliefen sich auf etwa 120 Millionen Euro (Greenpeace, o.J.). In der Schweiz ist liegen etwa 40 – 60 % der gesamten Waldfläche als immergrüner Nadelwald in Höhenlagen bis zur natürlichen Baumgrenze (etwa 2000 m) und bilden den wichtigsten Lawinenschutz. Eine frühere Nationalfondsstudie beziffert ihren volkswirtschaftlichen Wert auf 4 Mrd CHF/Jahr. (Fitze 2007). In Tirol liegt der Anteil an Schutzwald bei mehr als 66% und in der Autonomen Region des Aostatal in Italien haben sogar etwa 80% der Wälder eine Schutzfunktion (Wehrli et al. 2008). Eine aktuelle Studie des Innsbrucker Zentrums für Naturgefahren und Risikomanagement alpS beziffert den volkswirtschaftlichen und sozioökonomischen Wert eines Hektars Schutzwald auf 100.000 Euro jährlich (alp S 2009). Diese Summe errechnet sich aus dem Wert aller von einer Lawine zerstörten Objekte wie etwa Gebäude, Straßen und Stromleitungen, aber auch Menschenleben.

Technische Lösungen allein reichen oftmals nicht aus und sind sehr teuer. So kostet die künstliche Lawinenverbauung pro laufenden Meter etwa 470 Euro (Holz), 1.200 Euro (Stahl) oder gar 20.000 Euro (Lawinengalerie) (Baumann/Wilhelm 1997). Eine Lawinenverbauung mit Stahlwerken kostet rund eine Million Franken pro Hektare. Im Kanton Bern schützen 18.000 Hektaren Wald Siedlungen und Verkehrswege vor Lawinen (Kanton Bern o.J.).

Grund- und Trinkwasserschutz

Die Natur hat auch ökonomische Wirkungen im Bereich des Grund- und Trinkwasserschutzes – Naturschutz trägt dazu dabei, technische Reinigungskosten zu senken. So verringern Flussauen durch ihre Senkenfunktion die Stickstofffracht von Flüssen und begrenzen dadurch die Kosten für die Abwasserreinigung in Kläranlagen. Ein Hektar renaturierter Elbaue reduziert die Stickstofffracht um 200 Kilogramm, dies entspricht einem monetären Wert von 585 Euro je Hektar,

berechnete ein Expertenteam im Auftrag des Bundesforschungsministeriums (Hartje et. al. 2003). Der ökonomische Wert der Nährstoffrückhaltung entlang der Elbe wurde in einer weiteren Untersuchung zwischen neun und 26 Millionen Euro angesiedelt, wobei die ansonsten anfallenden Kosten für die Trinkwasserbehandlung zugrunde gelegt wurden (Meyerhoff, Dehnhardt 2004).

Auf rund 288 Euro / ha, d.h. weltweit aufsummiert 14,6 Milliarden Euro wird der jährliche wirtschaftliche Nutzen der nach der Ramsar-Konvention weltweit geschützten Feuchtgebiete allein für ihre Funktion als Wasserfilter veranschlagt. Weitere 23,6 Mrd Euro (464 €/ha) erwirtschaften die untersuchten Wetlands für den Hochwasserschutz. Dies ergab eine Synthesestudie aus den Ergebnissen von 89 Fallstudien aus aller Welt (Schuyt, Brander 2004).

Nicht zu unterschätzen ist der Wert naturnaher Wälder für den Wasserschutz und die Trinkwasserversorgung (Filterfunktion, Grundwasserbildung etc.). So stammen fünfzig Prozent des bayerischen Trinkwassers mit einem jährlichen Wert von über 500 Millionen Euro aus dem Wald (BSELF 1999). Auf eine kostspielige Aufbereitung kann aufgrund der guten Wasserqualität meist verzichtet werden. Die Leistungen des Waldes in Baden-Württemberg für den Wasserschutz wurden mit mindestens 35 Euro pro Hektar berechnet (MLR 2001).

Bio-Indikatoren und Biomonitoring

Bergleute nahmen früher Kanarienvögel mit in die Zechen – wenn diese von ihrer Stange fielen, bestand Gefahr durch Grubengas. Dies ist ein frühes Beispiel für einen Bioindikator. Bioindikation bezeichnet die qualitative Erfassung von Umwelteinflüssen durch die Analyse von Organismen bzw. Lebensgemeinschaften ("Ist ein Schadstoff vorhanden oder nicht?"), während das Biomonitoring deren quantitative Erfassung bezeichnet ("Wie hoch ist die Schadstoffbelastung?") (Oehlmann et al. 2005). Es gibt drei Arten von Bioindikatoren (Möller-Streitböcker 1993 im Rückgriff auf den Ökotoxikologen Bruno Streit, vgl. Rammert 2004, Grünhage 2007):

1. Zeigerarten helfen bei der Bewertung einer bestimmten Umweltsituation (z.B. bestimmte Pflanzengemeinschaften zur Bewertung der Bodenqualität im Ackerbau).
2. Testarten sind Arten, deren Organismus schnell auf Umweltveränderungen reagieren. Hefepilze reagieren auf mehr als 60 Umweltchemikalien durch den Rückgang ihrer Fähigkeit zur Vermehrung – so lässt sich innerhalb einer halben Stunde ein Test durchführen (Projekt UBA und Univ. Berlin, Inst. für Biochemie und Molekularbiologie, Dr. Andreas Gies, 1987). In Wasserwerken werden dazu Goldorfen (eine Fischart) und Wasserflöhe eingesetzt, die die Wasserqualität automatisiert überwachen.
3. Monitorarten zeigen schleichende Veränderungen in einem Ökosystem – so lassen sich durch die Zusammensetzung der Arten in einem Bach nach einer standardisierten Zählmethode die Gewässergüteklassen unterscheiden. Für die Analyse von Luftschadstoffen werden im passiven Biomonitoring Moose und Flechten, im aktiven Biomonitoring die standardisierte Graskultur, Grünkohl, Kleine Brennessel und Tabak empfohlen. Auch im Klimaschutz spielen Bioindikatoren eine wichtige Rolle. Arteninventare oder das Verhalten der Zugvögel geben Aufschluss über Veränderungen und zur rückwirkenden Analyse der Klimaentwicklung in früheren Epochen werden z.B. Baumringanalysen und Pollenanalysen herangezogen.

Als Bioindikatoren eignen sich unter anderem alle Tiere, die am Ende der Nahrungskette stehen, denn in ihnen reichern sich die Stoffe an. Das reicht vom den chlorierten Kohlenwasserstoffen PCB und DDT in Gewebeproben von Eisbären über den Quecksilbergehalt im Gefieder von Vögeln bis zum Dioxin in der Muttermilch. All diese Beispiele warnen uns vor schleichenden Gefahren. Ein weiterer Schritt ist der Einsatz natürlicher Organismen für die Identifizierung und Beseitigung konkreter Schäden und Gefahren:

- In thüringischen Uranbergbaugebieten halfen Bienen dabei, eine Belastungskarte zu erstellen – jeder Bienenstock hat seinen bestimmten Einzugsbereich in dem er seinen Menge Honig (und damit auch strahlende Partikel) einsammelt (Möller-Streitböcker 1993).
- Honigbienen mit ihrem sensiblen Geruchssinn können sogar auf Sprengstoff trainiert werden und damit helfen, Landminen aufzuspüren. Nach Schätzungen der Vereinten Nationen sind derzeit (2005) rund 110 Millionen Landminen in über 70 Ländern vergraben. Bienen lassen sich binnen Tagen auf Gerüche trainieren, indem man ihnen Zuckerwasser mit Spuren der jeweiligen Substanz gibt – das funktioniert auch bei TNT. Die Bienenschwärme werden mit einem 'optischen Radar' verfolgt. (Shaw et al. 2005)
- 2008 wurden erstmals Regenwürmer in stillgelegten Minen in England und Wales mit besonderen Fertigkeiten entdeckt: Sie können Blei, Kupfer und Zink aus dem Boden aufnehmen, ohne dass sie ihren Organismus damit schädigen. Die giftigen Schwermetalle werden dabei im Körper mit einer Eiweiß-Schicht umgeben und wieder ausgeschieden. Sie können dann auf diese Weise besser von Pflanzen aufgenommen werden. Nun wird geprüft, wie gut man die Regenwürmer als Bioindikatoren zur Identifizierung stark belasteter Flächen einsetzen kann. (Owen 2008, vgl. Arnold et al. 2008, Sizmur, Hodson 2008).

Beispiel: Reinigungskräfte bei Ölverschmutzungen

Bei den enormen Mengen an Erdöl, die im Meer gefördert oder auf dem Wasserweg transportiert werden, sind Verschmutzungen des Meerwassers durch Öl an der Tagesordnung.

Ölverschmutzungen der Meere und Gewässer werden aber nicht nur durch Schiffsunglücke und lecke Pipelines und Förderanlagen, sondern auch durch die illegale Reinigung von Tanks verursacht (Global marine oil polluter information network, n.d.). Ölabbauende Bakterien sind zwar im Meer quasi überall vorhanden. Auf Ölkatastrophen großen Ausmaßes ist die die Natur allerdings nicht eingerichtet. Die Reinigung durch Mikroorganismen (Bioremediation) ist eine neue Technologie, mit der die Selbstreinigungskräfte des Meeres effektiv unterstützt werden können, wie die Erfolge nach der Exxon Valdez- Havarie 1989 in Alaska zeigen. Neue Anwendungsgebiete für diese Technologie können beispielsweise Küstenlinien, Marschen und Sedimente in Flachwasserzonen sein (Committee on Marine Biotechnology 2002).

Allein für die Havarei der Exxon Valdez wurden die Aufräumkosten mit 5,2 Mrd. US\$ und die gesamten Kosten der Schadensregulierung incl. Strafgebühren und Geldbussen auf bisher 7 Mrd. US\$ geschätzt. Weitere größere Schadensfälle sind die Amoco Cadiz (Frankreich, 1978) mit einem Schaden von 282 Mio. US\$, die Braer (UK, 1993) mit einer Schadenssumme von 83 Mio. US\$ (insbesondere zu Entschädigung der Fischereiwirtschaft), die Sea Empress (UK, 1996, >60 Mio. US\$), die Nakhoda (Japan, 1997, 219 Mio. US\$), die Erika (Frankreich, 1999, > 180 Mio. US\$)

(ITOPF, n.d.).

Bei Ölnfällen fließen besonders die Schäden für die Fischerei und die kommerziellen Tourismus-Aktivitäten in die Berechnung ein, dazu kommen noch die 'non-use values', wie der Existenzwert der Natur oder der Wert, der dadurch entsteht, dass man um das Vorhandensein dieser Schätze weiss. Der letztgenannte Wert wird mit der Contingent Valuation- Methode berechnet, indem die Betroffenen befragt werden, wie viel ihnen die Existenz der intakten Natur Wert ist. Mit dieser Methoden wurden z.B. 65 km belgischer Küstenlinie bewertet (Medianwert 606 Mio. € = 0,24 % des belgischen BSP, van Biervliet et. al. 2006), die Washington Region in den USA (11 Mrd. US\$, Washington State Department of Ecology; Spill Prevention, Preparedness and Response Program 2006), und eben die Folgen der Exxon Valdez Havarie (2,8 Mrd. US\$, Carson et. al. 1992).

Experimente im Mikrobereich zeigen, dass eine Mischung verschiedener Bakterienstämme Öl schneller mineralisiert als einzelne isolierte Stämme (Sathishkumar et. al. 2008). Wissenschaftler der Universität Bielefeld und des Braunschweiger Helmholtz-Zentrums für Infektionsforschung (HZI) entzifferten im Jahr 2006 erstmals das komplette Genom des wohl wichtigsten Erdöl fressenden Meeresbakteriums der Art *Alcanivorax borkumensis*. In unverschmutzten Gewässern ist diese Art nicht zu finden, aber in Ölteppichen haben sie einen Anteil von bis zu 80 % der Mikrobenpopulationen (Quelle?) Eine weitere Erdöl abbauende Bakterienart mit dem Namen *Arthrobacter*. wird bereits in Bioreaktoren gezüchtet und für die Reinigung von Öltankern, Öleinrichtungen und Ölteppichen auf dem Meer angeboten (<http://www.israswiss.ch/israswiss/landvolk/504573958a11f5713/53882199160541708.html>).

Der ökonomische Nutzen der Öl fressenden Bakterien kann anhand der Reinigungskosten für eine Reinigung aus Menschenhand bewertet werden, deren Kosten je nach Art des Öls, Lage und Grösse des Unfallorts und verwendeter Methode variiert. Den grössten Schaden richtet das Öl an, das die Küstenlinie erreicht – dies wiederum wird beeinflusst durch die Art des Öls, die Windrichtung und -geschwindigkeit, Strömungen etc. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Kosten (Etkin 1999):

Schadensort	Unfälle in den USA	Unfälle außerhalb den USA	Alle Unfälle
Im Hafen	\$34,089.30/Tonne \$30.63/Liter	\$12,983.04/Tonne \$11.67/Liter	\$19,674.25/Tonne \$17.68/Liter
küstennah <5km von der Küste)	\$25,066.44/Tonne \$22.53/Liter	\$17,931.06/Tonne \$16.11/Liter	\$22,442.69/Tonne \$20.17/Liter
Auf hoher See	\$6,873.72/tonne \$6.18/Liter	\$8,570.10/Tonne \$7.70/Liter	\$8,292.94/Tonne \$7.36/Liter

Unterschiede ergeben sich auch durch die verwendete Reinigungsmethode (Etkin 1999):

Vorherrschende Reinigungsmethode	Effektivität	Reinigungskosten US\$/Liter
Von Hand	variiert	\$21.03/Liter

Mechanisch (meist durch Abpumpen)	10-20%	\$8.64/Liter
Chemikalien (Detergentien zur Erzeugung von Emulsionen)	80-90%, keine echte Beseitigung	\$5.06/Liter
<i>In Situ</i> Verbrennung	90-98%, gefährliche Emmissionen	\$2.81/Liter
Auf natürlichem Weg	Bis zu 90% (unter entsprechenden Bedingungen)	\$1.15/Liter

Ökologische Kreisläufe, Nährstoffkreisläufe und der Nährstoffeintrag in Gewässer

Nährstoffe, wie z.B. Stickstoff, Phosphor, Schwefel, Silizium, Metalle, sind Grundvoraussetzung für die Existenz von Leben. Der Nährstoffkreislauf sorgt dafür, dass die notwendigen Nährstoffe auf allen Ebenen der Nahrungskette verfügbar sind. Verschiedene Ökosysteme existieren auf der Grundlage sehr unterschiedlicher Nährstoffkreisläufe. Besonders sensible Kreisläufe haben der tropische Regenwald Amazoniens (Nährstoffe sind nur in geringem Umfang im Boden gebunden, sondern fast ausschließlich in den Organismen, Nachschub erfolgt per Windfracht aus dem nördlichen Afrika) und Gewässer aller Art, die empfindlich auf einen zu hohen Eintrag von Nährstoffen reagieren (Eutrophierung). Gestörte Nährstoffkreisläufe können zu einem Zusammenbruch des jeweiligen Ökosystems führen, das damit seine wirtschaftlich relevanten Güter und Dienstleistungen (Ecosystem Services) nicht mehr liefern kann. Insofern ist ihr ökonomischer Nutzen einerseits indirekt als Grundvoraussetzung wirtschaftlich relevanter Leistungen und andererseits grundlegend, da viele ökosystemaren Leistungen notwendige Voraussetzung für die Lebensweise sind, die der Mensch bisher gewohnt ist. Dies soll im Folgenden am Beispiel der marinen Nährstoffkreisläufe gezeigt werden, die trotz der enormen Größe der Weltmeere nicht unempfindlich gegen die Einflüsse menschlicher Aktivitäten sind.

Die marine Biodiversität spielt eine wichtige Rolle beim Erhalt der ökologischen Kreisläufe (DEFRA 2006). Tiefsee-Sedimente bedecken 65% der Erdoberfläche. Die mikrobiologischen Prozesse, die in diesen Sedimenten ablaufen, haben weitreichende Wirkungen auf die Nährstoffkreisläufe und die globalen biochemischen Prozesse. Tiefsee- Sedimente bergen die größten Reserven an Biomasse und nicht-erneuerbaren Ressourcen. Ein Verlust an Biodiversität in den Tiefsee- Ökosystemen könnte mit einer exponentiellen Verringerung ihrer Funktionen einhergehen (Danovaro et. al. 2008).

Alle chemischen Elemente werden von den Meereslebewesen kontinuierlich recycelt. Das ist die Grundlage für neues Leben und steht damit jenseits aller Bewertungen. Pflanzen und Bakterien können im Wasser gelöste Stoffe aufnehmen, Tiere benötigen die Zufuhr der Stoffe in Form fester Partikel aus ihrer Nahrung. Es gibt keine Substanz auf der Erde, die nicht durch Bakterien zerlegt werden kann und jedes Element hat seinen eigenen Kreislauf im Meer. Diese Kreisläufe können räumlich an unterschiedlichen Orten auftauchen, man spricht dann von "biogeochemischen Provinzen" in den Ozeanen (Ragueneau et.al. 2006).

Costanza et al. (1997) wandten die Replacement Cost Methode an, um die Fähigkeit der Umwelt zur Aufrechterhaltung ausgewogener Nährstoffkreisläufe zu bewerten. Dabei kommen sie auf die

Summe von 0,1 – 0.29 £/ m³, die für die künstliche Reinigung des Meerwassers aufgewendet werden müsste, eine Summe, die hochgerechnet auf die gesamten Meerwassermengen unvorstellbar gross ist. Allein für das UK ergäbe sich so ein Gesamtwert von 800 – 2.320 Mrd. £, und das nur für eine einmalige Behandlung des Wassers (DEFRA 2006). Dieser Wert ist allerdings theoretisch, denn wenn der Nährstoffkreislauf zusammenbricht, hilft auch keine Behandlung des Wassers mehr, das marine Ökosystem bricht zusammen.

Nährstoffe sind die begrenzenden Faktoren für die Primärproduktion in den meisten Regionen der Ozeane. Pflanzen verwandeln CO₂ mithilfe von Sonnenenergie in organische Materie. Die organische Materie besteht aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff sowie weiteren Elementen, insb. Phosphor und Stickstoff. Verschiedene Spezies haben verschiedene Ansprüche an die Zusammensetzung der Nährstoffe und verschiedene Möglichkeiten, diese aufzunehmen. Je nach Nährstoffreichtum werden andere Pflanzen und Bakterien bevorteilt. Alle anderen Lebewesen nehmen die Nährstoffe sekundär auf, indem sie die Primärproduzenten (Pflanzen resp. Bakterien) fressen. So entsteht die Nahrungskette. Auf jeder Ebene der Nahrungskette gibt es Bakterien und Pilze, die organisches Material re-mineralisieren und dabei nicht nur Biomasse, sondern auch gelöste und damit wieder verfügbare Nährstoffe produzieren – der Kreislauf schliesst sich (Danovaro / Pusceddu 2007). Die Nährstoffe werden dem marinen Ökosystem auf zwei Arten dauerhaft(er) entzogen: durch Ernte (z.B. Fischfang) oder durch Ablagerung in den Sedimenten auf dem Meeresgrund. (DEFRA 2006).

Im offenen Ozean findet die Re-Mineralisierung in der Wassersäule statt und Nährstoffe werden komplett verwertet, weil das offene Meer ein Nährstoff- limitiertes System ist. An den Küsten liegt die Sache anders, hier wird viel organisches Material in den Ozean eingeschwemmt. Menge und Zusammensetzung der Mikroben spielen bei der Re-Mineralisierung in Küstengewässern die Hauptrolle, wobei eine hohe Diversität wichtig ist (Danovaro / Pusceddu 2007).

Obwohl weite Teile der Ozeane Nährstoff limitiert sind, führt der Eintrag von zu vielen Nährstoffen (insbesondere durch landwirtschaftliche Überdüngung, Abschwemmungen im Zusammenhang mit der Abholzung von Wäldern sowie der Eintrag von Abfällen aller Art) zu Problemen. Die daraus resultierende Eutrophierung führt zuerst einmal durch das Überangebot an Nährstoffen zu einer verstärkten Primärproduktion und damit zu einem verbesserten Nahrungsangebot auf allen Ebenen der Nahrungskette. Wird das Nährstoffangebot aber zu hoch, nimmt die Biodiversität ab. Die Diversität von Ökosystemen (sowohl im Bezug auf die Artenvielfalt als auch im Bezug auf die funktionale Zusammensetzung) ist am höchsten bei einem mittleren Nährstoffgehalt. Wird mehr organisches Material in den Sedimenten abgelagert, nimmt der Sauerstoffgehalt ab, die Lebensbedingungen für verschiedene Spezies verschlechtern sich (Duffy 2006). Eine geringere Sauerstoff- Konzentration wirkt auch schädigend auf die Eier von Fischen und ruft Algenblüten hervor (Heil et. al. 2001, Walsh et. al. 2006, Mahowald et. al. 2005). Anthropogene Einflüsse führen zu drastischen Veränderungen in der Umwelt. Der Eintrag von Nährstoffen oder toxischen Substanzen in die Meere verändert die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften auf allen Ebenen (Bell et. al. 2005, Cardinale et. al. 2006, Duffy et. al. 2007). Auch die Zusammensetzung der Bakteriengemeinschaften verändert sich in Abhängigkeit von den verfügbaren Stoffen (Sathishkumar et. al. 2008), ebenso die Zusammensetzung der Algenkulturen und diese

Änderungen ziehen sich durch die gesamte Nahrungskette (Danovaro, Pusceddu 2007).

Ökosysteme haben aber auch die Fähigkeit, bis zu bestimmten Grenzen die Eutrophierung abzapuffern. Es gibt eine ganze Reihe von Studien, die zeigen, dass eine hohe Biodiversität die Biomasse- Produktion anregt und dass solche Ökosysteme bei Eutrophierungstendenzen ihre Funktion besser erfüllen bzw. sich besser an schwankende Nährstofflevel anpassen können. (Chase, Leibold 2003, Hooper et al. 2005, Srivastava / Vellend 2005, Balvanera et al. 2006, Cardinale et al. 2006).

Die Ostsee ist stark eutrophiert, was zu Problemen wie Algenblüte, sinkender Wasserqualität und Veränderungen der Artenzusammensetzung in den Lebensgemeinschaften am Meeresgrund führt (Turner et. al. 1999). Schätzungen gehen von einem Nährstoffeintrag von 940 000 t Stickstoff (N) und 38 000 t Phosphor (P) im Jahr 1992 aus (HELCOM 1996). Eine Studie der Ostseeregion bewertet Kosten und Nutzen einer Verringerung der Eutrophierung. Um die Stickstofffracht zu halbieren würden jährlich 4.140 Mio. US \$ notwendig, eine Contingent Valuation Studie in 3 angrenzenden Ländern erbrachte eine WTP (willingness to pay) von 6.048 Mio. US \$ pro Jahr. Eine 50%ige Verringerung des Eintrags von Stickstoff und Phosphor in allen Zuflüssen hat für die beteiligten Länder folgende Kosten- Nutzen- Relation: (Turner et. al. 1999, Agnieszka, Zylicz 1999, Markowska / Zylicz 2000):

Land	Reduktion	Kosten	Netto Benefit (Mio SEK/Jahr)	
Schweden	42 %	5300	15423	(6291)
Finnland	52 %	2838	7961	(3208)
Dänemark	51 %	2962	9414	(3967)
Deutschland	39 %	4010	4359	(677)
Polen	63 %	9600	1761	(-3701)
Russland	44 %	586	2902	(1183)
Estland	55 %	1529	-1111	(-1317)
Lettland	56 %	1799	-1216	(-1508)
Litauen	55 %	2446	-1523	(-1978)
Total	50 %	31070	38240	(6822)

(in Klammern der Netto Benefit, wenn die 'Willingness to Pay' von Nicht- Anwohnern bei Null angenommen wird. Kurs SEK – Euro fiktiv im Erscheinungsjahr: 1,04 : 1))

Die Kosten für eine Reduzierung des Nährstoffeintrags in die Nordsee durch die 3 Flüsse Elbe, Humber und Rhein werden auf 2.205 Mio. US\$ für eine geringe Reduktion der ökologischen Risiken und auf 7.263 Mio. US\$ für eine deutliche Reduktion geschätzt (Nunneri et. al. 2007).

Ein ganz anderer Ansatz wurde in Australien gewählt, wo die Korallen des Großen Barriereriffs durch Schadstoffeinträge aus der Viehzucht vom australischen Festland bedroht sind. Auf der einen

Seite bringt der Tourismus rings um das Riff eine jährliche Wertschöpfung in Höhe von 3,26 Mrd. Australische \$ (1,89 Mrd Euro) für die australische Volkswirtschaft. Andererseits erbringt die extensive Rinderzucht in der Great Barrier Riff- Region immer noch eine Wertschöpfung von 1 Mrd. Australische \$ (580 Mio Euro) jährlich und stellt 9.000 Arbeitsplätze bereit, viele davon im ländlichen Raum. Änderungen im Beweidungsmanagement führten hier sogar zu einer höheren Fleischproduktion bei gleichzeitig geringerem Nährstoffeintrag und damit zu einer win-win Situation (Gordon 2005).

Katastrophenschutz – Literatur

- Agnieszka M, Zylicz T (1999): *Costing an international public good: the case of the Baltic Sea*. In: Ecological Economics, Vol. 30, pp. 310–316
- Alp S (2009): *Schutzwaldstudie „Großer Wert und kleiner Preis“*. Pressemitteilung des alp S - Zentrums für Naturgefahren- und Risikomanagement GmbH, Innsbruck, <http://www.alp-s.at/cms/index.php?id=11>
- Arnold R E, Hodson M E, Langdon C J (2008): *A Cu tolerant population of the earthworm Dendrodrilus rubidus (Savigny, 1862) at Coniston Copper Mines, Cumbria, UK*. In: Environmental Pollution, Vol. 152, pp. 713-722
- Balmford A. et.al. (2002): *Economic Reasons for Conserving Wild Nature*. In: Science Vol 297,). Aug. 2002, S. 950ff.
- Balvanera P et al. (2006): *Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services*. In: Ecol. Lett., Vol. 9, pp. 1146-1156
- Beaumont N, Townsend M, Mangi S, Austen M (2006): *Marine Biodiversity: An Economic Valuation*. Plymouth Marine Laboratory and the UK Department for Environment, Food and Rural Affairs. http://www.ucl.ac.uk/bioecon/8th_paper/Austen.pdf
- Bell T, Newman J A, Silverman B W, Turner S L, Lilley A K (2005): *The contribution of species richness and composition to bacterial services*. In: Nature, Vol. 436, pp. 1157-1160
- Berg H, Öhman M C, Troëng S, Lindén O (1998): *Environmental Economics of Coral Reef Destruction in Sri Lanka*. In: Ambio, Vol. 27, No. 8, Building Capacity for Coastal Management (Dec., 1998), pp. 627-634
- van Beukering P (ed., 2006): *The Economic Value of the Coral Reefs of Saipan, Commonwealth of the Northern Mariana Islands*. Original report compiled by Cesar Environmental Economics Consulting under funding from the US Department of the Interior and National Oceanographic and Atmospheric Administration, <http://cnmicoralreef.net/Saipan%20final%20report%20zip%20Feb2006.pdf>
- van Biervliet K, Le Roy D, Nunes P A L D (2006): *An Accidental Oil Spill Along the Belgian Coast: Results from a CV- Study*. Nota di Lavoro 41.2006. <http://www.feem.it/Feem/Pub/Publications/WPapers/default.htm>
- BMU (2005): *Umwelt macht Arbeit – Das Wirtschaftsmagazin des Bundesumweltministeriums*. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin
- BMU (2007): *Kurzinfo Hochwasservorsorge* Stand: Dezember 2007, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin
- Brouwer R, Langford I H, Bateman I J, Turner R K (1997): *A meta-analysis of wetland contingent valuation studies*. In: Regional Environmental Change Vol. 1997 (1), pp. 47-57

- BSELF Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (1999): *Zukunft Wald. Nachhaltigkeit in Bayerns Wäldern*. München
- Burke L, Maidens J, Spalding M, Kramer P, Green E, Greenhalgh S, Nobles H, Kool J (2004): *Reefs at Risk in the Caribbean*. World Resources Institute WRI, Washington DC. <http://www.wri.org/project/reefs-caribbean>
- Cardinale B J, Srivastava D S, Duffy J E, Wright J P, Downing A L, Sankaran M, Jouseau C (2006) : *Effects of biodiversity on the functioning of trophic groups and ecosystems*. In: Nature, Vol. 443, pp. 989-992
- Carson R T, Mitchell R C, Hanemann W M, Kopp R J, Presser S, Ruud P A (1992): *A Contingent Valuation Study of Lost Passive Use Values Resulting From the Exxon Valdez Oil Spill*. Unpublished. http://mpira.ub.uni-muenchen.de/6984/1/MPRA_paper_6984.pdf
- Cesar H S J, Öhman M C, Espeut P, Honkanen M (2000): *An economic valuation of Portland Bight, Jamaica: An integrated terrestrial and marine protected area*. Working Paper, Institute for Environmental Studies, Free University, Amsterdam
- Chase J M, Leibold M A (2003): *Ecological niches: linking classical and contemporary approaches*. Univ. of Chicago Press
- Committee on Marine Biotechnology (2002): *Marine Biotechnology in the Twenty-First Century. Problems, Promise, and Products. Biomedical Applications of Marine Natural Products*. Report on two Workshops Organised in Oct. 1999 and Nov. 2001 by the Ocean Studies Board (OSB) and the Board on Life Sciences (BLS) of the National Research Council (NRC), USA, National Academy Press, Washington D.C.
- Cooper N J (2005): *Wave Dissipation Across Intertidal Surfaces in the Wash Tidal Inlet, Eastern England*. In: Journal of Coastal Research Vol. 21(1), pp. 28-40
- Coops H, Geilen N, Verheij H J, Boeter R, van der Velde G (1996): *Interactions between wave, bank erosion and emergent vegetation: an experimental study in wave tanks*. In: Aquatic Botany Vol. 53, pp. 187-198
- Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskins R G, Sutton P, van den Belt M (1997): *The value of the world's ecosystem services and natural capital*. In: Nature, Vol. 387, pp. 253-260
- CPSL (2001): *Coastal Protection and Sea Level Rise*. Final Report of the Trilateral Working Group on Coastal Protection and Sea Level Rise. Wadden Sea Ecosystem No. 13. Common Wadden Sea Secretariat. Wilhelmshaven, Germany. <http://www.waddensea-secretariat.org/management/cpsl/cpsl.html>
- Dahdouh-Guebas F, Jayatissa L P, Di Nitto D, Bosire J O, Lo Seen D, Koedam N (2005): *How effective were mangroves as a defence against the recent tsunamis?* In: Current Biology, Vol. 15, Issue 14, Freie Universität Brüssel, pp. 1337-1338
- Danovaro R, Pusceddu A (2007): *Biodiversity and ecosystem functioning in coastal lagoons: Does microbial diversity play any role?* In: Estuarine, Coastal and Shelf Science, Vol. 75, pp. 4-12

- Danovaro R, Gambi C, Dell'Anno A, Corinaldesi C, Frascchetti S, Vanreusel A, Vincx M, Gooday A J (2008): *Exponential Decline of Deep-Sea Ecosystem Functioning Linked to Benthic Biodiversity Loss*, In: Current Biology, Vol. 18, No. 1-8, DOI 10.1016/j.cub.2007.11.056
- DEFRA (2006): *Marine Biodiversity: An economic valuation. Building the evidence base for the Marine Bill*. Defra report, www.defra.gov.uk
- Duffy J E (2006): *Biodiversity and the functioning of seagrass ecosystems*. In: Mar Ecol Prog Ser, Vol. 311, pp. 233–250
- Duffy J E, Cardinale B J, France K E, Loreau M, McIntyre P B, Thebault E (2007): *The functional role of biodiversity in ecosystems: incorporating trophic complexity*. In: Ecol. Lett., Vol. 10, pp. 522-538
- Etkin D S (1999): *Estimating Cleanup Costs for Oil Spills*. In: Proceedings of the 1999 International Oil Spill Conference, Paper #168 on CD-Rom
- Etkin D S (2000): *Worldwide Analysis of Marine Oil Spill Cleanup Cost Factors*. Paper presented at: Arctic and Marine Oilspill Program Technical Seminar (June 2000)
- Fitze U (2007): *Gut gepflegte Wälder bieten mehr Sicherheit. Dossier Naturgefahren*, in: Umwelt, Vol. 2/07, pp. 37-39,
- FLOODsite (2007): *Integrated Flood Risk Analysis and Management Methodologies*.
http://www.floodsite.net/html/project_overview.htm
- Fonseca M S, Cahalan J A (1992): *A preliminary evaluation of wave attenuation by four species of seagrass*. In: Estuarine, Coastal and Shelf Science Vol. 35, pp. 565-576
- Gieska, M. et al. (2003): *Physikalische Bodendegradation in der Hildesheimer Börde und das Bundesbodenschutzgesetz*. In: Berichte über Landwirtschaft, Bd. 81, H. 4
- Gilman E, Van Lavieren H, Ellison J, Jungblut V, Wilson L, Areki F, Brighthouse G, Bungitak J, Dus E, Henry M, Sauni Jr I, Kilman M, Matthews E, Teariki-Ruatu N, Tukia S, Yuknavage K (2006): *Pacific Island Mangroves in a Changing Climate and Rising Sea*. UNEP Regional Seas Reports and Studies No. 179. United Nations Environment Programme, Regional Seas Programme, Nairobi, Kenya
- Global marine oil polluter information network (n.d.):
<http://oils.gpa.unep.org/facts/oilspills.htm#intelligence>
- Gordon I J (2005): *Linking land to ocean: feedbacks in the management of socio-ecological systems in the Great Barrier Reef catchments*. In: Hydrobiologia, Vol. 591, pp. 25–33,
<http://www.springerlink.com/content/p044m654753r5304/>
- Greenpeace (o.J.): *Klimawandel und Lawinen. Risiken und Trends im Alpenraum*. Greenpeace-Report, Greenpeace Österreich in Zusammenarbeit mit der Universität für Bodenkunde Wien
- Grünhage L (2007): *Biomonitoring*. Justus-Liebig-Universität Giessen, Institut für Pflanzenökologie,
<http://www.uni-giessen.de/cms/fbz/fb08/biologie/pflanzenoek/forschung/Foeinr/UKL/projekte/biomonitoring>

- Hartje V., Meyerhoff J., Dehnhardt A. (2003): *Monetäre Bewertung einer nachhaltigen Entwicklung der Stromlandschaft Elbe*. Endbericht BMBF-Forschungsvorhaben Nr. 03395947/1 im Rahmen des Programms Elbe-Ökologie. TU Berlin
- Hegg C, Badoux A, Lüscher P, Witzug J (2004): *Zur Schutzwirkung des Waldes gegen Hochwasser*. In: Eidgenössische Forschungsanstalt WSL (ed.): *Schutzwald und Naturgefahren*. Forum für Wissen 2004, pp. 15-20, http://www.wsl.ch/publikationen/reihen/forum/forum_2004_DE
- Heil C A, Glibert P M, Al-Sarawl M A, Faraj M, Behbehani M, Husain M (2001): *First record of a fish-killing *Gymnodinium* sp bloom in Kuwait Bay, Arabian Sea: chronology and potential*. In: *Mar Ecol Prog Ser*, Vol. 214, pp. 15-23
- HKC (2008): *Das HochwasserKompetenzCentrum (HKC) in seiner Entwicklung*. HochwasserKompetenzCentrum (HKC) im Rheinland, <http://www.hkc-koeln.de/index.php?id=19>
- HELCOM (1996): *Third Periodic Assessment of the State of the Marine Environment of the Baltic Sea, 1989–1993, Background document*. In: *Baltic Sea Environment Proceedings*, No. 64B, Helsinki Commission, pp. 20–26
- Hooper D U et al. (2005): *Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge*. In: *Ecol. Monogr.* Vol. 75, pp. 3-35
- Hörnum (2005): *Entwicklung von Küstenschutzmaßnahmen, Sandaufspülungen zum Schutz der Sylter Westküste 2003 bis 2005*. Info – Ort Hörnum, http://www.sylt-dienst.de/index.php?option=com_content&task=view&id=12&Itemid=30
- Huber T (2006): *Wald ist natürlicher und kostengünstiger Hochwasserschutz*. In: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, LWFaktuell Nr. 52, S. 33-34
- Hughes R G, Paramor O A L. (2004): *On the loss of saltmarshes in south-east England and methods for their restoration*. In: *Journal of Applied Science* Vol. 41, pp. 440-448
- Hughes T P, Bellwood D R, Folke C, Steneck R S, Wilson J. (2005): *New paradigms for supporting the resilience of marine ecosystems*. In: *Trends in Ecology and Evolution* Vol. 20 (7), pp. 380-386
- IPCC (2007): *Summary for Policymakers*. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt K B, Tignor M, Miller H S (eds.): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press: Cambridge, UK / New York, USA
- Isebe D, Azerad P, Bouchette F, Ivorra B, Mohammadi B (2007): *Shape optimization of geotextile tubes for sandy beach protection*. In: *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Int. J. Numer. Meth. Engng (2007), pp Published online DOI: 10.1002/nme.2209
- ITOPF (n.d.), *the international tanker owners pollution federation limited*. <http://www.itopf.org/spill-compensation/cost-of-spills/>
- Kanton Bern (o.J.): *Schutzwälder*. Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Bern, <http://www.vol.be.ch/site/naturgefahren-schutzwaelder>

- Kemfert C (2008): *Kosten des Klimawandels ungleich verteilt: Wirtschaftsschwache Bundesländer trifft es am härtesten*. In: Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Wochenbericht Nr. 12–13/2008, pp. 137-142
- Kemfert C (2004): *Die ökonomischen Kosten des Klimawandels*. Wochenbericht des DIW Berlin 42/04, http://www.diw.de/deutsch/wb_42/04_die_oekonomischen_kosten_des_klimawandels/31209.html#FN3
- Kennel M (2004): *Vorbeugender Hochwasserschutz durch Wald und Forstwirtschaft in Bayern*. Ergebnisse eines Demonstrationsvorhabens. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), LWF-Wissen No. 44, http://www.waldwissen.net/themen/naturgefahren/hochwasser/lwf_wissen_44_2004_1.pdf
- Kettunen M, ten Brink P (2006): *Value of biodiversity – Documenting EU examples where biodiversity loss has led to the loss of ecosystem services*. Final report for the European Commission. Institute for European Environmental Policy (IEEP), Brussels, Belgium
- King S E, and Lester J N (1995): *The value of saltmarsh as a sea defence*. In: Marine Pollution Bulletin, Vol. 30, pp. 180-189
- Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2004): *Hochwasserrisikomanagement Vermeidungs-, Schutz- und Minderungsmaßnahmen*. Brüssel. KOM(2004)472. http://europa.eu.int/comm/environment/water/pdf/com_2004_472_de.pdf (noch weiter auszuwerten, bisher nur Küstenschutz)
- Landesregierung Schleswig-Holstein (n.d.): *Küstenschutz im Land zwischen den Meeren*. Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume, http://www.schleswig-holstein.de/UmweltLandwirtschaft/DE/WasserMeer/09_KuestenschutzHaefen/01_KuestenschutzZwMeeren/ein_node.html
- Mahowald N M, Baker A R, Bergametti G, Brooks N, Duce R A, Jickells T D, Kubilay N, Prospero J M, Tegen I (2005): *Atmospheric global dust cycle and iron inputs to the ocean*. In: Global Biogeochemical Cycles, Vol. 19, Issue 4, article number: GB4025
- Margreth S (2004): *Die Wirkung des Waldes bei Lawinen*. In: Eidgenössische Forschungsanstalt WSL (ed.): Schutzwald und Naturgefahren. Forum für Wissen 2004, pp. 21-26, http://www.wsl.ch/publikationen/reihen/forum/forum_2004_DE
- Markowska A, Zylicz T (2000): *Costing an international public good: the case of the Baltic Sea*. In: Ecology, Vol. 81, Issue 10, pp. 2662–2679
- Meyerhoff J, Dehnhardt A (2004): *The European Water Framework. Directive and Economic Valuation of Wetlands. The Restoration of Floodplains along the River Elbe*. Working Paper on Management in Environmental Planning 11/2004. TU Berlin
- Millenium Ecosystem Assessment (2005): *MA releases second report: Biodiversity and Human Well-being*. Washington. <http://www.millenniumassessment.org/>

- MLR Ministerium Ländlicher Raum Baden-Württemberg (2001): *Waldprogramm Baden-Württemberg*. Stuttgart
- Möller I, Spencer T, French J R, Leggett D J, Dixon M (1999): *Wave Transformation Over Salt Marshes: A Field and Numerical Modelling Study from North Norfolk, England*. In: Estuarine, Coastal and Shelf Science Vol. 49, pp. 411-426
- Möller - Streitbürger W (1993): *Was uns Tiere über die Umwelt verraten*. In: Natur & Kosmos, Vol. 1 / 1993, pp. 38-41
- Mulongoy K J, Gidda S B (2008): *The Value of Nature: Ecological, Economic, Cultural and Social Benefits of Protected Areas*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal
- Münchner Rück (2009): *GeoRisiko-Forschung: Sturmflut wichtiger Schadentreiber 2008*. Pressemitteilung der Münchner Rück,
http://www.munichre.com/de/press/press_releases/2009/2009_02_27_press_release.aspx
- NOAA (2006): *Economic Statistics for NOAA*. National Ocean Service NOS, Fifth Edition, April 2006. United States Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration.
<http://www.publicaffairs.noaa.gov/pdf/economic-statistics-may2006.pdf>
- Nunneri C, Windhorst W, Turner R K, Lenhart H (2007): *Nutrient emission reduction scenarios in the North Sea: An abatement cost and ecosystem integrity analysis*. In: Ecological Indicators Vol. 7, pp. 776–792
- Oehlmann J, Schulte-Oehlmann U, Bachmann J, Oetken M, Tillmann M, Duft M (2005): *Hormonähnlich wirkende Umweltchemikalien – Biomonitoring und Effekte auf aquatische Organismen*. Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt, Abteilung Ökologie & Evolution – Ökotoxikologie, www.bio.uni-frankfurt.de/ee/ecotox/_files/teaching/hauptstudium/ecotox5.pdf
- Owen J (2008): *Heavy Metal-Eating "Superworms" Unearthed in U.K.* In: National Geographic News, October 7, 2008, <http://news.nationalgeographic.com/news/2008/10/081007-super-worms.html>
- Ragueneau O, Schultes S, Bidle K, Claquin P, Moriceau B (2006): *Si and C interactions in the world ocean: Importance of ecological processes and implications for the role of diatoms in the biological pump*. In: Global Biogeochem. Cycles, Vol. 20, GB4S02, doi:10.1029/2006GB002688
- Ragueneau O, Laruelle G (2008): *The global biogeochemical cycle of silicon: role of the land-ocean transition and sensitivity to anthropogenic perturbation with a special focus on invasive species*. In: Geophysical Research Abstracts, Vol. 10, EGU2008-A-04090. SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU2008-A-04090, EGU General Assembly 2008
- Rammert U (2004): *Monitoring von Klimaveränderungen mit Hilfe von Bioindikatoren (Klima-Biomonitoring)*. In: Jahresbericht Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein 2004, pp. 7-21, <http://www.umweltdaten.landsh.de/nuis/upool/gesamt/jahrbe04/Internes/Klima-Monitoring.pdf>
- Reusch T B H, Ehlers A, Hämmerli A, Worm B (2005): *Ecosystem recovery after climatic extremes enhanced by genotypic diversity*. In: Proceedings of the National Academie of Sciences, USA, Vol. 102,

pp. 2826-2831

- Röthlisberger G (1991): *Chronik der Unwetterschäden in der Schweiz*. Berichte der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, No. 330,
http://www.wsl.ch/publikationen/reihen/477_DE
- Roxburgh T (2007): *Economic valuation of coastal resources – applying research and results into action*. Workshop 21.08.2007, Fale Laumei,
http://www.coralreef.gov/taskforce/pdf/evagenda_samoa_2007.pdf
- Sathishkumar M, Binupriya A R, Baik S H, Yun S E (2008): *Biodegradation of crude oil by individual bacterial strains and a mixed bacterial consortium isolated from hydrocarbon contaminated areas*. In: CLEAN - Soil Air Water, Vol. 36, Issue 1, pp. 92 - 96. Published Online: 25 Jan 2008, ISI:000252841300018
- Schirmer M, Schuchart B (n.d.): *Climate Change and Preventive Risk and Coastal Protection Management on the German North Sea Coast (KRIM)*. <http://www.krim.uni-bremen.de/englisch/indexenglisch.html>
- Schwarze R, Wagner G G (2003): *Marktkonforme Versicherungspflicht für Naturkatastrophen - Bausteine einer Elementarschadenversicherung*. Wochenbericht des DIW Berlin 12/03,
http://www.diw.de/deutsch/diw_wochenbericht_12/03_marktkonforme_versicherungspflicht_fue_r_naturkatastrophen_bausteine_einer_elementarschadenversicherung/31071.html
- Schuyt K, Brander L (2004): *Living Waters. Conserving the Source of Life. The Economic Value of the World's Wetlands*. WWF International (ed.), Gland/Amsterdam January 2004,
<http://assets.panda.org/downloads/wetlandsbrochurefinal.pdf>
- Shaw J, Seldomridge N, Dunkle D, Nugent P, Spangler L, Bromenshenk J, Henderson C, Churnside J, Wilson J (2005): *Polarization lidar measurements of honey bees in flight for locating land mines*. In: Optics Express, Vol. 13, Issue 15, pp. 5853-5863, doi:10.1364/OPEX.13.005853
- Sizmur T, Hodson M E (2008): *The impact of Eisenia veneta on As, Cu, Pb and Zn uptake by ryegrass (Lolium perenne L.)*. In: Mineralogical Magazine, Vol. 72, No. 1, pp. 495-499,
<http://www.ingentaconnect.com/search/download;jsessionid=74hno0thfnjlu.alice?pub=infobike%3a%2f%2fminsoc%2fmag%2f2008%2f00000072%2f00000001%2fart00107&mimetype=application%2fpdf>
- Sparovek G, de Jong van Lier Q, Marcinkonis S, Rogasik J, Schnug E (2002): *A simple model to predict river floods - a contribution to quantify the significance of soil infiltration rates*. In: Landbauforschung Völkenrode, Vol. 52 (2/2002), pp. 187-195
- Srivastava D S, Vellend M (2005): *Biodiversity-ecosystem function research: is it relevant to conservation?* In: Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst., Vol. 36, pp. 267-294
- Turner R K, Georgiou S, Gren I M, Wulff F, Scott B, Soderqvist T, Bateman I J, Folke C, Langaas S, Zyllicz T, Maler K G, Markowska A (1999): *Managing nutrient fluxes and pollution in the Baltic: an interdisciplinary simulation study*. In: Ecological Economics, Vol. 30, No. 2, pp. 333-352

- Turner J, Klaus R, Engelhardt U (2000): *The reefs of the granitic islands of the Seychelles*. In: Souter D, Obura D, Lindén O (Eds.): *Coral Reef Degradation in the Indian Ocean*. Status Report 2000. CORDIO, Stockholm, Sweden
- UNEP (2006): *In the Front Line: Shoreline Protection and other Ecosystem Services from Mangroves and Coral Reefs*. www.unep-wcmc.org/resources/PDFs/In_the_front_line.pdf
- Walsh J J, Jolliff J K, Darrow B P, Lenes J M, Milroy S P, Remsen A, Dieterle D A, Carder K L, Chen F R, Vargo G A, Weisberg R H, Fanning K A, Muller-Karger F E, Shinn E, Steidinger K A, Heil C A, Tomas C R, Prospero J S, Lee T N, Kirkpatrick G J, Whitledge T E, Stockwell D A, Villareal T A, Jochens A E, Bontempi P S (2006): *Red tides in the Gulf of Mexico: Where, when, and why?* In: *Journal of Geophysical Research – Oceans*, Vol. 111, Issue: C11, Art. No. C11003, published: Nov 7 2006
- Washington State Department of Ecology; Spill Prevention, Preparedness and Response Program (2006): *Final Cost Benefit Analysis for Oil Spill Contingency Planning*. Oil Spill Contingency Plan Rules Chapter 173-182 WAC. Pub. No. 06-08-020
- Wehrli A, Brang P, Maier B, Duc P, Binder F, Lingua E, Ziegner K, Kleemayr K, Dorren L (2008): *Schutzwaldmanagement in den Alpen - eine Übersicht*. In: *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* Vol. 158 (2007), pp. 142-156, veränderte online-Version mit Stand: 26.02.2008, http://www.waldwissen.net/themen/naturgefahren/schutzwald/wsl_schutzwaldmanagement_DE?start=0&