

8

DIE ROLLE DER KÜSTEN UND MEERE FÜR KLIMAWANDEL-MITIGATION UND -ANPASSUNG

KOORDINIERENDE AUTORINNEN UND AUTOREN

CHRISTINE BERTRAM, RALF DÖRING, KATRIN REHDANZ

AUTOREN

JACOBUS HOFSTEDE, ASTRID KOWATSCH

GUTACHTERINNEN UND GUTACHTER

EDUARD INTERWIES, CHRISTINE WENZEL

8.1	Einleitung	183
8.2	Ökosystemleistungen der Meere und Küsten	183
8.3	Auswirkungen des Klimawandels auf Ökosystemleistungen	185
8.4	Küstenschutzmaßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel	185
8.4.1	Überblick über Anpassungsstrategien und -maßnahmen	185
8.4.2	Beispiel Rückdeichung	186
8.5	Folgen der Klimapolitik für die Ökosystemleistungen der Küsten und Meere	188
8.6	Fazit	188
	Literatur	188

KERNAUSSAGEN

- ▶ Meeres- und Küstenökosysteme stellen wichtige Ökosystemleistungen zur Verfügung. Neben der Bereitstellung von Nahrungsmitteln und Erholungsmöglichkeiten sind in Bezug auf den Klimawandel insbesondere der Schutz vor Stürmen und Küstenerosion sowie die Funktion als CO₂-Senke relevant.
- ▶ Die Meeres- und Küstenökosysteme verändern sich durch den Klimawandel mit Folgen für die Artenvielfalt und die Wasserstände. So ist nach derzeitigem Kenntnisstand bis 2100 mit einem Meeresspiegelanstieg von 20–80 cm an den norddeutschen Küsten zu rechnen. Durch eine für die Zukunft erwartete weitere Erwärmung des Wasserkörpers können sich außerdem die Verbreitungsgebiete von Tier- und Pflanzenarten noch stärker als bisher verschieben, was zu Veränderungen im gesamten Nahrungsnetz führen kann.
- ▶ In Bezug auf die deutschen Meere und Küsten ist vor allem das Thema Anpassung an den Klimawandel relevant, da durch den Anstieg des Meeresspiegels und erhöhte Sturmflutwasserstände die Anforderungen an den Küstenschutz zunehmen werden.
- ▶ An der Nordsee ist wegen der großen zusammenhängenden Niederungsgebiete die Verteidigung der Küstenlinie eine angemessene Maßnahme zum Küstenschutz und wird dies auch in Zukunft bleiben.
- ▶ Rückzugsmaßnahmen können insbesondere an der Ostsee realisierbar sein und hier die gleichzeitige Erreichung von Natur- und Klimaschutzziele ermöglichen (z. B. bei der (Wieder-)Einrichtung von Überflutungsräumen). Sie können unter bestimmten Voraussetzungen ein volkswirtschaftlich besseres Kosten-Nutzen-Verhältnis aufweisen als traditionelle Küstenschutzmaßnahmen.

8.1 EINLEITUNG

Meeres- und Küstenökosysteme stellen wichtige Ökosystemleistungen (ÖSL) zur Verfügung. Neben der Bereitstellung von Nahrungsmitteln und Erholungsmöglichkeiten sind in Bezug auf den Klimawandel insbesondere der Schutz vor Stürmen und Küstenerosion sowie die Funktion als CO₂-Senke relevant. Die Bereitstellung dieser ÖSL wird jedoch durch verschiedene Belastungen und Nutzungskonkurrenzen beeinträchtigt, die u. a. aus der Fischerei, dem maritimen Transport, der Verschmutzung mit Abfällen und Schadstoffen, der Anreicherung von Nährstoffen und der Sedi-mentversiegelung resultieren (z. B. OSPAR, 2010; HELCOM, 2013). Diesen Belastungen versucht man mithilfe von Meeresschutzmaßnahmen im Rahmen internationaler Abkommen (OSPAR, HELCOM) sowie mit Richtlinien auf EU-Ebene (insbesondere Wasserrahmenrichtlinie – WRRL, 2000; Meeresschutzstrategie-Rahmenrichtlinie – MSRL, 2008; FFH-Richtlinie – FFH, 1992; und Vogelschutz-Richtlinie – VRL, 2009) entgegenzuwirken.

Der Klimawandel kann das Erreichen der Naturschutzziele dieser Richtlinien und Abkommen allerdings erschweren

(z. B. was die Erholung von Fischbeständen oder die Verminderung der Eutrophierung betrifft), denn er hat vielfältige Auswirkungen auf die Meeres- und Küstenökosysteme und verstärkt einige bereits existierende Belastungen (siehe auch Kapitel 3.2 und 8.2). Die projizierte Beschleunigung des Meeresspiegelanstieges macht Küstenschutzstrategien für die überflutungsgefährdeten Küstenniederungen Norddeutschlands unumgänglich. Darüber hinaus ergeben sich neue Nutzungskonkurrenzen und potentielle Belastungen durch klimapolitische Maßnahmen zur Vermeidung des Klimawandels wie z. B. den Ausbau der Offshore-Windkraft (siehe auch Kapitel 3.3.5). Trotz der großen Bedeutung der Meeres- und Küstenökosysteme für die Bereitstellung von ÖSL ist das Wissen um die ökologischen Zusammenhänge und Wirkungsweisen von Schutzmaßnahmen insgesamt noch sehr begrenzt.

8.2 ÖKOSYSTEMLEISTUNGEN DER MEERE UND KÜSTEN

Küsten- und Meeresökosysteme stellen eine Reihe von ÖSL zur Verfügung, von denen Menschen profitieren (siehe Tabelle 8.1). Die Bereitstellung von Lebensmitteln und die

kulturellen Leistungen Erholung und Freizeit sind hier besonders hervorzuheben. Diese werden im zweiten Bericht von Naturkapital Deutschland »Ökosystemleistungen in ländlichen Räumen und ihre Inwertsetzung« aufgegriffen und genauer beleuchtet.

In Bezug auf die Mitigation des Klimawandels ist vor allem die Gas- und Klimaregulation relevant, denn die Ozeane sind eine Netto-CO₂-Senke. Im Jahr 2011 nahmen sie weltweit 2,6 Mrd. t C aus der Atmosphäre auf, was ca. einem Viertel des jährlichen globalen Ausstoßes entspricht (Le Quéré et al., 2012). Die Ozeane stellen somit einen Puffer dar, der den Treibhauseffekt in der Atmosphäre dämpft. Andererseits führt die Aufnahme von CO₂ auch zu negativen Effekten für die Meeresökosysteme selbst, da durch die zunehmende Versauerung kalkbildende Organismen und Ökosysteme wie z. B. Korallenriffe bedroht sind (z. B. Gattuso und Hansen, 2011). Darüber hinaus leistet die Küstenvegetation (Salz- und Seegraswiesen, Mangroven) weltweit einen

erheblichen Beitrag zur Speicherung von CO₂ (z. B. Fourqurean et al., 2012).

Die Küstenvegetation bietet auch Schutz gegen Stürme und Küstenerosion. So verringern Mangrovenwälder nachgewiesenermaßen die Belastungen der Küsten (Erosion, Hochwasser) durch Sturmfluten und Tsunamis, in dem die Energie in der Wassersäule durch Reibung im Geäst unschädlich gemacht wird. Salzwiesen an den deutschen Küsten haben eine vergleichbare Funktion nur bei niedrigeren Sturmfluten; bei sehr schweren Sturmfluten sind sie wegen der großen Wassertiefen wirkungslos. Falls eine Salzwiese jedoch vor einer Küstenschutzanlage liegt, reduziert sie – im Falle eines Versagens der Schutzanlage – effektiv die Menge des in die Niederung einströmenden Wassers und damit die zu erwartenden Schäden (GPK, 2012).

Die ÖSL können nur dann nachhaltig und in vollem Umfang genutzt werden, wenn die Ökosysteme intakt und aus-

TABELLE 8.1 ▶ Ökosystemleistungen der Küsten und Meere im Überblick.

(Darstellung in Anlehnung an Bertram und Rehdanz, 2013; Klassifikation basierend auf Haines-Young und Potschin, 2013)

Versorgungsleistungen

- ▶ Pflanzliche und tierische Nahrungsmittel (Fisch, Meeresfrüchte, Algen)
- ▶ Pflanzliche und tierische Rohstoffe
- ▶ Genetische Ressourcen und medizinische Wirkstoffe

Regulierungs- und Erhaltungsleistungen

- ▶ Regulierung von Schadstoffen und Abfällen durch biologische und ökosystemare Prozesse (Abbau, Festlegung, Filtration und Verdünnung)
- ▶ Gas- und Klimaregulation (lokal und global)
- ▶ Schutz vor Stürmen und Erosionskontrolle

Kulturelle Leistungen

- ▶ Erholungs- und Freizeitaktivitäten
- ▶ Ästhetik und Naturerlebnis
- ▶ Naturerbe und Identität
- ▶ Spirituelle und symbolische Bedeutung
- ▶ Wissenschaft und Bildung
- ▶ Existenzwert und Vermächtnis an zukünftige Generationen

reichend widerstandsfähig gegenüber anthropogenen Veränderungen sind und dies bei der Nutzung berücksichtigt wird.

8.3 AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS AUF ÖKOSYSTEMLEISTUNGEN

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, hat der Klimawandel zahlreiche Auswirkungen auf die Meeres- und Küstenökosysteme (siehe auch Kapitel 3) und erschwert zum Teil die Erreichung von Umwelt- und Naturschutzzielen. Bezogen auf die in Tabelle 8.1 vorgestellte Klassifizierung von ÖSL lassen sich die möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf selbige und damit den Menschen wie folgt veranschaulichen:

Zunächst hat der Klimawandel Auswirkungen auf die marinen Ökosysteme, was insbesondere die Versorgungsleistungen negativ beeinflussen kann. So kann es z. B. zu einer Beeinträchtigung von Fischlaichplätzen (Dippner et al., 2008) und Seegrasbeständen kommen (OSPAR, 2010). Der Klimawandel kann außerdem Änderungen der Artenzusammensetzung und Störungen im Nahrungsnetz (Verhungern von Fischlarven, reduzierte Reproduktion) bewirken (OSPAR, 2010; Dippner et al., 2008). Das bedeutet auch, dass sich die Fischerei möglicherweise auf eine Änderung der kommerziell nutzbaren Bestände einstellen muss.

Daneben werden im Bereich der kulturellen ÖSL vor allem der Tourismus und die Möglichkeiten zur Erholung an der Küste durch den Klimawandel langfristig beeinflusst. Eine Beeinträchtigung ist z. B. durch Sand- bzw. Uferabtrag an Badestränden und Campingplätzen möglich. Zum anderen kann auch eine verminderte Badewasserqualität z. B. durch Quallen, Algenblüten, Cyanobakterienblüten oder Trübstoffe die Folge sein. Steigende Luft- und Wassertemperaturen könnten hingegen die Besucherzahlen an der deutschen Nord- und Ostsee erhöhen (Heinrichs, 2011).

Auch die Fähigkeit der Ozeane CO₂ aufzunehmen wird sich möglicherweise verringern (OSPAR, 2010). Höhere Sturmflutwasserstände könnten außerdem zu Schäden an Schutzdeichen, Hafen- und Verkehrsinfrastruktur sowie an Bauwerken entlang der Küste führen, was einer Beeinträchtigung von Regulierungs- und Erhaltungsleistungen entspricht.

Insbesondere die ökosystemaren Effekte des Klimawandels könnten nur verhindert werden, wenn der Klimawandel nachhaltig verringert oder gestoppt würde. An manche Veränderungen kann sich der Mensch jedoch anpassen und so seine Vulnerabilität gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels verringern. In Norddeutschland spielt in diesem Rahmen vor allem die Anpassung an den Meeresspiegelanstieg mithilfe von Küstenschutzmaßnahmen eine große Rolle. Diese werden im nächsten Abschnitt genauer erläutert und es werden Überlegungen zu Kosten und Nutzen solcher Anpassungsmaßnahmen angestellt.

8.4 KÜSTENSCHUTZMASSNAHMEN ZUR ANPASSUNG AN DEN KLIMAWANDEL

8.4.1 Überblick über Anpassungsstrategien und -maßnahmen

Die deutschen Küsten werden von der durch den IPCC (2013) prognostizierten Beschleunigung des Meeresspiegelanstieges infolge der globalen Klimaerwärmung besonders betroffen sein. Langfristig ist mit zunehmendem Küstenabbruch und erhöhten Sturmflutwasserständen zu rechnen. Etwa 2,5 Mio. Menschen leben in den etwa 12.000 km² großen potentiell überflutungsgefährdeten Küstenniederungen Norddeutschlands und sind entsprechend auf Küstenschutz angewiesen (Hofstede et al., 2009). Drei Küstenschutzstrategien formuliert der IPCC (1990):

- ▶ Rückzug: Verlassen der gefährdeten Küstenniederungen
- ▶ Anpassung: angepasste Nutzungen in den gefährdeten Küstenniederungen, und
- ▶ Verteidigung: Schützen der gefährdeten Küstenniederungen.

Derzeit liegt der Fokus in Deutschland auf der Verteidigung mithilfe von »harten«, investitionsbasierten (z. B. Deiche und Buhnen) und »weichen«, ökosystembasierten (z. B. Sandaufspülungen, Vorlandarbeiten) Küstenschutzmaßnahmen (GPK, 2012). Obwohl eine Sandaufspülung zu ökologischen Beeinträchtigungen führt, ist diese weiche Maßnahme aus ökologischer Sicht gegenüber sonst erforderlichen harten Maßnahmen (z. B. Deichausbau) zu bevorzugen (Menn et al., 2003; CPSL, 2005). Wenn der Sand aus dem Meer entnommen wird, kann die Maßnahme durch den de facto

¹ Informationen über aktuelle Forschungsprojekte, die sich mit dem Küstenschutz an Nord- und Ostsee beschäftigen, sind auf den folgenden Seiten im Internet verfügbar: Nordsee: www.klimzug-nord.de, www.nordwest2050.de; Ostsee: <http://klimzug-radost.de>

erfolgten Import von Sand in das Küstenökosystem zum Ausgleich des Meeresspiegelanstiegs beitragen; eine »Win-win-Situation«. In diesem Zusammenhang wird derzeit auch untersucht, wie das sogenannte »Ertrinken des Wattenmeeres« bei zu starkem Meeresspiegelanstieg verhindert werden kann.¹

An einigen Stellen erfolgt inzwischen ein Rückbau von Deichen, um so im Sinne einer Renaturierung neue Überflutungsräume zu schaffen. Beispiele sind die Langwarder Groden an der Weser und der Sommerpolder auf Langeoog. An diesen Stellen wurden Sommerdeiche geschleift. Auch an der Ostseeküste gibt es Beispiele wie die Karrendorfer und Kooser Wiesen bei Greifswald. Diese Maßnahmen sind aber eher selten. Da der Rückbau von Deichen positive Wirkungen auf die natürlichen Strukturen, Funktionen und Ressourcen der Küstenökosysteme hat, werden nachfolgend Kosten und Nutzen einer solchen Maßnahme einander gegenübergestellt. Die Maßnahme »Sundische Wiese« soll zusätzlich als Fallbeispiel genauer vorgestellt werden.

8.4.2 Beispiel Rückdeichung

Kosten einer Rückdeichung

Im Falle einer Rückdeichung entstehen zunächst direkte Kosten aus der Deichverlegung. Im Hinterland des bisherigen Deiches muss – falls vorhanden – die bestehende zweite Deichlinie ertüchtigt oder eventuell vorhandene Siedlungen müssen durch neue Maßnahmen geschützt werden. Weiterhin muss der bisherige Deich zurückgebaut, zumindest aber geschlitzt werden. Darüber hinaus ist die Entwässerung des hinter der ertüchtigten zweiten Deichlinie bzw. dem neuen Deich liegenden Gebietes zu gewährleisten, z. B. durch den Neubau von Sielen oder Schöpfwerken sowie die Anlage von Speicherbecken.

Indirekte Kosten können durch notwendige Umsiedlungen von Menschen und die Verlagerung von Infrastruktur (z. B. Straßen, Bahnlinien) entstehen. In diesem Zusammenhang ist relevant, dass das Deutsche Grundgesetz sehr hohe Hürden für Umsiedlungen festlegt. Üblicherweise besteht bei den Einwohnern in den Küstenniederungen ein starkes Heimatgefühl bzw. eine starke Verbundenheit mit dem »eigenen Grund und Boden«.

Nutzen einer Rückdeichung

Die Veränderung der Artenzusammensetzung auf der ausgedeichten Fläche ist positiv im Sinne der Biodiversität zu werten. Aufgrund des besonderen Charakters dieses

Ökosystems – regelmäßige Überflutung mit salzhaltigem Wasser – siedeln sich salztolerante Arten an, die sonst sehr selten sind. Weiterhin wird auf den ausgedeichten Flächen die natürliche Hydrodynamik wiederhergestellt. Nach einer gewissen Anpassungszeit können sich natürliche morphologische Strukturen (erneut) bilden. Die regelmäßigen Überflutungen mit schwebstoffbeladenen Wassermassen können zu einer Erhöhung des ausgedeichten Geländes und damit zu einem Ausgleich des Meeresspiegels beitragen. Allerdings führt dies automatisch zu einem Sedimentdefizit in den umliegenden Bereichen. Insgesamt sind natürliche Systeme robuster bzw. haben eine höhere Widerstandskraft gegenüber Änderungen, was gerade in Anbetracht des Klimawandels und den daraus folgenden zunehmenden Belastungen der Küstenökosysteme Bedeutung erlangt. Entstehen Küstenüberflutungsmoore (z. B. an der Ostseeküste), wird Biomasse in Form von Torf akkumuliert und so Kohlenstoff fixiert.

Evaluierung einer Rückdeichung

Die obigen Ausführungen zeigen, dass Deichrückverlegungen als Renaturierungs- oder ggf. Kompensationsmaßnahmen bei bestimmten Rahmenbedingungen sinnvoll sein können. Als reine Küstenschutzmaßnahme und/oder als Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel ist deren Nutzen im Normalfall nicht ausreichend gegeben. Im Falle einer Sturmflut führen Rückdeichungen nicht zu einer merklichen Reduzierung der Wasserstände in den umliegenden Bereichen; die (nachfließenden) Wassermassen der Nord- und Ostsee sind schlicht zu groß. Nur wenn die Kosten für rückwärtige Deiche und Entwässerung entfallen bzw. relativ gering sind, kann ein volkswirtschaftlicher Nutzen gegeben sein. Da es sich an der Nordseeküste um großflächig besiedelte Niederungen handelt, erscheinen solche Maßnahmen nur für die kleineren (isolierten) Niederungen an der Ostseeküste und auf einigen Inseln im Wattenmeer möglich und (durch die ökologische Wertsteigerung) volkswirtschaftlich sinnvoll. Ebenso ist ein volkswirtschaftlicher Nutzen bei der Ausdeichung von Sommerpoldern möglich.

Zu bedenken ist weiterhin, dass zwischen betrieblicher und volkswirtschaftlicher Perspektive zu unterscheiden ist, da die landwirtschaftliche Nutzung auch von den Agrarsubventionen für die Flächen abhängt (nur Flächenprämie vs. zusätzliche Agrarumweltmaßnahme bei Renaturierung). Somit könnte es finanzielle Anreize für Betriebe geben, einer Deichverlegung zuzustimmen. Wichtig ist noch zu analysieren, wie sich das Auseinanderfallen der Kosten und Nutzen (zeitlich und räumlich) auf die gesamtwirtschaftliche

INFOBOX 8.1

Fallbeispiel: Rückdeichung auf dem Darß (Ostseeküste Mecklenburg-Vorpommern)

Die Sundische Wiese im Ostteil der Halbinsel Zingst gehört zur Kernzone des Nationalparks Vorpommersche Boddenlandschaft. Bei anstehenden Hochwasserschutzmaßnahmen sollten bisher durch Eindeichung und Entwässerung gekennzeichnete Grünlandflächen (Sundische Wiese) ausgedeicht und Siedlungsflächen durch einen neuen, kurzen Riegeldeich geschützt werden. Auf der Ausdeichungsfläche sollte damit der typische Lebensraum Salzgrasland wieder entstehen. Diese Hochwasserschutzvariante (mit Salzgrasland) wurde ökonomisch bewertet und mit der Variante ohne Ausdeichung, dafür aber mit Verstärkung des bestehenden Deiches (ohne Salzgrasland) in einer Kosten-Nutzen-Analyse verglichen (Beil et al., 2010). Dazu wurden die wesentlichen Kostenpunkte der Wasserwirtschaft (Investitionen und Unterhaltung) sowie der Landwirtschaft für beide Varianten zusammengestellt. Es zeigte sich, dass die »mit Salzgrasland«-Variante weniger Kosten

verursacht (vgl. Tabelle 8.2). Um auch den gesellschaftlichen Nutzen der Ausdeichungsmaßnahme zu erfassen, wurde eine Zahlungsbereitschaftsanalyse durchgeführt. Bezogen auf die konkrete Fläche von 806 ha ergab sich eine Zahlungsbereitschaft von rund 185 Tsd. € pro Jahr für das Salzgrasland. Die Ergebnisse zeigen, dass die Variante mit Salzgrasland volkswirtschaftlich vorzugswürdig ist, da die Kosten niedriger ausfallen. Statt 358 Tsd. € müssen »nur« 238 Tsd. € pro Jahr aufgewendet werden. Werden die Ergebnisse der Zahlungsbereitschaftsanalyse verrechnet, verbessert sich das Ergebnis für die Variante mit Salzgrasland um 185 Tsd. €. Das Beispiel verdeutlicht, dass hier der Hochwasserschutz (Anpassung an Klimawandel) unter Berücksichtigung des Erhalts bzw. der Wiederherstellung von Biodiversität volkswirtschaftlich vorteilhafter ist als eine reine Hochwasserschutzmaßnahme.

TABELLE 8.2 ► Kosten-Nutzen-Analyse einer Rückdeichung auf dem Darß

(Quelle: Beil et al., 2010)

Projektwirkung	Bilanz für 806 ha (TSD €/a)		
	»mit Salzgrasland«	»ohne Salzgrasland«	Differenz
Wasserwirtschaft	-116	-148	32
Landwirtschaft	-122	-210	88
Saldo 1	-238	-358	120
		Verhältnis ohne / mit 1:1,5	
Zahlungsbereitschaft	+185	0	185
Saldo 2	-52	-358	305
		Verhältnis ohne / mit 1:6,8	

Beurteilung auswirkt. So fallen die meisten Kosten sofort an, die Nutzen erst über einen längeren Zeitraum.

8.5 FOLGEN DER KLIMAPOLITIK FÜR DIE ÖKOSYSTEMLEISTUNGEN DER KÜSTEN UND MEERE

Wie im vorangegangenen Kapitel deutlich wurde, stellt die Anpassung an den Anstieg des Meeresspiegels eine Herausforderung für die Küstenregionen Norddeutschlands dar. Insbesondere der investitionsbasierte Küstenschutz kann zu Konkurrenzen mit Umwelt- und Naturschutzziele führen; notwendige harte Schutzmaßnahmen sind entsprechend der gesetzlichen Regelungen auszugleichen. Der ökosystembasierte Küstenschutz, insbesondere durch Vorlandmanagement und Sandersatzmaßnahmen, kann dagegen auch Potentiale für den Umwelt- und Naturschutz bieten, wenn die erforderlichen Maßnahmen entsprechend naturverträglich gestaltet werden. Darüber hinaus ergeben sich potentielle Nutzungskonkurrenzen durch die Pläne der Bundesregierung, durch den Ausbau der Offshore-Windkraft dem Klimawandel entgegenzuwirken, sowie durch die potentielle Möglichkeit, CO₂ unter dem Meeresgrund zu speichern.

Meeres- und Küstenregionen stellen potentielle Standorte für die Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energieträgern dar – mit entsprechenden Auswirkungen auf die Meeres- und Küstenökosysteme und ihre ÖSL. So sieht die Bundesregierung in ihrem Energiekonzept aus dem Jahre 2010² für den Zeitraum bis 2030 in den deutschen ausschließlichen Wirtschaftszonen in Nord- und Ostsee den Bau von Offshore-Windparks mit einer Stromerzeugungskapazität von 25 GW vor. Dies hätte voraussichtlich weitreichende Folgen für die Bereitstellung von ÖSL, z. B. in Bezug auf das Vorkommen von Seevögeln und marinen Säugern (siehe auch Kapitel 3.3.5).

Darüber hinaus stellt der Meeresuntergrund einen potentiellen Speicherplatz für CO₂ dar. Im Rahmen von Carbon Capture and Storage (CCS) könnte CO₂, das z. B. in Kraftwerken produziert wurde, aufgefangen und unter dem Meeresboden in geologischen Formationen gespeichert werden. Das Potential dafür könnte in der gesamten Nordsee etwa in der Größenordnung dessen liegen, was zehn mittelgroße Steinkohlekraftwerke über eine Laufzeit von 40 Jahren an CO₂ produzieren.³ Die Potentiale dieser Technologie sowie ihre Risiken für marine Ökosysteme sind allerdings nicht geklärt und werden derzeit im Rahmen eines von der Europäischen Kommission geförderten Projekts untersucht (siehe z. B. <http://www.eco2-project.eu/>).

8.6 FAZIT

Für den Schutz von Meeres- und Küstenökosystemen vor den Folgen des Klimawandels gilt, wie für alle anderen Bereiche auch, dass verstärkt Anstrengungen zur Reduktion der globalen Treibhausgasemissionen unternommen werden müssen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass einige Maßnahmen, wie beispielsweise der Ausbau von Offshore-Windkraft, Effekte auf die Bereitstellung von marinen ÖSL haben können.

Viele Auswirkungen des Klimawandels werden sich aber selbst bei erheblichen Anstrengungen nicht mehr vermeiden lassen, was Anpassungsmaßnahmen erforderlich macht. Das Kapitel hat aufgezeigt, dass ökosystembasierte Anpassungsmaßnahmen, wie beispielsweise Vorlandmanagement oder Sandersatzmaßnahmen, möglich sind. Eine verstärkte Suche nach weiteren ökosystembasierten Anpassungsmaßnahmen sollte vorangetrieben werden. Die Einbeziehung der Bevölkerung in diesen Prozess scheint unerlässlich.

LITERATUR

- BEIL, T., HAMPICKE, U., KOWATSCH, A., 2010. Ökonomische Bewertung der Biodiversität von Salzgrasland. In: Schickhoff, U., Seiberling, S. (Hrsg.), Entwicklung der Biodiversität in Salzgrasländern der Vorpommerschen Boddenlandschaft. Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg, 268–311.
- BERTRAM, C., REHDANZ, K., 2013. On the environmental effectiveness of the EU Marine Strategy Framework Directive. *Marine Policy* 38: 25–40.

² <http://www.bundesregierung.de/Content/DE/StatischeSeiten/Breg/Energiekonzept/dokumente.html>

³ Persönliche Kommunikation, Klaus Wallmann, GEOMAR.

- CPSL (TRILATERAL WORKING GROUP ON COASTAL PROTECTION AND SEA LEVEL RISE), 2005. Coastal Protection and Sea Level Rise – Solutions for Sustainable Coastal Protection in the Wadden Sea Region. Wadden Sea Ecosystem No. 21. Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven.
- DIPPNER, J.W., VUORINEN, I., DAUNYS, D., FLINKMAN, J., HALKKA, A., KÖSTER, F.W., LEHIKONEN, E., MACKENZIE, B.R., MÖLLMANN, C., MØHLENBERG, F., OLENIN, S., SCHIEDEK, D., SKOV, H., WASMUND, N., 2008. Climate-related marine ecosystem change. In: The BACC Author Team, Assessment of climate change for the Baltic Sea basin. Springer Regional Climate Studies. Springer, Berlin, Heidelberg, 309–377.
- FFH – FAUNA-FLORA-HABITAT RICHTLINIE, 1992. Council Directive 92/43/EEC on the Conservation of natural habitats and of wild fauna and flora.
- FOURQUREAN, J.W., DUARTE, C.M., KENNEDY, H., MARBÀ, N., HOLMER, M., MATEO, M.A., APOSTOLAKI, E.T., KENDRICK, G.A., KRAUSE-JENSEN, D., MCGLATHERY, K.J., SERRANO, O., 2012. Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nature Geoscience* 5: 505–509.
- GATTUSO, J.-P., HANSEN, L. (HRSG.), 2011. Ocean Acidification. Oxford University Press, Oxford.
- GPK, 2012. Generalplan Küstenschutz des Landes Schleswig-Holstein: Fortschreibung 2012. Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein, Kiel.
- HAINES-YOUNG, R., POTSCHIN, M., 2013. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): Consultation on Version 4, August-December 2012. EEA Framework Contract No EEA/IEA/09/003. Download: 21.10.2014 (http://unstats.un.org/unsd/envaccounting/seaeav/GCCComments/CICES_Report.pdf)
- HEINRICH, H., 2011. Klimabedingte Änderungen im Wirtschaftssektor Tourismus. In: von Storch, H., Claussen, M. (Hrsg.) und Klima-Campus-Autoren-Team, Klimabericht für die Metropolregion Hamburg. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 211–227.
- HELCOM, 2013. HELCOM Baltic Sea Environment Fact Sheets for 2012. Download 21.10.2014 (<http://helcom.fi/Lists/Publications/BSEP134.pdf#search=HELCOM%20Baltic%20Sea%20Environment%20Fact%20Sheets%20for%202012>)
- HOFSTEDTE, J.L.A., BUSS, T., ECKHOLD, J.-P., MOHR, A., JÄGER, B., STROTMANN, T., THORENZ, F., 2009. Küstenschutzstrategien – Bericht einer FAK-Arbeitsgruppe. *Die Küste* 76: 1–74. Download 21.10.2014 (<http://www.kfki.de/files/dokumente/o/ko76101.pdf>)
- IPCC, 2013: SUMMARY FOR POLICYMAKERS. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 1990. Strategies for adaptation to sea level rise. Report of the IPCC coastal zone management subgroup. Rijkswaterstaat, Den Haag.
- LE QUÉRE, C., ANDRES, R.J., BODEN, T., CONWAY, T., HOUGHTON, R.A., HOUSE, J.I., MARLAND, G., PETERS, G.P., VAN DER WERF, G., AHLSTRÖM, A., ANDREW, R.M., BOPP, L., CANADELL, J.G., CIAIS, P., DONEY, S.C., ENRIGHT, C., FRIEDLINGSTEIN, P., HUNTINGFORD, C., JAIN, A.K., JOURDAIN, C., KATO, E., KEELING, R.F., KLEIN GOLDEWIJK, K., LEVIS, S., LEVY, P., LOMAS, M., POULTER, B., RAUPACH, M.R., SCHWINGER, J., SITCH, S., STOCKER, B.D., VIOVY, N., ZAEHLE, S., ZENG, N., 2012. THE GLOBAL CARBON BUDGET 1959–2011. *Earth System Science Data Discussion* 5: 1107–1157, doi:10.5194/essdd-5-1107-2012.
- MENN, I., JUNGHANS, C., REISE, K., 2003. Buried alive: effects of beach nourishment on the infauna of an erosive beach in the North Sea. *Senckenbergiana Maritima* 32: 125–145.
- MSRL – MARINE STRATEGY FRAMEWORK DIRECTIVE, 2008. Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy.
- OSPAR – OSLO PARIS CONVENTIONS, 2010. QUALITY STATUS REPORT 2010. OSPAR Commission, London. Download 21.10.2014 (http://qsr2010.ospar.org/en/media/chapter_pdf/QSR_complete_EN.pdf)
- VRL – VOGESCHUTZRICHTLINIE, 2009. Council Directive 2009/147/EC on the conservation of wild birds.
- WRRL – WATER FRAMEWORK DIRECTIVE, 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy.