



for a living planet®

Klimawandel und Ästuare

Perspektiven für den Naturschutz



Herausgeber: WWF Deutschland, Frankfurt am Main

Stand: Dezember 2008, 1. Auflage

Autor: Dr. Bastian Schuchardt, Stefan Wittig, Dr. Michael Schirmer (Bioconsult)

Redaktion: Beatrice Claus, Heike Mühldorfer (WWF Deutschland)

Layout: Astrid Ernst, Text- und Webdesign, Bremen

© 2008 WWF Deutschland, Frankfurt am Main

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des Herausgebers

Titelfoto: Hochwasser in Bremen-Vegesack. © Bioconsult

Inhalt

Vorwort	4
Zusammenfassung	5
1 Hintergrund und Betrachtungsraum	10
2 Die aktuelle ökologische Situation in den Ästuaren	12
2.1 Überblick	12
2.2 Natura 2000	14
2.2.1 Lebensraumtypen des Anhangs I FFH-RL (Auswahl)	14
2.2.2 Arten des Anhangs II der FFH-RL (Auswahl)	15
2.2.3 EU-Vogelschutzrichtlinie (VSchRL)	16
3 Szenarien des Klimawandels	17
3.1 Emissionsszenarien und Temperatur global	17
3.2 Meeresspiegel global	18
3.3 Klimawandel in den Ästuaren	19
3.4 Das KLIMU-Szenario	22
4 Klimawirkungsforschung zu den Ästuaren von Eider, Elbe, Weser und Ems	24
5 Auswirkungen des Klimawandels	28
5.1 Auswirkungen auf Arten und Ökosysteme: Vorbemerkungen	28
5.2 Wasserkörper	29
5.2.1 Hydrografie und Gewässergüte	29
5.2.2 Plankton	30
5.2.3 Makrozoobenthos	31
5.2.4 Fische	32
5.3 Wattflächen und Flachwasserzonen	34
5.4 Unbedeichte Vorländer	35
5.5 Sommerpolder	38
5.6 Vegetation	38
5.7 Avifauna	39
5.8 Neobiota	40
5.9 Land- und Wasserwirtschaft	42
5.10 Küstenschutz	44
5.11 Wirtschaft	46
5.12 Natura 2000	48
6 Weitere Veränderungen	50
7 Anpassungserfordernisse und -optionen	51
7.1 Natürliche Anpassungsprozesse	51
7.2 Natura 2000	52
7.3 Reduzierung des Tidehubs	53
7.4 Küstenschutz	54
7.5 Integriertes Management	57
8 Handlungsfelder des verbandlichen Naturschutzes vor dem Hintergrund Klimawandel	58
Literatur	61

Vorwort

Der Klimawandel und seine Folgen für Menschen und Natur an der deutschen Nordseeküste werden von der Bevölkerung und Entscheidungsträgern immer stärker wahrgenommen. Der WWF konzentriert sich in erster Linie darauf, die Kohlendioxidemissionen drastisch zu reduzieren, um das Ausmaß des Klimawandels einzudämmen und die globale Erwärmung auf maximal zwei Grad zu begrenzen. Ohne Zweifel besteht aber ebenso ein dringender Handlungsbedarf für die Entwicklung von mittel- bis langfristigen Strategien, um den Natur- und Küstenschutz an die bereits heute unvermeidbaren Folgen des Klimawandels anzupassen.

Die Ästuare (Flussmündungen) von Elbe, Weser, Ems und Eider als von Ebbe und Flut beeinflusste Übergangsräume vom Süßwasser ins Salzwasser der Nordsee beherbergen viele besondere national und/oder international geschützte Lebensräume und Arten. Sie sind deshalb weitgehend als europäische Naturschutzgebiete gemäß der Flora-Fauna-Habitat- und Vogelschutz-Richtlinie ausgewiesen.

Durch den Ausbau der Ästuare zu Schifffahrtsstraßen in der Vergangenheit haben sich die Menge und die Geschwindigkeit der bei Sturmflut in die Flussmündung eindringenden Wassermassen drastisch erhöht. Hohe Deiche schützen heute die Bevölkerung vor Hochwasser. Durch den Klimawandel sind darüber hinaus ein beschleunigter Meeresspiegelanstieg um 55 Zentimeter bis zum Jahre 2050, eine Zunahme der Sturmstärken um drei bis sieben Prozent und eine Erhöhung der Sturmflutwasserstände um 60 bis 80 Zentimeter bis zum Ende des 21. Jahrhunderts zu erwarten.

Mit dieser Studie möchte der WWF zu einer ersten Einschätzung über die Bedrohung der schutzwürdigen Lebensräume und Arten in den Ästuaren durch die Folgen des Klimawandels sowie zu Empfehlungen für Anpassungsmaßnahmen und -strategien kommen.

Ergebnis dieser Untersuchung ist, dass die Schutz- und Erhaltungsziele der europäischen Naturschutzgebiete nicht ohne umfangreiche Gegenmaßnahmen erreicht werden können. In Folge des Klimawandels gehen Salzwiesen in den äußeren Ästuaren und Auwäldern sowie ökologisch wertvollen Flachwasserbereichen im inneren Ästuar verloren. Die Lebensräume von Brut- und Rastvögeln werden zerstört. Häufigere Überschwemmungen gefährden die Vogelbrut. Die ohnehin schon massiven Sauerstoffprobleme der Flüsse während der Sommermonate werden sich verschärfen.

Es sind umfangreiche Anpassungsmaßnahmen notwendig, um die ökologisch hohe Bedeutung der Flussmündungen auch für künftige Generationen zu erhalten und die europäischen Naturschutzgesetze zu erfüllen. Hauptdeiche müssen zurückverlegt, Sommerdeiche geöffnet, die Gewässerqualität verbessert und neue Vogelschutzgebiete im Binnenland geschaffen werden. Die durch zahlreiche Eingriffe für die Schifffahrt geschwächten Ökosysteme der Flüsse müssen wieder gestärkt werden.

Diese aus Sicht des Naturschutzes notwendigen Maßnahmen führen zu Interessenkonflikten mit dem Küstenschutz, der Landwirtschaft und den Gemeinden. Der WWF fordert deshalb Küstenschützer und Kommunen zur Zusammenarbeit auf, um eine gemeinsame Strategie für den Hochwasser- und Naturschutz zu entwickeln, die Menschen und Natur für die nächsten 100 Jahre schützt.

Beatrice Claus, WWF Deutschland

Zusammenfassung

Hintergrund und Aufgabe

Der globale Klimawandel wird sich voraussichtlich trotz der Bemühungen der Klimaschutzpolitik um eine Begrenzung/Reduzierung der Emission klimarelevanter Stoffe in Zukunft weiter beschleunigen und zu deutlichen Auswirkungen auch im Bereich der deutschen Nordsee-Ästuar führen. Aufgabe der Studie ist es, auf der Grundlage vorliegender Literatur und unter Nutzung der Ergebnisse noch laufender Projekte einen Überblick über die möglichen Wirkungen des Klimawandels auf den Natur-, Lebens- und Wirtschaftsraum der Ästuar an der deutschen Nordseeküste mit der Perspektive 2050 zu geben, mögliche Anpassungsnotwendigkeiten und -strategien und deren Konsequenzen zu skizzieren und mögliche Handlungsfelder des Naturschutzes zu identifizieren. Die Studie fokussiert auf die inneren Ästuar von Eider, Elbe, Weser und Ems; z. T. werden auch Aspekte in den äußeren Ästuar und in der Marsch angesprochen. Mit der Bearbeitung wurde das Büro BioConsult Schuchardt & Scholle GbR vom WWF Deutschland im Herbst 2007 beauftragt.

Aktuelle ökologische Situation

Als Grundlage erfolgt eine vergleichende Analyse der aktuellen ökologischen Situation der Ästuar. Sie zeigt, dass trotz einer Reihe von Verbesserungen in den vergangenen 20 Jahren weiterhin z.T. akuter Handlungsbedarf zur Verbesserung der ökologischen Situation besteht. Dieser liegt u.E. v.a. in Maßnahmen zur Reduzierung der Sauerstoff-Defizite und des tidal pumping in Ems und Elbe, der Sicherung und Wiederherstellung von Nebenarmen mit ihren Flachwasserzonen sowie der Wiederherstellung von ästuartypischen Lebensräumen im Vorland aller Ästuar.

Große Teile der Ästuar von Eider, Elbe und Weser gehören als Flora-Fauna-Habitat-Gebiete (FFH-Gebiete) oder als Vogelschutzgebiete zum europaweiten Schutzgebietsnetz Natura 2000; Unter- und Teile der Außenems sind potentiell FFH-Gebiet, da Klagen gegen die Ausweisung anhängig sind. Während die Erhaltungsziele der FFH-Gebiete auf den Erhalt und die Wiederherstellung der natürlichen ästuartypischen Funktionen und Lebensräume zielen, fokussieren die Erhaltungsziele der Vogelschutzgebiete z.T. auf aktuelle Wertigkeiten der Kulturlandschaft. Der Erhaltungszustand der Ästuar gemäß der FFH-Richtlinie wurde von Deutschland gegenüber der EU-Kommission als ungünstig eingestuft. Damit besteht auch aus dieser Perspektive bereits heute ein dringender Handlungsbedarf zur Verbesserung der ökologischen Situation

und damit auch zur Verbesserung der Belastbarkeit und Anpassungsfähigkeit der ästuartypischen Ökosysteme an künftige Herausforderungen wie den Klimawandel.

Klimaszenarien

Für den Zeitraum bis 2050 lassen die aktuellen Treibhausgasemissionen, die im Bereich des A1FI-IPCC-Szenarios liegen, für die deutsche Nordseeküste einen Anstieg des mittleren Tidehochwassers (MThw) um 30 bis 40 cm erwarten. Dieser Wert kann sich durch ein beschleunigtes Abschmelzen terrestrischer Eismassen u.U. merklich erhöhen. Die aktuellen Trends der Atmosphären-Temperaturen und der Niederschläge in Nordwest-Europa lassen erwarten, dass es in allen vier Ästuar, insbesondere aber in der Elbe, zu einer sommerlichen Abflussverringerung und winterlichen Abflusszunahme kommt. Hierbei wird die prognostizierte Zunahme von Extremwerten eine besondere Rolle spielen.

Für die Sommer in Norddeutschland muss bis zum Ende des 21. Jahrhunderts mit ca. 25 bis 40% weniger Regen gerechnet werden. Das heißt, sie werden im Mittel trockener und zusätzlich können Hitzerekorde um bis zu 2,5 bis 5°C wärmer ausfallen. Außerdem kommt es zu einer Zunahme von Starkniederschlagsereignissen. Die Winter in Norddeutschland können emissionsabhängig bis zum Ende des 21. Jahrhunderts zwischen 2 und 4°C wärmer werden. Es können 20 bis 45% mehr Niederschläge fallen und Sturmstärken können um 3 bis 7% zunehmen. Die Winter werden damit voraussichtlich wärmer, feuchter und stürmischer. Sturmfluten können bis zum Ende des 21. Jahrhunderts um 60 bis 80 cm höher auflaufen (inklusive Meeresspiegelanstieg).

Grundlage des überwiegenden Teils der der vorliegenden Studie zugrundeliegenden Arbeiten ist das sog. „KLIMU-Szenario“, dass als „worst case“-Annahme für 2050 von folgenden Veränderungen ausgeht (* liegt saisonal differenziert vor):

Parameter	Veränderung gegenüber heute
Meeresspiegel	+55 cm (15 säkular; 40 Klimawandel)
Mittlerer Tidehub	+25 cm (THW +10 cm; TNW –15 cm)
Wind (Dez/Jan/Feb)*	+7 % (verstärkt aus NW bis N)
Temperatur atmosphärisch*	+2.8 °C
Niederschlag*	+10 %
CO ₂ -Konzentration	+100 %

Auswirkungen des Klimawandels

Der Klimawandel bedingt hydro- und morphodynamische Veränderungen in den Ästuaren: den beschleunigten Anstieg des mittleren Wasserspiegels und des Tidehubs, die Reichweite des Tideeinflusses in die Nebenflüsse hinein, eine Vergrößerung des Eulitorals (der Wattflächen), eine Zunahme der tiderhythmisch ausgetauschten Wassermassen, der Strömungsgeschwindigkeiten und Turbulenzen, des Schwebstoffgehalts, der Sedimentation in den Seitenbereichen, eine Zunahme der Flut- und Ebbewege, eine Stromauf-Verlagerung der Brackwasserzone sowie die Vergrößerung der Reichweite und Höhe von Sturmfluten. Die Auswirkungen entsprechen in der Tendenz weitgehend denen, die auch die Ausbauten der Vergangenheit hatten.

Die Folgen dieser und weiterer Veränderungen (Temperatur, CO₂) für die ökologischen Systeme sind vielfältig. Es wird zu deutlichen Arealverschiebungen und zu lokalem Verschwinden von Populationen kommen; gleichzeitig wandern neue Arten ein. Weitere Klimawirkungen entstehen voraussichtlich durch den teilweisen Verlust von Lebensräumen (Salzwiesen in den äußeren Ästuaren; Auwald- und Grünlandstandorte sowie Flachwasserzonen in den inneren Ästuaren). Durch die Klimaänderung ist in den Vorländern der Ästuar mit einem deutlichen Rückgang der landwirtschaftlich nutzbaren Vorlandflächen, mit Einschränkungen der Nutzbarkeit in den Sommerpoldern und einer erheblichen Zunahme der Tideröhrichte zu rechnen.

Die Gewässergüte, die besonders in der Unterems aber auch in der Unterelbe durch die ausgeprägten Sauerstoffmangelsituationen derzeit schon stark beeinträchtigt ist, wird sich unter Klimawandelbedingungen weiter verschlechtern. Hier besteht bereits derzeit Handlungsbedarf, der sich durch den Klimawandel noch verstärken wird.

Ausbaubedingte Entwicklungen wie die extreme Zunahme des Tidehubs mit ihren negativen Folgen für die Ökosysteme werden durch die hydrologischen Veränderungen verstärkt werden.

Die voraussichtlichen Auswirkungen des Klimawandels werden auch deutlichen Einfluss auf die für die Natura 2000-Gebiete formulierten Schutz- und Erhaltungsziele haben:

- Bereits derzeit beeinträchtigen die sommerlichen Sauerstoffmangelsituationen im potenziellen FFH-Gebiet Unterems die Reproduktion der Finte stark; diese Situation wird sich im Klimawandel ohne

Gegenmaßnahmen weiter verschärfen.

- Die erwartete örtliche Abnahme der Salzwiesen- und Wattflächen in den äußeren Ästuaren führt zu einer Verkleinerung der FFH-LRT Atlantische Salzwiese und Vegetationsfreies Schlick-, Sand- und Mischwatt sowie weiterer LRT. Gleichzeitig gehen damit auch die Funktionen der Flächen als Brut-, Rast- und Nahrungshabitat für eine Vielzahl von Arten der VSchRL verloren.
- Die erwartete Abnahme der Grünlandflächen in den limnischen Abschnitten der Ästuar führt zu einer Verkleinerung des FFH-LRT Magere Flachland-Mähwiesen in den unbedeichten Vorländern. Gleichzeitig gehen damit auch die Funktionen der Flächen als Brut-, Rast- und Nahrungshabitat für eine Vielzahl von Arten der VSchRL verloren.
- Die Auswirkungen auf die FFH-LRT Auwälder und Hartholzauwälder sind unklar. Die Restbestände sind v.a. ufernah ausgeprägt, wo vermutlich die Kapazität zum Mitwachsen der Geländehöhen ausreicht. Es ist aber nicht auszuschließen, dass potentielle uferfernere Standorte so verändert werden, dass sie ihre Eigenschaft als potentielle Standorte verlieren.
- Für den LRT Ästuar als Landschaftskomplex aus verschiedenen Biotoptypen mit einem Mosaik aus Flach- und Tiefwasserbereichen, Stromarmen, brackigen (und limnischen) Watt- und Röhrichtflächen, Salzwiesen, Auengebüschen und Tideauwäldern stellt sich die Situation differenziert da. Es sind Verluste für einzelne Habitate (z.B. Salzwiesen; Flachwasserzonen; eventl. bestehende und potentielle Auwaldstandorte), Veränderungen der Struktur (z. B. Röhrichte über MThw zu Röhricht unter MThw) und Verschiebungen von einem Biotoptyp in einen anderen (z.B. Röhricht- und Flachwasserzonen zu Wattflächen) zu erwarten. Tendenziell wird es voraussichtlich zu einer Ausdehnung der Tideröhrichte und damit des LRT Ästuar zu Lasten des LRT Magere Flachland-Mähwiesen kommen. Damit verschieben sich u.a. auch die Funktionen der Flächen für die Arten der VSchRL. Durch die Stromauf-Verschiebung der Brackwasserzone gehen (potentielle) Tideauwald-Standorte verloren.
- Sowohl in den inneren als auch den äußeren Ästuaren wird es zu Lebensraumverlusten für im Grünland bzw. auf den Salzwiesen brütende und rastende nach der VSchRL geschützten Arten kommen, während Arten der feuchten Röhrichte durch die erwartete Ausbreitung der Röhrichtflächen voraussichtlich profitieren. Verschlechterungen können sich für Arten der Landröhrichte in den Bereichen ergeben, in denen das Mitwachsen gegenüber dem Meeresspiegelan-

stieg verzögert ist. Verminderungen des Bruterfolgs durch häufigere Überflutungen sind zumindest für Teilflächen anzunehmen.

- Für die unbedeichten Grünland- und Salzwiesenflächen im Vorland (LRT Magere Flachland-Mähwiesen und Atlantische Salzwiese) wird der Klimawandel voraussichtlich dazu führen, dass die heutigen Schutz- und Erhaltungsziele ohne Anpassungsmaßnahmen (s.u.) nicht mehr überall erreicht werden können.

Die Auswirkungen des Klimawandels werden trotz der relativ großen natürlichen Anpassungskapazität der ästuarinen Lebensräume und Arten nicht nur zu Verschiebungen sondern auch zu Verlusten besonders bei der Ausdehnung einzelner LRT führen. Da die Verlagerung dieser Lebensräume in Richtung Land durch Küstenschutzmaßnahmen sowie wirtschaftliche und andere Interessen im Hinterland nicht oder nur für Teilfunktionen möglich ist, wird ohne entsprechende Maßnahmen für den Naturschutz das Vorkommen schutzwürdiger Bereiche abnehmen. Ein klimawandelbedingter Verlust dieser geschützten Lebensräume, die sowohl national wie auch international zu den bedrohten Lebensräumen gehören, verlangt nach Lösungen bzw. Maßnahmen, die u.a. in der Öffnung von Sommerpoldern und Rückdeichungen liegen können.

Der beschleunigte Anstieg des Meeresspiegels, verstärkt durch den Anstieg des Tidehubs, schafft v.a. Handlungsbedarf im Küstenschutz. Weitere Auswirkungen des Klimawandels betreffen die wirtschaftlichen Nutzungen an den Ästuaren wie Hafenwirtschaft, Schifffahrt, Energiewirtschaft und Tourismus. Die Auswirkungen werden als insgesamt vergleichsweise gering eingestuft und könnten zum Teil auch positiv sein (v.a. für den Tourismus).

Weitere Veränderungen in den Ästuaren

Der Klimawandel beginnt sich derzeit zu manifestieren, die in der vorliegenden Studie umrissene Ausprägung wird sich jedoch erst in der Zukunft so oder ähnlich ausprägen. Der zukünftige Klimawandel wird also auf eine dann ebenfalls gewandelte Gesellschaft wirken, deren gesellschaftliche, politische und wirtschaftliche Ausprägung wir heute noch weniger sicher vorhersagen können als den Klimawandel selbst. Berücksichtigt man verschiedene mögliche Veränderungen wird deutlich, dass diese die Sensitivität der Region gegenüber dem Klimawandel verändern können. Unter dem Gesichtspunkt der langfristigen Vorsorge sollten deshalb bei zukünftigen Planverfahren, z.B. im Rahmen von Umweltverträglichkeitsstudien, immer auch die Konsequenzen der Planungen für die Klimasensitivität des Raumes bzw. bestimmter Parameter analysiert werden.

lichkeitsstudien, immer auch die Konsequenzen der Planungen für die Klimasensitivität des Raumes bzw. bestimmter Parameter analysiert werden.

Anpassungserfordernisse und –optionen

Der Klimawandel wird für die norddeutschen Ästuar eine Reihe von Randbedingungen so verändern, dass zum einen natürliche Anpassungsprozesse ausgelöst werden, dass zum anderen aber auch aktive Anpassungsentscheidungen verschiedener Akteure erforderlich werden.

Die direkten Klimawirkungen werden zu deutlichen Verschiebungen in der Artenzusammensetzung und Lebensraumverteilung führen; der Lebensraumtyp Ästuar weist aber insgesamt eine relativ hohe Anpassungskapazität auf und sollte deshalb entsprechend entwickelt und „zugelassen“ werden. Trotzdem sind Verluste bestimmter Lebensräume zu erwarten, die durch entsprechende Anpassungs- und Kompensationsmaßnahmen wie Sommerdeichöffnungen, Polder und Rückdeichungen abzuschwächen sind. Solche Anpassungsmaßnahmen sind auch erforderlich, um die Schutz- und Erhaltungsziele der FFH- und VSchRL erreichen zu können. Eine Sanierung des Sauerstoffhaushalts besonders in der Unterems aber auch in der Unterelbe ist auch als Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel erforderlich. Lebensraumverluste für Teile der Avifauna können z.T. durch Maßnahmen binnendeichs aufgefangen werden.

Handlungsbedarf besteht v.a. für den Küstenschutz; dazu sind erste Entscheidungen bereits gefallen. So wird in mehreren Küstenbundesländern ein beschleunigter Meeresspiegelanstieg bei der Deichbemessung bereits berücksichtigt. Es ist davon auszugehen, dass dies kurz- und mittelfristig v.a. durch Verstärkung auf der vorhandenen Linie erfolgen wird. Eine Inanspruchnahme geschützter und aus Naturschutzsicht wertvoller Vorlandflächen durch Küstenschutzmaßnahmen sollte dabei vermieden werden. Langfristig werden, je nach Verlauf des Klimawandels, voraussichtlich auch andere Küstenschutzstrategien entwickelt werden müssen. Vom Naturschutz favorisierte Varianten mit Rückdeichungen oder Überlaufpoldern können in den inneren Ästuaren anders als an der Küste die Sturmflutspiegel effektiv senken.

Die Wirkungen des Klimawandels werden die Auswirkungen der Ausbauten der Vergangenheit fortsetzen; durch die aktuellen Ausbauplanungen werden die Wirkungen ebenfalls gleichsinnig verstärkt. Maßnahmen zur Reduzierung des Tidehubs und damit auch des

tidal pumpings können die Beeinträchtigungen reduzieren und sind als Maßnahmen zur Verbesserung des Erhaltungszustandes der Ästuare gemäß FFH-RL sowie als Anpassungsmaßnahmen der Ästuare an die Folgen des Klimawandels zu empfehlen.

Es erscheint sinnvoll, eine langfristige gemeinsame Strategie zwischen Natur- und Küstenschutz sowie weiteren Akteuren wie der Schifffahrt zu entwickeln, mit der sowohl aktuelle Probleme wie z.B. der Gewässergüte und des Sedimentmanagements reduziert als auch der Natur-, Lebens- und Wirtschaftsraum entlang der Ästuare langfristig gesichert und entwickelt werden können. Eine Diskussionsgrundlage könnte das Tideelbe-Konzept (HPA/WSD 2006) bieten.

Dieser und weiterer Handlungsbedarf, die aufgrund der Globalisierung weiter zunehmende ökonomische Bedeutung der Ästuare, die auch ökonomischen Konsequenzen eines intensivierten Strom-auf-Transports von partikulärem Material, die Umsetzung von EU-Richtlinien (WRRL, FFH) und die erforderliche Anpassung an den Klimawandel machen es sinnvoll und notwendig, die zu erwartenden bzw. erforderlichen zukünftigen Maßnahmen und widersprüchlichen Perspektiven im Rahmen der integrierten Managementpläne zur Umsetzung der o.g. EU-Richtlinien aufeinander abzustimmen und dabei auch langfristige Konsequenzen aktueller Aktivitäten angemessen zu berücksichtigen.

Handlungsfelder des verbandlichen Naturschutzes vor dem Hintergrund Klimawandel

Vor diesem Hintergrund ergeben sich u.E. für die strategische Ausrichtung der Naturschutz-Arbeit zu den norddeutschen Ästuaren folgende Konsequenzen:

- Der Klimawandel ist ein langfristig wirkender Faktor, der die Ästuare auf unterschiedliche Weise betreffen wird. Er sollte deshalb auch vom verbandlichen Naturschutz in der strategischen Ausrichtung berücksichtigt werden.
- Die Ästuar-Regionen gehören zu den gegenüber dem Klimawandel sensitiven Siedlungsräumen (v.a. Meeresspiegelanstieg; Sturmfluten). Es werden Anpassungsmaßnahmen v.a. des Küstenschutzes erforderlich, die auch Interessen des Naturschutzes betreffen.
- Für den dauerhaften Erhalt aller ökologischen Funktionen der Ästuare sowie die Umsetzung aller Erhaltungsziele gemäß FFH-RL sind Anpassungsmaßnahmen des Naturschutzes erforderlich.
- Die Anpassungskapazität der naturnahen ästuartypischen Lebensräume gegenüber dem Klimawandel ist als relativ hoch einzustufen. Erhalt und Entwicklung

dieser Lebensräume erhöht die Anpassungskapazität und sollte als ein zentrales Ziel formuliert werden.

- Bestimmte Lebensraumtypen wie die Salzwiesen in den äußeren Ästuaren und Flachwasserzonen in den inneren Ästuaren werden durch den Klimawandel voraussichtlich reduziert werden. Hier sind gezielte Maßnahmen sinnvoll, mit denen diese Verluste reduziert oder aber die Funktionen an anderer Stelle gesichert werden können.
- Große Flächen in den Ästuaren sind in den vergangenen Jahren als FFH-Gebiete oder als VSG Bestandteil des europaweiten Schutzgebiet-Systems Natura 2000 geworden. Während die Erhaltungsziele der FFH-Gebiete auf den Erhalt und die Wiederherstellung der natürlichen ästuartypischen Funktionen und Lebensräume basieren, fokussieren die Erhaltungsziele der Vogelschutzgebiete z.T. auf aktuelle Wertigkeiten der Kulturlandschaft, die unter Klimawandelbedingungen nicht oder nur mit erhöhtem Aufwand bzw. weiteren Eingriffen aufrecht zu erhalten sein werden. Dies ist zum einen bei der Formulierung der Erhaltungs- und Entwicklungsziele und der Managementplanung entsprechend zu berücksichtigen. Zum anderen müssen die Verluste durch geeignete Anpassungs- und Kompensationsmaßnahmen abgeschwächt werden.
- Der Klimawandel wird sich v.a. über den beschleunigten Meeresspiegelanstieg und verstärkte Sturmfluten über die nächsten Jahre und Jahrzehnte in den Ästuaren manifestieren und Handlungsbedarf erzeugen. Neben kurzfristigeren Anpassungen z.B. im Küstenschutz müssen langfristige Anpassungsstrategien (>50 Jahre) in den kommenden Jahren entwickelt und diskutiert werden. Dazu sollten entsprechende Foren unter Beteiligung des Naturschutzes etabliert werden.
- Der Klimawandel und die erforderlichen Anpassungsmaßnahmen werden einige der aktuellen Konfliktlinien des Naturschutzes verschärfen; dies gilt v.a. für das Verhältnis Küstenschutz / Naturschutz. Der Klimawandel eröffnet aber voraussichtlich auch die Möglichkeiten für neue Allianzen (s.u.). Ziel muss es sein, eine gemeinsame Hochwasser- und Naturschutzstrategie für die Ästuare zu entwickeln.
- Die Analyse verschiedener grundsätzlich möglicher langfristiger Strategien des Küstenschutzes unter Klimawandelbedingungen zeigt, dass Strategien, die ökologische und ökonomische Vorteile verbinden, für die Ästuare nicht einfach auf der Hand liegen. Hier besteht sowohl noch Forschungs- als auch Diskussionsbedarf; entsprechende Mittel müssen bereitgestellt werden.

Fazit

Insgesamt zeigt sich, dass der Klimawandel in den norddeutschen Ästuaren zu deutlichen Veränderungen der ökologischen Systeme führen wird. Diese resultieren zum einen aus den direkten Wirkungen des Klimawandels, zum anderen aus den Wirkungen der erforderlichen Anpassungsmaßnahmen v.a. des Küstenschutzes.

Die direkten Klimawirkungen werden zu deutlichen Verschiebungen in der Artenzusammensetzung und Lebensraumverteilung führen; der Lebensraumtyp Ästuar weist aber insgesamt eine relativ hohe Anpassungskapazität auf und sollte deshalb entsprechend entwickelt und „zugelassen“ werden. Die direkten Klimawirkungen werden jedoch auch zum Verlust wertvoller Lebensräume führen. Für den dauerhaften Erhalt aller ökologischen Funktionen der Ästuar- sowie

die Umsetzung aller Erhaltungsziele gemäß FFH-RL sind entsprechende Anpassungs- und Kompensationsmaßnahmen wie Sommerdeichöffnungen, Polder und Rückdeichungen sowie Maßnahmen zur Sanierung der Sauerstoffverhältnisse erforderlich. Diese werden die Anpassungskapazität an den Klimawandel erhöhen und gleichzeitig dazu beitragen, die Kohärenz des europäischen Schutzgebietssystems Natura 2000 zu erhalten.

Die indirekten Klimawirkungen können durch Anpassungsmaßnahmen v.a. des Küstenschutzes entstehen. Es sollte deshalb versucht werden, eine langfristige gemeinsame Strategie zwischen Natur- und Küstenschutz sowie weiteren Akteuren zu entwickeln, mit denen der Natur-, Lebens- und Wirtschaftsraum entlang der Ästuar-are langfristig gesichert und entwickelt werden kann.

1 Hintergrund und Betrachtungsraum

Hintergrund und Aufgabe

Der globale Klimawandel wird sich voraussichtlich trotz der Bemühungen der Klimaschutzpolitik um eine Begrenzung/Reduzierung der Emission klimarelevanter Stoffe in Zukunft weiter beschleunigen (www.ipcc.ch) und zu deutlichen Auswirkungen auch im Bereich der deutschen Nordsee-Ästuar führen. Vorliegende Untersuchungen zeigen, dass auch mit relevanten Wechselwirkungen zu rechnen ist, die bei der Abschätzung der Auswirkungen zu berücksichtigen sind. Weiter ist deutlich geworden, dass Anpassungsmaßnahmen erforderlich werden, um die Auswirkungen des Klimawandels abzuschwächen und die Veränderungen möglichst umwelt- und sozialverträglich zu gestalten. Für die Anpassungsmaßnahmen sind unterschiedliche Optionen denkbar, die zu unterschiedlichen Konsequenzen für Natur und Landschaft, aber auch für verschiedene Nutzungen führen können. Die Umsetzung der Anpassungsmaßnahmen kann bestehende oder mögliche zukünftige gesellschaftliche Konflikte ver-, aber auch entschärfen. Vor diesem Hintergrund erscheint es für gesellschaftliche Akteure sinnvoll, eigene Positionen und langfristige Handlungsstrategien zu entwickeln und in den beginnenden gesellschaftlichen Diskurs über den Umgang mit den Folgen des Klimawandels einzubringen.

Aufgabe der Studie ist es, auf der Grundlage vorliegender Literatur und unter Nutzung der Ergebnisse noch laufender Projekte einen Überblick über die möglichen Wirkungen des Klimawandels auf den Natur-, Lebens- und Wirtschaftsraum der Ästuar an der deutschen Nordseeküste zu geben, mögliche Anpassungsnotwendigkeiten und -strategien und deren Konsequenzen zu skizzieren und mögliche Handlungsfelder des Naturschutzes zu identifizieren.

Betrachtungsraum

Betrachtungsraum der vorliegenden Studie sind die Ästuar von Eider, Elbe, Weser und Ems als charakteristische Teilräume der deutschen Nordseeküste, die als besonders vulnerabel gegenüber dem Klimawandel eingeschätzt werden (ZEBISCH et al. 2005). Die Ästuar sind relativ einheitliche hydrographische Systeme im Wechselwirkungsbereich von Nordsee und Festlandsabfluss. Ihre Morphologie ist von Natur aus dynamisch und abhängig von den Gleichgewichtseinstellungen zwischen den marinen und limnischen Kräften, gegen-

wärtig jedoch stark anthropogen überformt und fixiert mit dem Ziel, für Schifffahrt, Küstenschutz und Landwirtschaft optimale Bedingungen zu schaffen und die Folgen von Extremwasserständen zu kontrollieren. Die Ästuar sind wegen ihrer Trichteröffnung und durch das Wechselspiel zwischen Fahrrinnenvertiefung, Eindeichungen, säkularem Meeresspiegelanstieg und häufigeren Sturmweatherlagen besonders sturmflutgefährdet. Entsprechend spielt der Küstenschutz eine besondere Rolle für die Besiedlung der das Ästuar umgebenden Fluss- und Seemarschen.

Die aquatische und amphibische Biozönose ist geprägt durch den starken Salinitätsgradienten und die Gezeiten. Während der ästuarine Salzgradient vor allem zu einer longitudinalen Zonierung von Arten und Lebensgemeinschaften führt, prägt der Tidehub wesentlich auch die laterale Abfolge.

Die sozioökonomische Situation innerhalb den einzelnen Ästuar-Regionen und auch zwischen ihnen ist recht unterschiedlich. In den einzelnen Regionen liegen zum einen relativ dünn besiedelte, von landwirtschaftlicher Nutzung geprägte Marschenflächen mit Grünlandnutzung, die über ein komplexes künstliches Gewässersystem für die Zu- und Entwässerung mit den Ästuar verknüpft sind. Zum anderen gibt es küstentypische Ballungsräume mit hohen Anteilen von wirtschaftlich besonders relevanter Hafenwirtschaft und starker Sturmflutgefährdung. Hier dominieren Hamburg an der Elbe und Bremerhaven/Bremen an der Weser. An der Ems haben wir eine spezifische Situation: die Vertiefungen der Unterems sind nicht aufgrund der Hafennutzung erfolgt, sondern waren und sind durch den Werftstandort Papenburg motiviert, von dem aus immer größere Schiffsneubauten nach See überführt werden. Der Betrachtungsraum wird in der vorliegenden Studie wie folgt eingegrenzt: Obere Grenze sind die heute an allen Ästuar vorhandenen Tidewehre, die die obere Grenze der Gezeiten bilden. Stromab ist die Grenze der Übergang vom relativ schmalen Flussschlauch zum weiten Mündungstrichter, der meist als Teil des Wattenmeeres verstanden und behandelt wird. Die inneren Abschnitte der vier Ästuar sind von den anthropogenen Veränderungen deutlich stärker betroffen als die äußeren Abschnitte seewärts des Übergangs vom relativ schmalen Flussschlauch zum weiten Mündungstrichter.

Die Ästuare, also die tidebeeinflussten Mündungsbereiche von Eider, Elbe, Weser und Ems einschließlich ihrer Aue sind aufgrund ihrer Topographie und der Überlagerung von Abfluss aus dem Binnenland und Nordseewasserständen Räume, die auf besondere Weise von der Hydrologie geprägt worden sind. Obwohl der größte Teil der holozänen Aue heute durch die Küstenschutzanlagen von den Wasserständen der Nordsee getrennt und damit zum Siedlungs- und Wirtschaftsraum des Menschen geworden ist, bestehen auch heute noch vielfältige Wechselwirkungen zwischen dem Ästuar und der ehemaligen Aue. Aufgrund dieser Abhängigkeiten und Wechselwirkungen werden im Rahmen dieser Studie nicht nur das eigentliche Gewässer, sondern auch die noch vorhandene (Vordeichsfläche) und bestimmte Aspekte der ehemaligen Aue (Marsch) betrachtet. Alle drei Bereiche werden im Folgenden vereinfacht als Ästuare bezeichnet.

Klimasensitivität der Ästuare

In Ästuaren werden Signale aus dem marinen Milieu bis weit in das Binnenland transportiert und überlagern sich hier mit flussseitigen Parametern. Dies begründet die besondere Sensitivität von Ästuaren gegenüber möglichen Folgen der globalen Klimaänderungen (HEKSTRA 1990; SCHIRMER & SCHUCHARDT 1993; KUNZ 1993; HÖRMANN 1993; SCHUCHARDT & SCHIRMER 2005). Zu beachten sind jeweils sowohl die Wirkungen der einzelnen Faktoren wie auch deren Zusammenwirken. Von besonderer Bedeutung sind der Anstieg des mittleren Meeresspiegels und der Sturmflutscheitel, die Vergrößerung des Tidehubs, die Veränderung der Niederschläge, Veränderungen bei Windrichtung und -stärke, der Anstieg der Luft- und Wassertemperaturen sowie die Zunahme der CO₂-Konzentration.

2 Die aktuelle ökologische Situation in den Ästuaren

2.1 Überblick

Die inneren Ästuarie von Eider, Elbe, Weser und Ems formen einen Lebensraum ganz eigener Prägung, der vor allem durch den Salzgradienten und den Tidehub gekennzeichnet ist. Sie unterliegen trotz ihrer ökologischen Besonderheit einem starken Nutzungsdruck, der in allen Gewässern zu deutlichen Veränderungen von Struktur und Funktion geführt hat. Die einzelnen Nutzungen (vor allem Schifffahrt, Hochwasserschutz, Landwirtschaft, Abwassereinleitung) waren und sind dabei in den vier Ästuaren unterschiedlich stark wirksam (SCHUCHARDT et al. 1999), wie dies von LOTZE et al. (2006) auch bei einem Vergleich von 12 Ästuaren und Küstenmeeren weltweit gezeigt werden konnte.

Die aktuelle ökologische Situation der vier Ästuarie ist von SCHUCHARDT et al. (2007) anhand der Indikatoren Tidehub, Vordeichsfläche, Sauerstoff-Konzentration und Schwermetallbelastung sowohl bezogen auf eine historische Referenzsituation als auch auf die Situation vor 20 Jahren bewertet worden. Für die vergangenen

20 Jahren konstatieren die Autoren v.a. folgende Veränderungen von ökologisch relevanten Randbedingungen in den Ästuaren:

- die Ästuarie von Elbe, Weser und Ems sind weiter vertieft worden
- weitere Hafen- und Industrieansiedlungsprojekte sind realisiert worden
- die Unterhaltungsbaggermengen sind z.T. deutlich gestiegen
- es sind eine Reihe naturschutzfachlicher Kompensationsmaßnahmen realisiert worden
- Stoffeinträge durch Oberlieger und Direkteinleiter sind reduziert worden
- auch die inneren Ästuarie sind, v.a. im Rahmen der Umsetzung der FFH-Richtlinie der EU, großräumig unter Naturschutz gestellt worden.

Die inneren Ästuarie von Eider, Elbe, Weser und Ems, also der Abschnitte zwischen den heute überall vorhandenen Tidewehren als obere Grenze der Gezeiten und dem Übergang vom relativ schmalen Flussschlauch

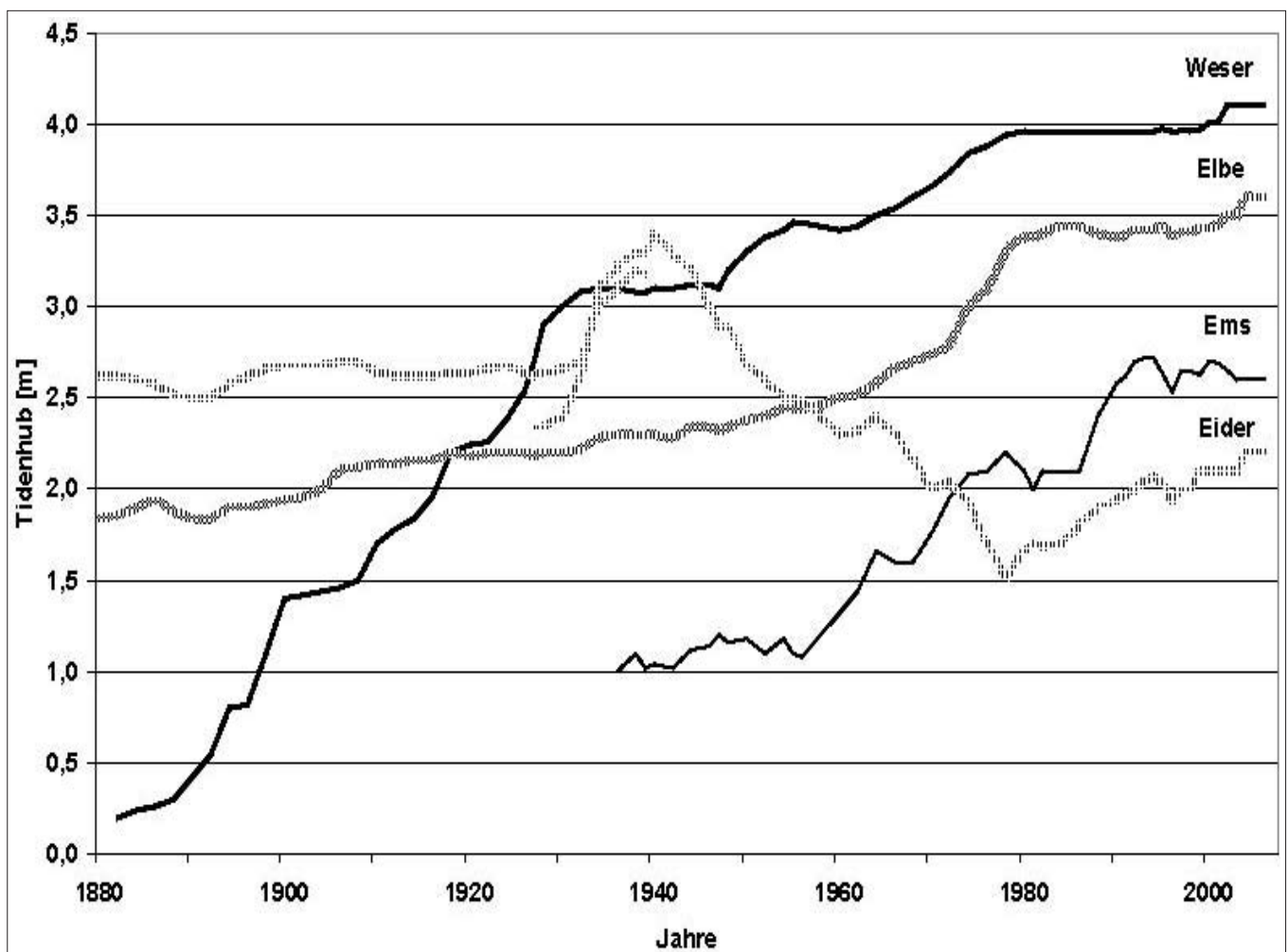


Abb. 1: Veränderungen des Tidehubs in Eider (Pegel Tönning und Pegel Friedrichstadt), Elbe (Pegel Hamburg St. Pauli), Weser (Pegel Bremen Oslebshausen) und Ems (Pegel Herbrum) (SCHUCHARDT et al. (2007).

zum weiten Mündungstrichter als untere Grenze, sind als Lebensräume wesentlich durch den Salzgradienten und den Tidehub charakterisiert. Während der ästuarine Salzgradient vor allem zu einer longitudinalen Zonierung von Arten und Lebensgemeinschaften führt, prägt der Tidehub wesentlich auch die laterale Abfolge (SCHUCHARDT et al. 1999).

Die inneren Abschnitte der vier Ästuarie sind von den anthropogenen Veränderungen deutlich stärker betroffen als die äußeren Abschnitte seewärts des Übergangs vom relativ schmalen Flussschlauch zum weiten Mündungstrichter, die meist als Teil des Wattenmeeres verstanden werden. In allen vier Ästuaren fällt dieser Übergang in etwa mit dem Beginn des Mesohalinikums zusammen; die inneren Ästuarie schließen also den Bereich der ästuartypischen Trübungszone und des steilen Salinitätsgradienten zumindest z.T. mit ein.

Die vier Ästuarie unterscheiden sich nicht nur durch ihre Größe und ihren Oberwasserzufluss, sondern auch durch die Höhe und den longitudinalen Gradienten des Tidehubs (SCHUCHARDT 1995).

Alle vier Ästuarie sind durch wasserbauliche Maßnahmen in ihrer Morphologie und Hydrodynamik deutlich verändert worden. Einen Überblick über die Maßnahmen bis 1990 geben SCHUCHARDT et al. (1993). Seitdem ist es an der Unter- und Außenelbe und der Außenweser zu einer Vertiefung auf SKN –14,5 bzw. 14,0 m gekommen; weitere Ausbauten, auch in der Unterweser, befinden sich derzeit im Genehmigungsverfahren. Mehrere Ausbauten hat es in der Unterems gegeben, um die für die Überführung größer werdenden Werftneubauten erforderlichen Fahrwassertiefen herzustellen (s. KUZ et al. 1995); zusätzlich ist bei Gandersum ein bedarfsweise zu schließendes Sperrwerk errichtet worden (DE JONGE 2007). An der Eider sind in den vergangenen 20 Jahren keine größeren Maßnahmen durchgeführt worden.

Für die vier verglichenen, insgesamt stark überformten inneren Ästuarie von Eider, Elbe, Weser und Ems (die im System der Wasserrahmen-Richtlinie (WRRL) vorläufig auch als „erheblich veränderte Wasserkörper“ klassifiziert sind) lässt die vergleichende Bewertung für die Umweltsituation unterschiedliche Entwicklungen für die vergangenen zwei Dekaden Folgendes deutlich werden (SCHUCHARDT et al. 2007):

In den als Großschifffahrtswegen genutzten Ästuaren Elbe und Weser wurde und wird die morphologische Deformation durch weitere Ausbaumaßnahmen fortgesetzt; der Tidehub hat sich in der Folge weiter, wenn

auch relativ schwächer, verstärkt. Das gilt auch, allerdings in deutlich stärkerem Maße, für das Emsästuar als Folge mehrerer Vertiefungen, um größere Schiffeinheiten zur Küste überführen zu können. Neben den Konsequenzen für die Lebensräume Wattflächen und Flachwasserzonen ist besonders der Aspekt der Zunahme des flutstromorientierten Sedimenttransportes oberhalb der Trübungszone (SOHRMANN 2006, DE JONGE 2007) von Bedeutung. Vermehrter Unterhaltungsaufwand und verstärkte Trübung können die Konsequenzen sein, die, parallel zu weiteren Ausbau-Planungen, Überlegungen zu umfangreichen Gegenmaßnahmen aktuell werden lassen (u.a. HOCHFELD 2007). Diese schließen für einzelne Aspekte wie Wiederherstellung von Flutraum an Konzepte der Umweltverbände (CLAUS 1998) an.

Die Ausdehnung von Vordeichsflächen hat sich in den Ästuaren in den vergangenen 20 Jahren nur relativ wenig weiter verändert; Grund ist v.a. der Verzicht auf weitere großräumige Vordeichungen wie sie v.a. an der Elbe in den 1970er Jahren erfolgten. Allerdings gibt es weitere Verluste v.a. durch Hafenausbauten und Industrieansiedlung; weitere sind geplant. Dem stehen örtliche ökologische Aufwertungen u.a. durch die Öffnung von Sommerdeichen gegenüber. Die großflächige Unterschützstellung der Vordeichsflächen und die steigende Erfordernis nach Flutraum und einem Mitwachsen der Vorlandflächen (auch vor dem Hintergrund des Klimawandels SCHUCHARDT & SCHIRMER 2005) werden hier zukünftig voraussichtlich vermehrt Maßnahmen wie Sommerdeichöffnungen und Deichrückverlegungen erfordern.

Die Bemühungen um einen verstärkten Gewässerschutz in den vergangenen Jahrzehnten zeigen sich auch in den inneren Ästuaren. Durch den Ausbau der Kläranlagen sind sauerstoffzehrende Prozesse reduziert worden; eine Entlastung ist für die Weser und abgeschwächt auch für die Elbe erkennbar, wo die Defizite gerade in den letzten Jahren noch stark waren. Eine deutliche Veränderung in der Gewässergüte (Indikator Sauerstoff) in den vergangenen 20 Jahren ist für das Emsästuar offensichtlich. V.a. als Folge der Vertiefungsmaßnahmen ist es zu einer dramatischen Akkumulation von Schwebstoffen und in der Folge zu massiven Sauerstoffmangelsituationen gekommen. Hier besteht noch deutlich stärker als in der Unterelbe akuter Sanierungsbedarf.

Bei den Schwermetallen als Indikator der Wasserqualität ist insgesamt eine Verbesserung der Belastungssituation aufgrund der verstärkten Bemühungen um den Gewässerschutz festzustellen.

2.2 Natura 2000

Während die äußeren Ästuare als Teile des Wattenmeeres schon seit ca. 20 Jahren u.a. als Nationalparke einem besonderen Schutz unterliegen, ist die großflächige Unterschutzstellung der inneren Ästuare v.a. im Rahmen des europäischen Netzes Natura 2000 in den letzten Jahren erfolgt; die Ausweisung von EU-Vogelschutzgebieten erfolgte bereits in den vorangegangenen Jahren. Vorrangiges Ziel von Natura 2000 ist es, die biologische Vielfalt in Europa zu erhalten. Einen wichtigen Meilenstein zur Erhaltung und Entwicklung der biologischen Vielfalt in Europa setzte die Europäische Gemeinschaft im Mai 1992 mit der Verabschiedung der Fauna-Flora-Habitat (FFH)-Richtlinie, mit der sich die Mitgliedsstaaten u.a. dazu verpflichteten, das Natura 2000-Schutzgebiets-Netzwerk aufzubauen. Es setzt sich aus den Schutzgebieten der EU-Vogelschutzrichtlinie von 1979 sowie aus den Schutzgebieten der FFH-Richtlinie zusammensetzen, die in einem zweistufigen Verfahren nach nationaler und EU-weiter Bewertung festgelegt wurden.

Der überwiegende Teil Ästuare von Elbe und Weser gehört inzwischen zum europaweiten Schutzgebietsnetz Natura 2000; Unter- und Teile der Aussenems sind (noch) potentiell FFH-Gebiet, da Klagen gegen die Ausweisung anhängig sind. Die Erhaltung und Förderung der u.g. und weiterer LRT und Arten ist für die meisten FFH-Gebiete in den Ästuaren sowohl als allgemeines als auch spezielles Erhaltungsziel genannt. Die Erhaltungszustände sind je nach LRT und Art und in den verschiedenen FFH-Gebieten unterschiedlich. Der Erhaltungszustand der Ästuare gemäß der FFH-Richtlinie wurde von Deutschland gegenüber der EU-Kommission als ungünstig eingestuft. Damit besteht bereits heute ein dringender Handlungsbedarf zur Verbesserung der ökologischen Situation und damit auch zur Verbesserung der Belastbarkeit und Anpassungsfähigkeit der ästuartypischen Ökosysteme an die künftige Herausforderungen wie den Klimawandel.

2.2.1 Lebensraumtypen des Anhangs I FFH-RL (Auswahl)

Die FFH-RL benennt in ihrem Anhang I die Lebensraumtypen gemeinschaftlicher Bedeutung, die durch Umsetzung der Richtlinie geschützt oder wiederhergestellt werden sollen. In den Ästuaren sind eine Reihe von Lebensraumtypen relevant; vor dem Hintergrund Klimawandel werden hier die Folgenden aufgeführt (das bedeutet nicht, dass die hier nicht aufgeführten Lebensraumtypen nicht ebenfalls potenziell durch den Klimawandel betroffen sind):

1130 Ästuarien:

Das Bundesamt für Naturschutz (BfN) definiert den Lebensraumtyp „Ästuarien“ wie folgt (http://www.bfn.de/0316_typ1130.html, Stand: 29.11.2007): „Flussmündungen ins Meer, solange noch regelmäßig Brackwassereinfluss (mit erkennbaren Anpassungen der Pflanzen und Tiere) und Tideeinfluss (nur Nordsee) besteht, mit Lebensgemeinschaften des Gewässerkörpers, des Gewässergrundes und der Ufer. Im Gegensatz zu den „flachen Meeresbuchten“ besteht ein deutlicher süßwasserbeeinflusster Wasserdurchstrom. Ufervegetation ist mit eingeschlossen. Der Lebensraumtyp stellt einen Landschaftskomplex dar, der aus zahlreichen Biotoptypen bestehen kann. Die EU-Kommission hat darauf hingewiesen, dass die Gebietsabgrenzung das gesamte Ästuar (hydrologische Einheit) umfassen soll. Süßwasser-Tidewatten können zum Ästuar gerechnet werden, sollten aber nicht als isolierte Teilgebiete gemeldet werden“.

Der Lebensraumtyp Ästuarien umfasst große Flächen in den inneren und mittleren Ästuarabschnitten. Es gehören sowohl die Gewässerlebensräume wie Sub- und Eulitoral dazu als auch die angrenzenden Röhrichte unterschiedlicher Ausprägung, die über Priele eng verzahnt sind.

Als Erhaltungsziel ist z.B. für das FFH-Gebiet DE 2516-331 „Nebenarme der Weser mit Strohauser Plate und Juliusplate“ formuliert: Erhaltung / Förderung naturnaher, von Ebbe und Flut geprägter vielfältig strukturierter Flussunterläufe und –mündungsbereiche mit Brackwassereinfluss (im Komplex ggf. auch Süßwasser-Tidebereiche) mit Tief- und Flachwasserzonen, Wattflächen, Sandbänken, Inseln, Prielen, Neben- und Altarmen sowie naturnaher Ufervegetation, meist im Komplex mit extensiv genutztem Marschengrünland, einschließlich ihrer typischen Tier- und Pflanzenarten sowie naturnahen Standortbedingungen (Wasser- und Sedimentqualität, Tideschwankungen, Strömungsverhältnisse) (s. GFL; BIOCONSULT; KÜFOG 2006).

Der Lebensraumtyp bildet einen Komplex aus verschiedenen Biotoptypen bzw. Lebensraumtypen. Neben den Sublitoral-Bereichen der Schweiburg gehören im Gebiet Brackwasserwatt (Schlickwatt), sowie großflächige Röhrichte (Röhricht der Brackmarsch) dazu. So wird der Bereich der Strohauser Plate, der zum FFH-Gebiet gehört, von großflächigen tidebeeinflussten Röhrichten gebildet. Die brackwasserbeeinflussten Ästuar-Bereiche bilden einen nicht aufzulösenden Komplex mit den limnischen tidebeeinflussten Bereichen z.B. im Rechten

Nebenarm mit Flusswatt und Flusswatt-Röhrichten, die hier auch in das FFH-Gebiet einbezogen sind.

1330 Atlantische Salzwiesen:

Das BfN definiert den Lebensraumtyp „1330 Atlantische Salzwiesen (*Glauco-Puccinellietalia maritimae*)“ wie folgt: „Salzgrünland des Atlantiks, der Ost- und Nordsee in seiner gesamten typischen Zonation vom Andelrasen (natürlich oder beweidet bzw. halbnatürlich), über die höher gelegenen Rotschwengel-, Botenbinsenrasen und Strandwermutgestrüpp bis zu den Hochflutspülsäumen mit *Agropyron pycnanthum*. Eingeschlossen sind auch Bestände mit den Seggen *Carex distans* und *Carex extensa* oder von *Eleocharis uniglumis* und *Eleocharis palustris*. Wichtiges Kennzeichen des Salzgrünlandes an der Nordsee ist die natürliche Überflutungsdynamik durch das Meerwasser“.

Der Lebensraumtyp prägt die Uferbereiche der äußeren Ästuar, soweit sie nicht durch Sommerpolder partiell der Tidedynamik entzogen sind.

6510 Magere Flachland-Mähwiesen:

Das BfN definiert den Lebensraumtyp „6510 Magere Flachland-Mähwiesen (*Alopecurus pratensis*, *Sanguisorba officinalis*)“ wie folgt: „Artenreiche, extensiv bewirtschaftete Mähwiesen des Flach- und Hügellandes (planar bis submontan) des Arrhenatherion- bzw. Brachypodio- Centaureion nemoralis-Verbandes. Dies schließt sowohl trockene Ausbildungen (z.B. Salbei-Glatthaferwiese) und typische Ausbildungen als auch extensiv genutzte, artenreiche, frische-feuchte Mähwiesen (mit z.B. *Sanguisorba officinalis*) ein. Im Gegensatz zum Intensivgrünland blütenreich, wenig gedüngt und erster Heuschnitt nicht vor der Hauptblütezeit der Gräser“.

Der Lebensraumtyp kommt großflächig auf den landwirtschaftlich genutzten Vorlandflächen der inneren Ästuar vor.

91E0 *Auenwälder mit *Alnus glutinosa* und *Fraxinus excelsior*

Das BfN definiert den prioritären Lebensraumtyp „91E0 *Auenwälder mit *Alnus glutinosa* und *Fraxinus excelsior* (*Alno-Padion*, *Alnion incanae*, *Salicion albae*)“ wie folgt: „Fließgewässerbegleitende Erlen- und Eschenauwälder sowie quellige, durchsickerte Wälder in Tälern oder an Hangfüßen. In der planaren bis kollinen Stufe mit Schwarzerle, in höheren Lagen auch Grauerlenauwälder. Ferner sind die Weichholzaunen (*Salicion albae*) an regelmäßig und oft länger überflu-

teten Flussufern eingeschlossen. Als Sonderfall sind auch Erlenwälder auf Durchströmungsmoor im Überflutungsbereich der Flüsse in diesen Lebensraumtyp eingeschlossen“.

Der Lebensraumtyp kommt in den Ästuaren nur noch in sehr kleinen Restbeständen vor.

91F0 Hartholzauenwälder

Das BfN definiert den Lebensraumtyp „91F0 Hartholzauenwälder mit *Quercus robur*, *Ulmus laevis*, *Ulmus minor*, *Fraxinus excelsior* oder *Fraxinus angustifolia*“ wie folgt: „Hartholzauenwälder am Ufer großer Flüsse mit natürlicher Überflutungsdynamik. Dominierende Baumarten sind in Abhängigkeit vom Wasserregime Esche (*Fraxinus excelsior*), Ulmen (*Ulmus laevis*, *Ulmus minor*) und Eiche (*Quercus robur*); Wälder stickstoffreicher Standorte mit meist üppiger Krautschicht und gut ausgebildeter Strauchschicht, reich an Lianen“.

Der Lebensraumtyp kommt in den Ästuaren nur noch in sehr kleinen Restbeständen vor.

2.2.2 Arten des Anhangs II der FFH-RL (Auswahl)

Die FFH-RL benennt in ihrem Anhang II die Arten besonderer gemeinschaftlicher Bedeutung, die durch Umsetzung der Richtlinie geschützt oder wiederhergestellt werden sollen. In den Ästuaren sind eine Reihe von Arten relevant; vor dem Hintergrund Klimawandel werden hier die Folgenden aufgeführt (das bedeutet nicht, dass die hier nicht aufgeführten Arten nicht ebenfalls potenziell durch den Klimawandel betroffen sind):

Nicht aufgeführt sind die das Ästuar nur durchwandern- den Arten, für die neben der Durchgängigkeit v.a. eine ausreichende Wasserqualität gegeben sein muss.

1103 Finte (*Alosa fallax*)

Die Finte zieht als anadromer Wanderfische zum Laichen in die inneren Ästuar. Die Laichplätze liegen überwiegend im tidebeeinflussten Süßwasserbereich; die Eier werden im freien Wasserkörper abgelegt. Bisher wurde davon ausgegangen, dass die Eier zu Boden sinken und mit dem Gezeitenstrom in der Wasserschicht zwischen Boden und 2,5 m Höhe hin und her driften (HASS 1968). Untersuchungsergebnisse aus der Unterweser zeigten aber, dass die Eier in der gesamten Wassersäule verteilt sein können; i.d.R. sind aber in Bodennähe etwas höhere Anzahlen zu erwarten (BIOCONSULT 2006). Die Juvenilen wandern ab

Herbst ins küstennahe Meer ab. Die Fintenbestände waren allgemein aufgrund von Gewässerausbau und geringer Wasserqualität seit 1900 stark zurückgegangen (ZIJLSTRA 1979). Für die Unterweser sind als Ursache für den starken Rückgang in den 1950er und 60er Jahren v.a. die starken Sauerstoffdefizite anzunehmen (SCHUCHARDT et al. 1985). Nach NEUDECKER & DAMM (2005) scheinen sich die Bestände der Finte im Bereich der Deutschen Bucht in jüngster Zeit vergrößert zu haben. Dementsprechend ist die Finte heute z.B. in der Elbe und, wie die Auswertung von STELZENMÜLLER & ZAUKE (2003) ergab, auch im Bereich des Wattenmeeres offensichtlich wieder häufiger anzutreffen.

1113 * Nordseeschnäpel (*Coregonus oxyrhynchus*)

Aufgrund der derzeit noch vorhandenen taxonomischen Unsicherheiten im Hinblick auf die Art *C. oxyrhynchus* (prioritäre FFH-Art) wird im Rahmen der FFH-Betrachtung (Wattenmeerästuar) derzeit nicht mehr auf Artebene differenziert. Als relevant im Sinne der FFH-Erhaltungsziele werden zunächst Vorkommen von *Coregonus spp.* betrachtet (Fricke mdl.). Im Herbst zieht die Art zum Laichen in die Unterläufe der Flüsse. Sie laicht ufernah im Süßwasser über Grobsand- und Kiesbänken. Die Brut wandert wahrscheinlich nicht unmittelbar ins Meer ab, sondern hält sich vermutlich ungefähr von März bis maximal Juli in den Flüssen auf. Die Laichplätze lagen früher im Bereich von Sandbänken im Unterlauf, vereinzelte Schwärme zogen wohl noch deutlich weiter stromauf zum laichen. Historisch soll der Schnäpel nach LANDOIS (1892) und LOHMEYER (1909) in der Weser bis Hameln vorgekommen sein. Auch von anderen Autoren wird die Art aufgeführt (HÄPKE 1878; BORNE 1883). Bereits in der Übersicht von MEINKEN (1974) über die Fische und Kriechtiere im Bremer Gebiet (1905 bis 1965) wird der Schnäpel nicht mehr genannt. Nach BUSCH et al. (1988) ist der Nordseeschnäpel um 1910 in der Weser ausgerottet worden. Die Bedeutung des Schnäpels für die Weser wurde von NOLTE (1976) für gering gehalten. Vor 100 Jahren waren die Bestände noch so groß, dass jährlich über 30.000 kg in den Unterläufen von Rhein, Elbe, Weser, Ems und Eider gefangen wurde. Damit war der Schnäpel früher eine wichtige Fischart für die Fischer und brachte große Erträge. Bis in die 50er Jahre sind die Bestände rapide zurückgegangen. Folgend galt der Schnäpel in den 70er und 80er Jahren als ausgestorben. Als Gründe für den Rückgang der Art sind zunehmende Verschmutzung der Flussmündungs-

gebiete, Schiffbarmachung der Flüsse, Vernichtung von Laichplätzen durch Wasserbaumaßnahmen und Überfischung zu nennen. Ein weiterer Beeinträchtigungsfaktor ist z.B. der Faktor Sauerstoff, durch Mangelsituationen insbesondere im Bereich der Gewässersohle wird in Bereichen potenzieller Laichplätzen eine erfolgreiche Eientwicklung verhindert.

1601 * Schierlings-Wasserfenchel, *Oenanthe conioides*

Der Schierlings-Wasserfenchel (*Oenanthe conioides*) ist eine prioritäre Pflanzenart nach FFH und vom Aussterben bedroht. Sie ist im Süßwasser-Gezeitenbereich der Elbe endemisch und wächst als Pionier auf Störstellen und am Rand der Röhrlichtzone. Die Besiedlung erfolgt oft über vom Wasser angespülte Samen oder aus dem Reservoir im Sediment der Tide-Elbauen.

2.2.3 EU-Vogelschutzrichtlinie (VSchRL)

Die Mehrzahl der FFH-Gebiete der Ästuar sind auch EU-Vogelschutzgebiete, so dass ein zwischen den Zielen der beiden Richtlinien abgestimmtes Management erforderlich ist. Die Avifauna der Ästuar ist außerordentlich zahl- und artenreich und setzt sich aus Vogelmgemeinschaften der offenen Wasserflächen, Watten, Salzwiesen und offenen Grünlandflächen, der Röhrlichte, der Gebüschsäume und der Auenwälder zusammen. Die Ästuar besitzen sowohl für Brutvögel als auch für Zugvögel und überwinternde Vögel eine hohe Bedeutung. Zahlreiche Arten (insbesondere Enten und Gänse) kommen hier regelmäßig mit Beständen von internationaler Bedeutung vor.

Die Ästuar sind bedeutsamer Lebensraum für viele Brutvögel des Anhangs I VSchRL wie Rohrdommel, Weißstorch, Nonnengans, Seeadler, Rohrweihe, Wiesenweihe, Tüpfelsumpfhuhn, Wachtelkönig, Säbelschnäbler und Blaukehlchen und für viele Zugvögel nach Art. 4 (2) VSchRL wie Bläßgans, Graugans, Pfeifente, Krickente, Löffelente, Sandregenpfeifer, Großer Brachvogel, Dunkler Wasserläufer, Grünschenkel und Zwergmöwe.

3 Szenarien des Klimawandels

Im folgenden Kapitel wird ein Überblick über den aktuellen Stand der Diskussion zur voraussichtlichen Ausprägung des Klimawandels an der Nordseeküste und speziell den Ästuaren mit der Perspektive 2050 gegeben. Dabei werden für verschiedene Szenarien der globalen Emissionen die voraussichtlichen Veränderungen der Klimaparameter mittlerer Meeresspiegel, mittleres Tidehoch- und Tideniedrigwasser, Niederschlag, Wind und Temperatur in ihrer erwarteten Ausprägung im Betrachtungsraum angegeben sowie auch die Konsequenzen weniger wahrscheinlicher aber doch möglicher stärkerer Veränderungen dieser Parameter dargestellt (z.B. Konsequenzen einer Abschwächung der thermohalinen Zirkulation). Dies erfolgt wesentlich auf der Grundlage der Ergebnisse des sog. „downscaling“ aus den globalen Klimamodellen für den Betrachtungsraum.

Der Klimawandel, verursacht durch die Veränderung der Eigenschaften der Atmosphäre, bewirkt zunächst einen Anstieg der Lufttemperatur in der Troposphäre, die ihrerseits u.a. die Temperatur der Meeresoberflächen ansteigen lässt und zum Abschmelzen terrestrischer und mariner Eismassen führt. Die langsam in die Tiefe fortschreitende Erwärmung und Ausdehnung der ozeanischen Wassermassen und der Zufluss von Schmelzwasser tragen gegenwärtig je zur Hälfte zum aktuellen globalen Meeresspiegelanstieg von etwa 3 mm/Jahr bei. Mittelfristig wird der Beitrag der thermischen Ausdehnung deutlich steigen, der Netto-Abfluss von den Kontinenten dagegen abnehmen, während die Schmelze der grönländischen Eismassen an Bedeutung gewinnen wird und das Verhalten des Westantarktischen Schelfs noch unklar ist (IPCC 2007a).

Wegen der Größe der Ozeane und der großen Wärmekapazität des Wassers schleppen die Erwärmung und der Anstieg der Meere deutlich hinter der globalen Temperaturentwicklung her und werden auch nach einer Stabilisierung der Emissionsraten noch fortschreiten. Der seit etwa 50 Jahren anthropogen beschleunigte Anstieg des Meeresspiegels wird in jedem Falle noch für mindestens zwei weitere Jahrhunderte anhalten.

3.1 Emissionsszenarien und Temperatur global

Die gekoppelten Atmosphären/Ozean-Modelle der internationalen Klimaforschung werden mit Annahmen über die zukünftigen Emissionen von Klimagasen betrieben, denen unterschiedliche Szenarien der weiteren technischen und gesellschaftlichen Entwicklung

der Erde zu Grunde liegen („SRES“; Details unter <http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/index.htm>). Die Spannweite zwischen den Szenarien und den resultierenden Emissionen ist erheblich und spiegelt die grundsätzlich nicht zu vermeidende Unsicherheit über unsere Zukunft wider (Abb. 2): Während z.B. im B1- und A1T-Szenario ab 2050 mit sinkenden Klimagasemissionsraten gerechnet wird, steigen im A2- und A1FI-Szenario die Raten bis 2100 nahezu stetig an.

Wie Abb. 2 zeigt, berechnen die Modelle des IPCC aus den aus den SRES-Szenarien abgeleiteten Emissionsraten für das Ende dieses Jahrhunderts globale Mitteltemperaturanstiege zwischen etwa 1,1 und 6,4 Grad gegenüber 1980 bis 1999 (der Zusammenhang zwischen dem CO₂-Gehalt der Atmosphäre und ihrer Temperatur wird vom IPCC folgendermaßen charakterisiert: Eine Verdoppelung der atmosphärischen CO₂-Konzentration führt in den Modellen zu einer mittleren globalen Temperaturerhöhung um 2 bis 4,5°C mit 3°C als wahrscheinlichstem Wert (IPCC 2007a: S. 749)). Für den hier betrachteten Zeitraum bis 2050 kann von einer etwa halb so großen Temperaturerhöhung ausgegangen werden, so dass im globalen Mittel („best estimate“ in Abb. 2) die Temperaturen der Atmosphäre um 1 bis 2°C höher liegen können als im Zeitraum 1980 bis 1999, unter Einschluss aller sechs Szenarien und der Streuung der Modelle um mind. 0,6 bis zu max. 3,2°C. Allerdings zeigen die Modelle, dass der Anstieg der Temperaturen in Nordwest-Europa über dem globalen Mittel liegt und die mögliche Spannweite im Betrachtungsraum eher bei 1,1 bis 3,7°C liegt.

Die immer wieder geäußerte Befürchtung, dass es zu einer dramatischen Abkühlung durch das Ausbleiben des „Golfstroms“ kommen könnte, ist unbegründet. Zwar ergeben alle Modelle eine Abschwächung der „Meridional Overturning Circulation“ (MOC) um bis zu 50%, wenn gegen Ende des 21. Jahrhunderts die ozeanischen Wassertemperaturen und die Aussüßung des Nordatlantiks hohe Werte erreichen, jedoch tritt dies bei Temperaturen ein, die in Nordwest-Europa 4 bis 6°C über dem heutigen Niveau liegen. Eine Abschwächung der Wärmezufuhr durch den Golfstrom würde unter diesen Bedingungen geradezu willkommen sein und Nordwest-Europa thermisch entlasten. Von einer „Eiszeit“ kann keine Rede sein, denn die entstehen durch völlig andere astro- und geophysikalische Prozesse (IPCC 2007c).

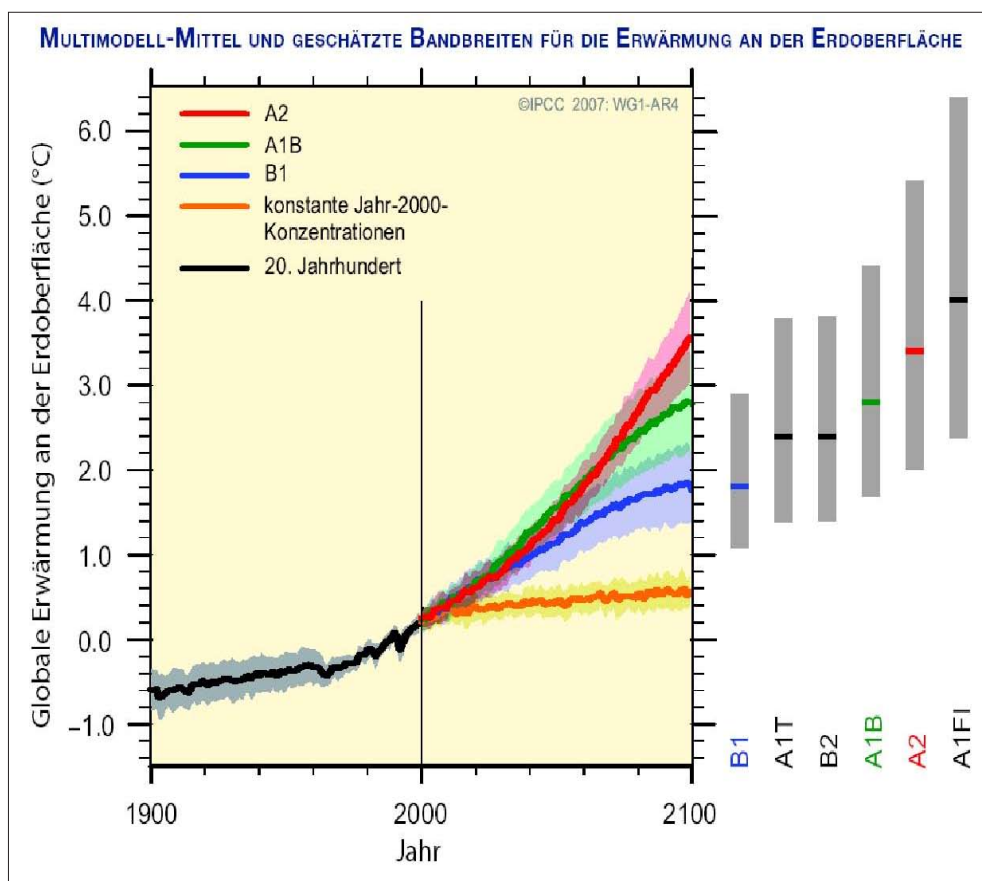


Abb. 2: Szenarien der Klimagas-Emissionen 2000 bis 2100 und Projektionen der resultierenden globalen Oberflächentemperaturen (Quelle: IPCC 2007b). Die durchgezogenen Linien sind globale Multimodell-Mittel der Erwärmung an der Erdoberfläche (relativ zu 1980-1999) für die Szenarien A2, A1B und B1, dargestellt als Verlängerungen der Simulationen für das 20. Jahrhundert. Die Schattierung kennzeichnet die Bandbreite von plus/minus einer Standardabweichung der einzelnen Modell-Jahresmittel. Die orange Linie stellt das Resultat des Experiments dar, bei dem die Konzentrationen auf Jahr-2000-Werten konstant gehalten wurden. Die grauen Balken auf der rechten Seite zeigen die beste Schätzung (durchgezogene Linie innerhalb des Balkens) und die abgeschätzte wahrscheinliche Bandbreite für die sechs SRES-Musterszenarien.

3.2 Meeresspiegel global

In den aus den Emissionsszenarien und den resultierenden Temperaturanstiegen errechneten „Projektionen“ des Meeresspiegelanstiegs summieren sich die Spannweiten der Emissionsszenarien und die wissenschaftlichen Unsicherheiten über die Funktionen des Gesamtsystems, so dass, verstärkt durch die zeitlich verzögerte Reaktion der Ozeane, die Schätzungen des Meeresspiegelanstiegs nochmals unsicherer werden. Der Betrachtungszeitraum des IPCC endet mit dem gegenwärtigen Jahrhundert, dazwischen liegende Zeitschnitte müssen i.d.R. geschätzt oder abgegriffen werden. 100 Jahre sind im Prinzip auch Bezugszeitraum für Küstenschutz und Deichbau (z.B. im bisherigen Säkularzuschlag von 25 cm), obwohl in der Praxis alle 25 bis 35 Jahre nachberechnet wird und ggfls. neue Deichhöhen festgesetzt und hergestellt werden. In der Tab. 1 sind die Modellierungen des IPCC und Extrapolationen aus regionalen Zeitreihen zusammen gestellt. Sie bilden mögliche zukünftige Entwicklungen ab und zeigen die große Spannweite, die sich aus der Abhängigkeit von den zukünftigen Treibhausgasemissionen, regionalen Besonderheiten und den noch immer großen wissenschaftlichen Defiziten ergeben.

Wie Tab. 1 zeigt, wird global vom IPCC bis Ende dieses Jahrhunderts ein Anstieg des mittleren Meeresspie-

gels um minimal 18 bis zu maximal 59 cm errechnet, jeweils zuzüglich der noch unbekannten Folgen von Gletscherschmelzen. Für den hier betrachteten Zeitraum bis 2050 kann wie bei den Temperaturen von etwa der Hälfte der genannten Werte ausgegangen werden, so dass im Minimum (B1: low estimate) mindestens +10 cm, im Maximum (A1FI: high estimate) mindestens +30 cm sicher eintreten können. Die Szenarien des „United Kingdom Climate Impacts Programme“ (UKCIP 2008) kommen zu ähnlichen Größenordnungen für den Meeresspiegelanstieg bis 2050: Er wird für die Südhälfte der britischen Insel auf 30 bis 50 cm geschätzt.

Die Tab. 1 demonstriert anschaulich die Unsicherheiten über den mittel- und längerfristigen Fortgang des Meeresspiegelanstiegs, seine Auswirkungen auf das Tidehochwasser im Bereich der Deutschen Bucht und die Wechselwirkungen mit anthropogenen Eingriffen. Es zeigt sich deutlich, dass es zu einer bereits beobachteten und/oder zu einer sehr wahrscheinlich zu erwartenden erheblichen Beschleunigung des im vergangenen Jahrhundert verwendeten „Säkularanstiegs“ von 25 cm/Jahrhundert gekommen ist. Verstärkt wird diese Beschleunigung durch die sich deutlich abzeichnende Erhöhung der Beiträge der globalen Gletscherschmelze zum Meeresspiegelanstieg und im Bereich der Ästuar durch weitere Ausbauten.

Auch das IPCC (2007b) weist ausdrücklich auf die verbleibenden Unsicherheiten in der Kenntnis des Klimasystems hin und benennt diesbezüglich insbesondere das zukünftige Verhalten der Eis- und Gletschermassen, so dass die angegebenen Werte keinesfalls als Obergrenzen des Meeresspiegelanstiegs zu verstehen sind.

RAHMSTORF & RICHARDSON (2007) gehen abweichend von der Einschätzung des IPCC von einem Anstieg des Meeresspiegels um etwa 3,4 mm/Jahr pro 1°C Temperaturerhöhung der Atmosphäre aus, was für das A1B-Szenario (~3°C Anstieg bis 2100) schon 1 m, für das A1FI-Szenario mit 2,5 bis 6°C sogar bis zu 2,4m bedeuten würde. In Zeiträumen von Jahrhunderten wird überdies das postglaziale Absinken der deutschen Nordseeküste von ca. 10 cm/Jahrhundert relevant, was zu den jeweiligen globalen Schätzungen addiert werden muss.

3.3 Klimawandel in den Ästuaren

Eine Übersetzung der globalen Beobachtungen und Prognosen der Meeresspiegelveränderungen auf die regionale Ebene muss die spezifischen Bedingungen an der deutschen Nordseeküste berücksichtigen. Dies betrifft v.a. die Besonderheit der Nordsee als Randmeer des Nordatlantiks, die relative Senkung der Schleswig-Holsteinischen und der Niedersächsischen Küste und die Veränderung des Tidehubs, insbesondere den Anstieg des Tidehochwassers.

Mittlerer Meeresspiegel und Gezeiten

Der IPCC gibt für den bisherigen mittleren globalen Anstieg des Meeresspiegels für den Zeitraum 1961 bis 2003 $1,8 \pm 0,5$ mm/Jahr an, mithin etwa 18 cm/Jahrhundert, mit einer deutlichen Beschleunigung im Zeitraum 1990 bis 2003 auf etwa 3 mm/Jahr entsprechend 30 cm/Jahrhundert (IPCC 2007a). Die Nordsee folgt diesem Anstieg des mittleren Wasserstandes (MW) mit Verzögerung. JENSEN & MUDERSBACH (2007) geben den Trend des Anstiegs des MThw 1950 bis 2005 für ausgewählte Küsten- bzw. Inselpegel mit 14,4 bzw. 18,5 cm/Jahrhundert an. Unsicher erscheint allerdings der Beitrag durch die Ausbauten der Ästuarare an diesen Daten. Im Gegensatz zu den Autoren erkennt z.B. HOFSTEDE (2007) aus der Langzeitanalyse von Pegeln der deutschen Nordseeküste noch keine Beschleunigung des Anstiegs.

Infolge des geringen Gefälles in den norddeutschen Ästuaren setzt sich ein weiterer Anstieg des küstennahen Meeresspiegels nahezu unverändert in die Ästuarare hinein fort, wie GRABEMANN et al. (2007) zeigen.

Von großer Bedeutung für ästuarine Prozesse ist außer der Lage des (rechnerischen) mittleren Meeresspiegels die bisherige und zukünftige Veränderung der Gezeiten, da sie Strömungen und Wasseraustausch an der Küste, im Wattenmeer und insbesondere in den Ästuaren bedingen. IPCC macht hierzu nur sehr allgemeine Aussagen. Grundsätzlich muss davon ausgegangen werden, dass die küstennahe Tidewelle mit zunehmenden

Tab. 1: Zusammenstellung errechneter Werte (szenariobasiert) und extrapolierter Trends für den zukünftigen Anstieg des Meeresspiegels (MW) und des MThw bis 2050 und 2100 (* x = unbekannter Zuschlag für Gletscherschmelze).

Quelle	Szenario/Datensatz	Kenngroße	Anstieg bis 2050 [m]	Anstieg bis 2100 [m]
IPCC 2007a	B1 (global)	MW	$0,09 - 0,19 + x^*$	$0,18 - 0,38 + x^*$
IPCC 2007a	A1B (global)	MW	$0,11 - 0,24 + x^*$	$0,21 - 0,48 + x^*$
IPCC 2007a	A1FI (global)	MW	$0,13 - 0,30 + x^*$	$0,26 - 0,59 + x^*$
IPCC 2007a	Extrapolation aus 1990 - 2003	MW		0,3
UKCIP 2008	Regionalszenario (Süd-England)	MW	0,30 - 0,50	
RAHMSTORF & RICHARDSON 2007	3,4 mm/Jahr pro 1°C Temperaturerhöhung (global)	MW	B1: 0,19 - 0,50 A1B: 0,29 - 0,75 A1FI: 0,41 - 1,09	B1: 0,37 - 0,99 A1B: 0,58 - 1,50 A1FI: 0,82 - 2,18
JENSEN & MUDERSBACH 2007	Zeitreihe dt. Küstenpegel Nordsee (Extrapolation, Basis 1950-2005)	MW	0,07 - 0,10	0,14 - 0,19
JENSEN & MUDERSBACH 2007	dito	MThw	0,21	0,41

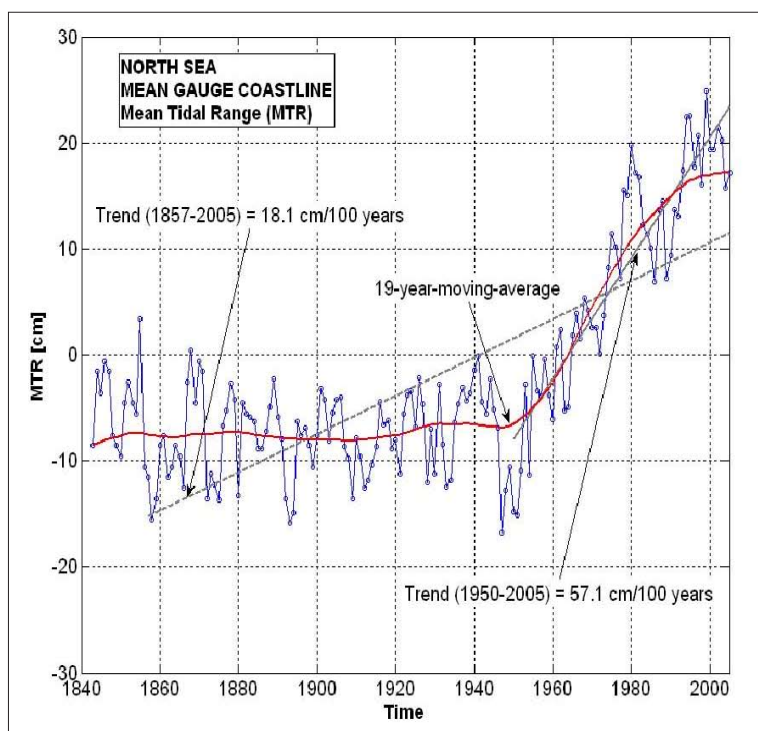


Abb. 3: Normierte mittlere MThb-Zeitreihe (sechs Küstenpegel-Nordsee) mit Ausgleichsfunktionen (aus JENSEN & MUDERSBACH 2007).

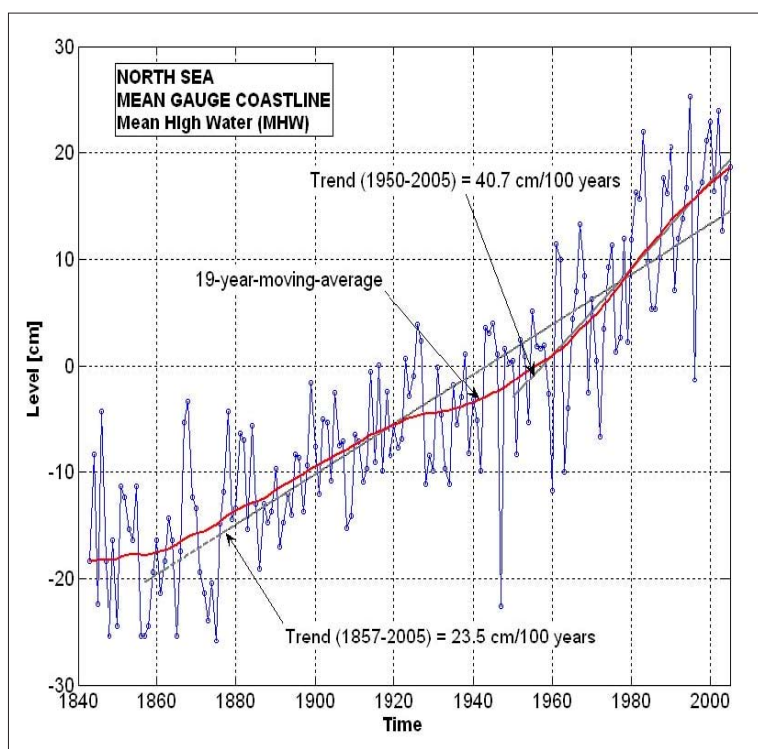


Abb. 4: Normierte mittlere MThw-Zeitreihe (Küstenpegel-Nordsee) mit Ausgleichsfunktionen (aus JENSEN & MUDERSBACH 2007).

Ein weiterer Effekt, der die Prognosen erschwert, ist die Wirkung möglicher weiteren Ausbauten der Ästuar für die Großschifffahrt (Vertiefungen, Einengungen, Begradigungen usw.). Wie SCHUCHARDT et al. (2007) zeigen, sind diese Wirkungen in Elbe, Weser und Ems sehr deutlich und haben u.a. zu Tidehüben geführt, die

der Wassertiefe weniger Energie durch Bodenreibung verliert, also mit größerer Energie in die Flachwasserzonen und Ästuar eindringt und dort einen größeren Tidehub erzeugt. Die Auswertungen von JENSEN & MUDERSBACH (2007) (Abb. 3) weisen darauf hin, dass sich der Trend der Zunahme des Tidehubs an der Deutschen Nordseeküste (sechs Pegel) seit den 1960er Jahren erheblich beschleunigt hat: von 18,1 cm/Jahrhundert (1857-2005) auf 57,1 cm/Jahrhundert (1950-2005). Diese Zunahme beruht vor allem auf dem Anstieg des MThw um 22 cm seit 1950, während das MTnw in der gleichen Zeit um 9 cm abgesunken ist. Diesen Trend zeigt auch der außerhalb des unmittelbaren Küstenumfeldes liegende Helgoländer Pegel: Der MThb-Trend stieg von 19,8 cm/Jahrhundert (1925-2001) auf 34,3 cm/Jahrhundert (1965-2001) (JENSEN & MUDERSBACH 2004) (Unklar bleibt allerdings auch hier der Beitrag des Ausbaus der Ästuar an diesen Veränderungen).

JENSEN und MUDERSBACH (2007) zeigen für ihre Analyse der Zeitreihen des mittleren Tidehochwassers (Abb. 4), dass der langfristige Trend des MThw-Anstiegs im Bereich der deutschen Küstenlinie 23,5 cm/Jahrhundert betrug und damit dem globalen Trend von 14 cm (IPCC 2007b) zuzüglich 10 cm als Folge des regionalen Absinkens der Deutschen Küste folgte. Global wie auch in den Statistiken von der Deutschen Küste setzt nach diesen Autoren jedoch Mitte des 20. Jahrhunderts eine signifikante Trendbeschleunigung ein, die global ab den 1990er Jahren 31 cm/Jahrhundert und in den 1950er Jahren an der Küste 40 cm/Jahrhundert erreichte. Diesen Trend zeigt auch die küstenfernere Nordsee am Pegel Helgoland mit einer Trendbeschleunigung für das MThw von 18,4 cm/Jahrhundert (1925-2001) auf 23,7 cm/Jahrhundert (1965-2001) (JENSEN & MUDERSBACH 2004). Andere Autoren (s.o.) finden solche Veränderungen in der Analyse von Pegelreihen allerdings nicht.

heute ein Vielfaches der ursprünglichen Werte aufweisen. Wie die Beweissicherungen der letzten Ausbauten und auch die Wirkungsprognosen der gegenwärtig geplanten weiteren Vertiefungen zeigen, bewirkt eine Vertiefung der Fahrrinne um ~1 m eine Zunahme des Tidehubs um etwa 9 cm, wovon etwa 3 cm auf einen

Anstieg des MThw entfallen und etwa 6 cm auf einen Absink des MTnw. Die Überlagerung der genannten Prozesse „Anstieg des mittleren Meeresspiegels“, „Anstieg des Küsten-MThw“ und „Ausbau der Ästuar“ hat z.B. am Pegel Vegesack in der inneren Unterweser seit 1977 zu einem Anstieg des MThw um 30 cm geführt, was einem Anstieg von 97 cm/Jahrhundert entspräche. In der Unterelbe laufen die gleichen Prozesse ab und führten am Pegel St. Pauli ebenfalls zu einem Anstieg des MThw bezogen auf NN um 30 cm (1977-2008) (BSH 2008).

Ursächlich verbunden mit diesen hydraulischen Veränderungen sind die Reichweite des Tideeinflusses in die Nebenflüsse hinein, u.U. eine Vergrößerung des Eulitorals und die Entstehung anthropogener Süßwasserwatten, eine erhebliche Zunahme der tiderhythmisch ausgetauschten Wassermassen, der Strömungsgeschwindigkeiten und Turbulenzen, des Schwebstoffgehalts und der Sedimentation in den Seitenbereichen, eine Zunahme der Flut- und Ebbewege, eine Stromauf-Verlagerung der Brackwasserzone und die Vergrößerung der Reichweite und Höhe von Sturmfluten (SCHUCHARDT & SCHIRMER 2005 und 2007; s.a. Kapitel 5).

Sturmfluten

Die zukünftige Entwicklung der Sturmfluten bezüglich der Häufigkeit bestimmter Wasserstände und der Höhe von Extremwerten ist nur sehr eingeschränkt abzuschätzen. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass ein gleich großer eine Sturmflut erzeugender Impuls bei sich stetig erhöhendem Tidehochwasser (s.o.) entsprechend höhere Sturmflutwasserstände bewirkt. WITTIG et al. (2007) errechnen für das KLIMU-Klimaszenario (in 2050: MThw Dt. Bucht +55 cm, Windgeschwindigkeit im Winter +6,6 %, windbedingte Extremwerterhöhung +14,4 cm), dass eine Sturmflut, die das MThw um 2,5 m übersteigt, in Bremerhaven um den Faktor 2,6 bis 3,0 häufiger eintritt als heute, wobei diese Entwicklung abhängig von der zukünftigen Topografie ist. Der Anstieg des MThw an der Küste wird durch die Ästurausbauten stromaufwärts verstärkt, die Schließung der Sturmflutsperrwerke an den Nebenflüssen und die Verluste von Überschwemmungsflächen erhöhen die Wasserstände bei gleichen Randbedingungen zusätzlich. Es ist allerdings festzuhalten, dass es gegenwärtig nach einigen Autoren zwar eine Tendenz zur Zunahme, aber noch keine statistisch abgesicherten Befunde im Bereich der Nordseeküste gibt. GROSSMANN et al. (2007) erwarten erst ab Mitte dieses Jahrhunderts einen

relevanten Sturmflut erhöhenden Klimaeffekt. Auf Basis der A2- und B2-Szenarien errechnen sie für 2030 eine Erhöhung der Sturmflutspitze (inklusive Meeresspiegelanstieg) in Hamburg-St. Pauli um 18 ± 5 cm und für 2080 um 63 cm (48 bis 82 cm). Es zeigt sich hier die weitere Beschleunigung des Meeresspiegelanstiegs und die ab Mitte des Jahrhunderts zu erwartende Erhöhung der Windgeschwindigkeiten.

Weitere Klimaparameter

Die Ästuar unterliegen auch den landseitigen Folgen des Klimawandels. Hier ist vor allem die Veränderung der Abflüsse aus Eider, Elbe, Weser und Ems zu betrachten, die ihrerseits von den zukünftigen Niederschlags-/Abflussbedingungen abhängen. Hierzu prognostizieren sowohl die globalen Modelle für die gemäßigten nördlichen Breiten als auch die regionalisierten Modellrechnungen für Deutschland übereinstimmend folgende Entwicklungen bis 2100:

- Nordwest-Europa: Einen Anstieg der Jahres-Mitteltemperaturen zwischen 2-3°C (B1-Szenario) und bis zu 6,5°C (A1FI-Szenario)(IPCC 2007a);
- Nord-Deutschland: Einen Anstieg der mittleren Sommertemperaturen um 2,5 bis 3,5°C sowie einen Anstieg der mittleren Wintertemperaturen um 3 bis 4°C (A1B-Szenario; MPI-M 2007);
- Nord-Deutschland: Eine Veränderung der mittleren Sommerniederschläge um +5 bis -30% sowie der mittleren Winterniederschläge um -5 bis +30% (A1B-Szenario; MPI-M 2007).

Bis 2050 kann vorläufig mit der Hälfte der o.g. Veränderungen gerechnet werden. Für die Süßwasserzufuhr in die norddeutschen Ästuar (Oberwasser) bedeutet dies für das Sommerhalbjahr infolge der Zunahme der Evapotranspiration eine u.U. deutliche Abnahme, während im Winterhalbjahr eine Zunahme mit längeren Hochwasserphasen sicher zu erwarten ist. Zu gleichen Tendenzen kommen MANIAK et al. (2005) für das KLIMU-Klimaszenario, welches dem A1B-Szenario ähnelt, für das sie eine Abnahme des Abflusses um etwa 10% im Spätsommer errechnen und eine Zunahme der Jahressumme des Oberwasserzuflusses um 8% für ein trockenes und 11% für ein feuchtes Jahr (s.a. Kapitel 5.2). Daraus wiederum resultiert im Prinzip im Sommer eine Verlagerung der Brackwasserzone stromauf mit einer Zunahme der Flut- und Ebbewege, im Winter dagegen eine seewärtige Verlagerung, die dem Meeresspiegelanstieg entgegenwirkt, mit einer Verringerung der Tidewege (s. Kapitel 5.2).

Neben den genannten Klimatrends wird sich der Klimawandel auch auf die Häufigkeit und Stärke von Extremereignissen auswirken (IPCC 2007a, JONAS et al. 2005). Dazu gehören sowohl die Sturmfluten und die sie verursachenden Stürme als auch Hitzewellen und Starkregenereignisse. Vergleiche verschiedener regionaler Klimamodellrechnungen bestätigen, dass schon geringe Änderungen des mittleren Klimas oder der Klimavariabilität große Veränderungen in der Häufigkeit von Extremereignissen verursachen (SCHÖNWIESE & JANOSCHITZ 2008).

Für Norddeutschland wird es als wahrscheinlich erachtet, dass insbesondere die Stärke der nördlichen und westlichen Winterstürme zunimmt (MEINKE 2007). Die Windgeschwindigkeiten könnten sich im Winter um ca. 10% erhöhen, während sie im Sommer eher abnehmen könnten. Beim Wind sind die Erkenntnisse jedoch noch recht uneinheitlich, so dass hier eine allgemeine Charakterisierung nur unter Vorbehalt zu treffen ist. Tendenziell nehmen nach JONAS et al. (2005) die Häufigkeiten extremer täglicher Windmaxima im Winter zu und im Sommer ab. Dies gilt jedoch nicht für küstennahe Stationen, wo auch im Winter oft negative Trends extremer Tagesmaxima beobachtet wurden. Insgesamt zeigen die regionalen Klimaprojektionen für die Sturmintensität und für die Veränderungen des Windes noch keine belastbaren Ergebnisse und ob diese Entwicklungen heute schon nachweisbar sind, wird noch kontrovers diskutiert (VON STORCH et al. 1997 und 2005).

Hinsichtlich der sommerlichen Niederschläge wird projiziert, dass einerseits die mittleren Niederschläge bis zu 30% abnehmen, andererseits aber die Intensität von Starkregenereignissen zunimmt. Das bedeutet, dass die vergleichsweise geringeren Niederschlagsmengen in sehr kurzer Zeit fallen könnten und gleichzeitig die Zahl der Regentage abnimmt (UBA 2006). Hintergrund dieser Entwicklung ist die regional sehr unterschiedliche Lufttemperaturerhöhung, die auch Veränderungen im Wasserkreislauf bewirkt (JACOB 1998). Hitzeperioden könnten zukünftig sowohl länger dauern, als auch höhere maximal Werte erreichen. Dabei kann es im Jahresmittel weniger Frosttage sowie mehr heiße Tage und mehr Tropennächte geben (UBA 2007). Letztendlich kann eine mögliche erhöhte Variabilität im Wetter- und Klimageschehen mit z.B. weiterhin vorkommenden Spät- und Frühfrösten sowie Temperaturstürzen zu nachteiligen Auswirkungen auf Ökosysteme und Gesellschaft führen.

3.4 Das KLIMU-Szenario

Für die Modellierung des Klimawandels werden vom IPCC Szenarien verwendet, die auf unterschiedlichen Annahmen der sozioökonomischen Entwicklung und damit der Emission klimarelevanter Gase beruhen. Als Resultat produzieren die globalen Klimamodelle die bekannten Spannweiten für den Anstieg der global gemittelten Temperatur und für den Meeresspiegel. Die von IPCC verwendeten Szenarien stützen sich auf verschiedene „Storylines“, in denen z.B. Annahmen über die Bevölkerungsentwicklung und zukünftige Energienutzung getroffen werden, und produzieren somit vielfältige Projektionen der zukünftigen Emissionen von klimawirksamen Gasen, deren Akkumulation in der Atmosphäre und der resultierenden Veränderungen des globalen Energie- und Wasserhaushaltes. Die mit diesen Inputdaten gefütterten globalen und gekoppelten Klimamodelle können dann Veränderungen der Atmosphärentemperatur, des Niederschlags, des Windes oder der Oberflächentemperatur der Ozeane berechnen. Die Resultate der Klimamodellierung sind dabei aufgrund der genannten Unsicherheiten der Eingangsparameter v.a. der zukünftigen sozioökonomischen Entwicklung alle gleich wahrscheinlich und prinzipiell möglich. Der IPCC charakterisiert die Prognosen lediglich als „optimistisch“ oder „worst case“ und verweist auf das Problem der Prognostizierbarkeit zukünftiger Emissionsraten. Da sich diese Prognoseunsicherheit nicht beheben lässt, steht die Klimafolgenforschung vor der Herausforderung, schon heute eine Auswahl aus der Spannweite möglicher Entwicklungen der Klimaparameter treffen zu müssen. Um angesichts der erheblichen Unsicherheitsmargen der Klimaprognosen eine effektive Klimawirkungsforschung gestalten zu können, hat sich die Formulierung von Szenarien bewährt (PARRY 2000). Als Grundlage für die küstenraumbezogene, vorsorgeorientierte Klimafolgenforschung ist im Rahmen des Forschungsprogramms „Klimaänderung und Küste“ vom Verbundvorhaben KLIMU (SCHIRMER & SCHUCHARDT 2001) ein Klimaszenario entwickelt worden, dass auch für eine Reihe weiterer Projekte verwendet worden ist (Salzwiesen & Dünen: VAGTS et al. 2000 ; Fallstudie Sylt: DASCHKEIT & SCHOTTES 2002; KRIM: SCHUCHARDT & SCHIRMER 2007).

Dieses Szenario ist also als Grundlage für eine Reihe interdisziplinärer Projekte der Klimafolgenforschung in Norddeutschland verwendet worden und liegt damit auch den meisten Aussagen im vorliegenden Bericht

Tab. 2: Das KLIMU-Szenario für das Jahr 2050 (* = liegen nach Quartalen differenziert vor) (SCHIRMER 2005).

Parameter	Veränderung gegenüber heute
Meeresspiegel	+55 cm (15 säkular; 40 Klimawandel)
Mittlerer Tidehub	+25 cm (THW +10 cm; TNW –15 cm)
Wind (Dez/Jan/Feb)*	+7 % (verstärkt aus NW bis N)
Temperatur atmosphärisch*	+2.8 °C
Niederschlag*	+10 %

zugrunde. Ohne entsprechende Festlegungen sind gerade komplexere interdisziplinäre Vorhaben nicht bearbeitbar, es kann nicht mit einem Bündel von möglichen Veränderungen gearbeitet werden. Im Sinne von Sensitivitätsanalysen, die wie in KRIM die Empfindlichkeit einer Untersuchungsregion analysieren möchten, spielen quantitative Unsicherheiten nur eine geringe Rolle, solange sich Tendenzen in klimasensitiven Bereichen erkennen lassen. Ziel der Analysen der Klimafolgenforschung ist also die Beantwortung solcher Fragen wie „was kann passieren, wenn sich das Klima so ändert, wie angenommen“, wobei häufig erst die Annahme von „kräftigen“ Signalen die Sensitivitäten verdeutlichen kann.

Da aus den globalen Klimamodellen nur großräumige Veränderungen abzuleiten sind, ist seinerzeit für den Küstenraum mittels Downscaling eine regionale Differenzierung möglicher Klimaänderungen vorgenommen worden, womit sich allerdings die Unsicherheiten verstärken. Dieses konnte im Rahmen eines BMBF-Vorhabens erfolgreich vorgenommen werden und produzierte für eine Reihe von Klimafolgenforschungs-Projekten regional differenzierte Aussagen zu Atmosphärentemperaturen, Niederschlägen und Windstärken (VON STORCH et al. 1998, weitere Details in SCHIRMER 2005). Die daraus resultierenden Werte sowie weitere Festsetzungen sind in Tab. 2 verkürzt dargestellt.

4 Klimawirkungsforschung zu den Ästuaren von Eider, Elbe, Weser und Ems

Im folgenden Kapitel wird ein Überblick über abgeschlossene und laufende Forschungsprojekte und -aktivitäten der Klimawirkungsforschung gegeben. Weitere Informationen zu Beteiligten, Auftraggebern und Bearbeitungszeitraum sind den angegebenen Internetadressen bzw. der von Bioconsult im Auftrag des Umweltbundesamtes (BIOCONSULT 2008) erstellten Datenbank zu Projekten im Zusammenhang Klimawandel und Anpassung (<http://www.anpassung.net/projektkatalog>) zu entnehmen. Auf dieser Seite des Kompetenzzentrums Klimafolgen und Anpassung (KomPass: <http://www.anpassung.net>) des Umweltbundesamts sind auch weitere aktuelle Informationen zum Thema verfügbar.

KLIMU – Klimaänderung und Unterweserregion (<http://www.KLIMU.uni-bremen.de>): Das interdisziplinäre Vorhaben hat querschnittsorientiert die Empfindlichkeit der hydrologischen, ökologischen und sozioökonomischen Strukturen des Natur-, Lebens- und Wirtschaftsraumes Unterweser und ihrer Marsch gegenüber möglichen Klimaänderungen beschrieben und verschiedene gesellschaftliche Handlungsoptionen entwickelt. Das Teilprojekt „Hydrografisch-ökologische Simulation des Systems Unterweser für verschiedene Klimaszenarien (Unterweser-Simulation)“ hat mit Hilfe eines numerischen querschnittsgemittelten Gewässergüte- und Transportmodells die Sensitivität von Hydrografie und Gewässergüte des Weserästuars zwischen Bremen und Robbensüdsteert (UW-km 80) durchgeführt. Das Teilprojekt „Wasserwirtschaft – Flussgebietsmodell für den Wasser- und Stoffhaushalt im Einzugsgebiet des Weserästuars“ den Süßwasserhaushalt in den küstennahen Einzugsgebieten unter Berücksichtigung des Zuflusses der Mittelweser in das Ästuar bei sich ändernden klimatischen Bedingungen (Szenarien) quantifiziert. Dazu wurde mathematisches Flussgebietsmodell für das Einzugsgebiet der Unterweser aufgestellt und als Wasserhaushaltsmodell so konzipiert, dass Niederschlag, Abfluss und Verdunstung von Teileinzugsgebieten bilanziert werden konnten. Zur Berechnung der Wasserstände bei Be- und Entwässerung sowie der gesielten und geschöpften Wassermengen wird ein hydraulisches Modell nachgeschaltet. Enge Zusammenarbeit erfolgte hier mit dem Teilprojekt „Grundwasser – Einfluss der Klimaänderung auf die küstennahen Grundwasserverhältnisse unter Berücksichtigung der Be- und Entwässerung in den Marschengebieten“. Hier erfolgte eine quantitative Abschätzung der Folgen einer definierten Klimaänderung für den Grund- und Bodenwasserhaushalt und davon abhängiger Nutzungsmöglichkeiten. Das Teilprojekt „Ökologischer Komplex“ mit dem Teil B „Klimasensi-

tivität der Unterweser und ihrer Vorländer“ untersuchte die Klimasensitivität der aquatischen, amphibischen und terrestrischen Lebensräume der Unterweserregion vor der Hauptdeichlinie. Weitere Teilprojekte beschäftigten sich mit dem Küstenschutz, der Flächenbeanspruchung und Regionalplanung sowie den regionalen ökonomischen Auswirkungen des Klimawandels.

KRIM – Klimawandel und präventives Risiko- und Küstenschutzmanagement an der deutschen Nordseeküste (<http://www.krim.uni-bremen.de>): Das interdisziplinäre Verbundvorhaben hatte das Ziel, Orientierungs- und Handlungswissen für die gesamtgesellschaftliche Zukunftsaufgabe „Risikomanagement im Küstenschutz unter Unsicherheitsbedingungen“ bereitzustellen. Die zentrale Forschungsfrage des Verbundvorhabens war: Welche Anforderungen stellen ein beschleunigter Meeresspiegelanstieg und verstärkte Extremereignisse an den in ein integriertes Küstenzonenmanagement einzubindenden zukünftigen Küstenschutz und welche gesellschaftlichen Interpretationsmuster und Entscheidungsvorgänge beeinflussen diesen Prozess? Auch hier wurden von mehreren Teilprojekten die Folgen eines angenommenen Klimawandels für die Jade-Weser-Region analysiert. Das Teilprojekt „Klimawandel und hydrodynamische und morphologische Auswirkungen im Küstenbereich“ hat die Beschaffenheit und den Umfang von hydrodynamischen und morphologischen Änderungen als Folge eines Klimaszenarios sowie von Küstenschutzmaßnahmen und Zukunftsbildern mittels einer Kombination aus numerischer Modellierung und Informationen über die bisherige Entwicklung des Gebietes abgeschätzt. Das Teilprojekt „Küstenökologische Aspekte des Klimawandels“ untersuchte die Bedeutung der Watten und Deichvorländer als Bestandteile der Küstenschutzsysteme und ihre Veränderung unter der Einwirkung eines definierten Klimaszenarios. Managementvorschläge unter Berücksichtigung der naturschutzfachlichen Bedeutung von Watten und Vorländern wurden ebenso erarbeitet, wie die ökologischen Konsequenzen von Deichversagen mit großräumigen Überschwemmungen mit Süß- und Seewasser. Weiterhin wurden ökologische Werte monetarisiert, so dass sie der Kosten-Nutzen-Analyse zugänglich sind. Weitere Teilprojekte analysierten anhand von Risikoanalysen das Verhalten ausgewählter Küstenschutzsysteme, analysierten und bewerteten das Risiko von Überflutungsfolgen für die regionale Ökonomie mit einem ökonometrischen Regionalmodell und bearbeiteten sozial- bzw. politik- sowie kommunikationswissenschaftliche Aspekte.

Salzwiesen & Dünen – Auswirkungen von Klimaänderungen auf die biologischen Systeme der Küsten:

Das Verbundvorhaben mit zehn Arbeitsgruppen hat auf der Basis von Hypothesen über mögliche Auswirkungen der Klimaänderungen auf die biologischen Systeme der Küsten folgende zentralen Fragestellungen bearbeitet: Kommt es zu einer Neustrukturierung innerhalb der Lebensräume oder zu einer Verlagerung der bestehenden Lebensräume? Wie verlagern sich die Verbreitungsareale von Pflanzen- und Tierarten, wenn die Klimaänderungen entsprechend den angenommenen Szenarien eintreten? Was bedeuten die Verlagerungen für die Ökosysteme, und wie sensibel reagieren sie? Wie verändert sich die Struktur der Artenspektren, welche ökosystemaren Auswirkungen sind möglich? Welche Konsequenzen ergeben sich für Nutzung und Schutz der Küstenlebensräume? Diese übergeordneten Fragestellungen wurden mittels einer vergleichenden arealgeographischen und einer experimentell-ökologischen Analyse untersucht. Die arealgeographische Analyse bestand aus einem Vergleich aktueller Verbreitungsdaten von Küstenpflanzen und ausgewählten Tiertaxa in einem Ost-West-Klimagradienten sowie einer Auswertung historischer Kartierungsdaten, um bereits erfolgte Arealverschiebungen zu erkennen. Die experimentellen Ansätze konzentrieren sich auf Analysen der Auswirkungen des Meeresspiegelanstiegs, der Zunahme von Extremereignissen und der Temperaturerhöhung auf einzelne Arten und Populationen, auf die gesamte Vegetation eines Standorts sowie auf ökosystemare Prozesse wie Nährstoffumsatz, biogene Sandstabilisierung und Bodenbildung. Aus der Synthese der Befunde können die Konsequenzen eines beschleunigten Klimawandels auf die Küstenökosysteme der Salzwiesen und Dünen beurteilt werden. Sie bilden die Grundlage für Prognosen und Empfehlungen.

Klimawandel und Biodiversität – Eine Kommunikationsstrategie für den ehrenamtlichen Naturschutz

(http://www.nabu.de/m06/m06_12/06172.html): Da die Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität vorwiegend in Fachkreisen diskutiert und auf regionaler und lokaler Ebene bislang vergleichsweise wenig wahrgenommen werden, droht dieses wichtige Thema daher gerade bei den überwiegend ehrenamtlichen Naturschützern vor Ort nur mit Verzögerung und durch die Filter der Medien anzukommen. Als Träger und Motor der lokalen Naturschutzarbeit müssen sie aber gezielt für dieses Themenfeld sensibilisiert und auch in die Ausarbeitung von Lösungsstrategien für den Naturschutz eingebunden werden. Ziel des Projektes

ist die fundierte und rasche Information der ehrenamtlichen Akteure im Naturschutz und ihre Einbindung in die Ausarbeitung von Lösungsstrategien. Es werden zum einen die Fragen nach Reaktionsmöglichkeiten des Naturschutzes und den Anforderungen an neue Schutzkonzepte gestellt, zum anderen sollen die zentralen Aspekte einer geeigneten Kommunikationsstrategie identifiziert und diskutiert werden.

Modellierung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Flora in Deutschland (<http://www.ufz.de/index.php?de=6370>): Ziel des Projekts ist die Aufklärung der Klimasensitivität der in Deutschland vorkommenden wildwachsenden Farn- und Blütenpflanzen auf der Basis von modellierten und beobachteten Arealverschiebungen. Damit sollen erste Grundlagen für die naturschutzfachliche Bewertung und die Ableitung von Handlungsmöglichkeiten geschaffen werden. Hierzu werden 1. Arealverschiebungen der Arten der Flora Deutschlands simuliert. Als Ergebnis kann für diese Arten prognostiziert werden, wo in Zukunft klimatische und edaphische Faktorkombinationen vorherrschen, unter denen die Spezies gegenwärtig vorkommen. 2. erfolgt eine ökologische Risikoabschätzung für die Arten, die zurzeit noch ungefährdet sind aber durch Klimawandel zurückgehen könnten. 3. wird das klimainduzierte Ausbreitungspotential von gebietsfremden Arten, die in Deutschland regelmäßig auftreten oder in den Nachbarländern bereits eingebürgert sind, abgeschätzt, damit 4. besonders betroffenen Arten identifiziert werden können, bei denen Arealverschiebungen schneller zu erwarten sind als durch das Ausbreitungspotential der Arten kompensiert werden kann. Als 5. erfolgt eine Darstellung von aktuell zu beobachtenden Arealverschiebungen auf Grundlage von Felduntersuchungen an ausgewählten Zielarten.

Klimawandel und Naturschutz in Deutschland

(http://www.bmu.de/naturschutz_biologische_vielfalt/forschen_fuer_die_natur/klima/doc/35333.php): Das Forschungsvorhaben hat anhand der Literatur zum Themenbereich „Klimawandel und Naturschutz“ abgeschätzt, welche Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt in Deutschland nachweisbar sind. Neben einer Auswahl der wichtigsten Arbeiten und einer Zusammenstellung in einer Literaturlieferantenbank, wurden die wesentlichen Aussagen zu aktuellen Klimatrends und regionalen Klimaszenarien, zur Klimawirkungsforschung, zu langfristigen Veränderung von Verbreitungsarealen einzelner Arten und von Ökosystemen und zu Sensitivitätsanalysen von

Arten und Lebensgemeinschaften zusammengefasst und zukünftiger Forschungsbedarf zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt in Deutschland skizziert. Dabei erwies sich die vorliegende Literatur als aussagekräftig genug, um belegen zu können, dass sowohl der Klimawandel als auch dessen Auswirkungen auf Arten und Lebensräume für Mitteleuropa bereits stattfinden. Es scheint absehbar, dass in Deutschland klimawandelbedingte Artenverluste in den nächsten Jahrzehnten weitaus höher sein werden als es die Aussterberate durch Lebensraumverluste jemals war. Weitere Erkenntnis war auch, dass das bisher vorliegende Wissen für die Erarbeitung einer Gefährdungsanalyse und von konkreten Handlungsvorschlägen für einen zukünftigen Naturschutz in Deutschland nicht geeignet ist, weil erstens nur in seltenen Fällen Forschung an schutzwürdigen Arten durchgeführt wurde und zweitens eine Regionalisierung auf deutsche Teilregionen und Landschaften nicht erfolgt ist. Um die Mechanismen und Auswirkungen des Klimawandels besser abschätzen zu können und ggf. Maßnahmen abzuleiten, wurden verstärkt für den praktischen Naturschutz anwendbare Forschungsaktivitäten gefordert.

Schutzgebiete Deutschlands im Klimawandel – Risiken und Handlungsoptionen: (<http://www.pik-potsdam.de/vme/schutzgebiete>): Der Schutz von Arten und Lebensgemeinschaften wird ganz wesentlich in Schutzgebieten unterschiedlicher Kategorien gewährleistet. Weltweit stellen Schutzgebiete gegenwärtig das wichtigste Instrument des Naturschutzes dar. Schutzgebiete in Deutschland werden in den kommenden Jahrzehnten durch den Klimawandel erhebliche Veränderungen in ihrem naturräumlichen Potenzial erfahren. Dieses Problem stellt die nationale Naturschutzstrategie, einschließlich der Einhaltung internationaler Abkommen, vor neue Herausforderungen. Deshalb wird in diesem Projekt für eine umfassende und repräsentative Liste deutscher Schutzgebiete eine Risikoabschätzung mit neuesten Methoden der statistischen und prozessbasierten Simulation von Klimawirkungen durchgeführt. Dadurch kann geprüft werden, mit welcher Wahrscheinlichkeit der jeweilige Schutzzweck auch in der näheren Zukunft erreicht wird. Aus der ökologischen Risikoabschätzung sollen im Dialog mit Akteuren des öffentlichen und privaten Naturschutzes, Optionen für eine dynamisierte Naturschutzpolitik abgeleitet werden.

Klimawandel und Wattenmeer – Die Folgen des Klimawandels für das Wattenmeer und Entwicklung von Lösungsszenarien im Rahmen von IKZM: Menschen,

Wirtschaft und die biologische Vielfalt des Lebensraumes Wattenmeer sind durch den Meeresspiegelanstieg gefährdet. Sowohl der Küstenschutz, als auch der Naturschutz müssen sich frühzeitig auf die zu erwartenden Veränderungen vorbereiten. Naturverträgliche Küstenschutzmaßnahmen als Reaktionen auf den Meeresspiegelanstieg sind technisch möglich, jedoch sehr teuer. Für optimale Lösungen ist vielfach zu wenig Raum vorhanden und es kann zu konkurrierenden Nutzungen kommen. Ohne frühzeitige Planungskonzepte wird es zu einem Verlust bestimmter Lebensräume und Arten bzw. ganzer Teile des Wattenmeeres kommen. Präventive Maßnahmen auf der Basis von Entwicklungsszenarien sollten Alternativen bieten, die eine intelligente Raumplanung und einen Konsens zwischen den relevanten Akteuren möglich machen. Dazu wurden in einem Expertenkreis versucht eine Anzahl alternativer plausibler Szenarien für den Umgang mit der Erhöhung des Meeresspiegelanstiegs im Wattenmeer zu entwerfen, die sowohl Aspekte des Küstenschutzes als auch des Naturschutzes vereinen.

KWU – KlimaWandel Unterweser: informieren, erkennen, handeln (<http://www.klimawandel-unterweser.ecolo-bremen.de>): Das Forschungsprojekt untersucht in der Unterweserregion Kommunikationsformen zum Klimawandel. Gemeinsam mit Akteuren aus Tourismus, Stadt- und Regionalplanung sowie der Landwirtschaft werden Methoden und Materialien zur Vermittlung eines Risiko- und Chancenbewusstseins entwickelt, um daraus Handlungsmöglichkeiten zu erlangen. Im Rahmen dieses BMBF-Projekts ist 2007 eine Expertise von SCHIRMER, M. & S. WITTIG mit dem Titel „Auswirkungen des Klimawandels auf Natur und Gesellschaft in der Unterweserregion“ erstellt worden. In ihr sind für die drei Akteursgruppen die wichtigsten Klimafolgen, Sensitivitäten und Anpassungsoptionen zusammengestellt. Neben einer allgemeinen Beschreibung relevanter Hintergründe und zukünftiger Entwicklungen sind auch für den Küstenschutz im Klimawandel relevante Aspekte aufgenommen worden.

Weitere Projekte, die sich mit der Thematik Klimawandel, Küstenzonen, Küstenschutz und Risikomanagement in der Nordseeregion beschäftigen und deshalb am Rande auch die Ästuarie behandeln, sind u.a. Folgende:

COMRISK - Common Strategies to reduce the risk of storm floods in coastal lowlands (<http://comrisk.hosted-by-kfki.baw.de/>): Die Küstenschutzbehörden

der Länder der Nordseeregion führten das internationale Projekt mit dem deutschen Titel „Gemeinsame Strategien zur Reduzierung der Risiken von Sturmfluten in Küstenniederungen“ durch, um Erfahrungen auszutauschen und Lösungen entwickeln zu können. Hierfür wurden wesentliche Aspekte des Küstenschutzes bzw. des Risikomanagements an den Küsten im Nordseeraum untersucht, zu denen z.B. generelle Fragen zukünftiger Küstenschutzstrategien und technische Fragen über die hydrologischen Rahmenbedingungen für die Bemessung der Küstenschutzanlagen gehören. Gesamtziel war die Entwicklung eines verbesserten Risikomanagements für die gegenüber Überflutungen anfälligen Küstengebiete, das eine nachhaltige und harmonische Entwicklung in den Küstenniederungen des Nordseeraums gewährleisten soll.

CPSL - Coastal Protection and Sea Level Rise (<http://www.waddensea-secretariat.org/management/cpsl/cpsl.html>): Da auf der 8. trilateralen Regierungskonferenz zum Schutz des Wattenmeeres in Stade (1997) vereinbart wurde, die möglichen Folgen eines beschleunigten Meeresspiegelanstiegs zu untersuchen und auf dieser Basis Vorschläge für künftige integrierte Strategien zum Küsten- und Naturschutz zu erarbeiten, wurde 1998 die trilaterale Expertengruppe „Coastal Protection and Sea Level Rise“ einberufen. Sie setzt sich aus Vertretern der Küstenschutz- und Naturschutzverwaltung der drei Wattenmeer-Anrainerstaaten Niederlande, Deutschland und Dänemark zusammen. Ziel der Forschungsaktivitäten war die Entwicklung von integrierten Lösungsstrategien, die die Aspekte Sicherheitsstandards, Umweltverträglichkeit, Kosten-Nutzen-Verhältnisse, Akzeptanz in der Bevölkerung, rechtliche Aspekte und Konflikte mit anderen Interessen im Wattenmeer (z.B. Tourismus) berücksichtigen sollten. Es soll weiterhin sichergestellt werden, dass eine Lösung in einem Teil des Wattenmeeres nicht in einer anderen Region negative Folgen nach sich zieht. Die Resultate dienten als Grundlage für die 10. Regierungskonferenz zum Schutz des Wattenmeeres im Jahr 2005.

ComCoast - Combined Functions in Coastal Defence Zones (<http://www.comcoast.org/>): In diesem Projekt arbeiteten die Anrainerstaaten der Nordsee Belgien, Dänemark, Deutschland, England und die Niederlande an der gemeinsamen Entwicklung und Anwendung von Strategien zum Schutz vor Überflutungen in Küstenregionen zusammen. Zentrales Element war die Erweiterung des linienhaften hin zu einem flächenhaften Küstenschutz in Form von multifunktionalen Küstenschutzzonen. Dieses Konzept wurde auf verschiedenste Weise in den Partnerländern angewandt, um auf der einen Seite die Sicherheit gegen Überflutungen zu erhöhen und auf der anderen Seite die nachhaltige Entwicklung in der Küstenzone durch die Einbeziehung aller relevanten Nutzergruppen zu unterstützen. Dabei wurden Kombinationen unterschiedlicher räumlicher Nutzungen in den Küstenschutzzonen betrachtet, die eine nachhaltige Entwicklung von Gesellschaft, Ökonomie und Ökologie gewährleisten können.

5 Auswirkungen des Klimawandels

Im folgenden Kapitel werden die voraussichtlichen Auswirkungen des Klimawandels in den deutschen Nordsee-Ästuaren auf der Grundlage vorliegender Informationen und für verschiedene Klimaprojektionen analysiert. Der Schwerpunkt liegt dabei auf Veränderungen der ökologischen Situation für einzelne Arten und ganze Ökosysteme; es werden aber auch die Aspekte Hydrografie, Hydrologie und Hydrodynamik sowie Morphodynamik betrachtet. Zusätzlich werden die Klimafolgen für ausgewählte Nutzungsarten beispielhaft beschrieben.

Forschungsarbeiten zu den Auswirkungen des Klimawandels in den Ästuaren haben v.a. im Rahmen von BMBF-geförderten Vorhaben an der Unterweser stattgefunden. Dabei ist ein Klimaszenario zugrunde gelegt worden, das auch auf der Grundlage des aktuellen Forschungsstandes weitgehend plausibel ist und für 2050 eine mögliche stärkere Variante beschreibt („KLIMU-Szenario“ s. Kap. 3.4). Der größere Teil der in den folgenden Kapiteln aufgeführten Aussagen zu möglichen Auswirkungen basiert auf diesem Szenario und ist für die Unterweser entstanden. Allerdings lassen sich die meisten Aussagen zumindest in der Tendenz auf die benachbarten Ästuarie übertragen.

5.1 Auswirkungen auf Arten und Ökosysteme: Vorbemerkungen

Aktuelle Forschungsprojekte und Publikationen (s. Kapitel 4) verdeutlichen das Gefährdungspotenzial, dem Arten und Lebensräume durch den sich abzeichnenden Klimawandel in den nächsten Dekaden ausgesetzt sein werden. So gibt es nach IPCC (2007b) eine mittlere Sicherheit dafür, dass global 20 bis 30% der Pflanzen und Tierarten von einem wachsenden Risiko des Aussterbens bedroht sind, wenn die globale Durchschnittstemperatur um 2 bis 3°C gegenüber vorindustriellen Werten ansteigt. Eine Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur um 1,5 bis 2,5°C gegenüber vorindustriellen Werten birgt signifikante Risiken für viele einzigartige und bedrohte Ökosysteme, einschließlich vieler Zentren der Biodiversität (sog. „biodiversity hotspots“). Artenverluste infolge des Klimawandels werden danach in naher Zukunft bedeutender sein als solche durch direkte Lebensraumverluste, wie dies heute der Fall ist. Es ist wahrscheinlich, dass diese Szenarien auch für Deutschland gelten und mit einem Artenverlust im Bereich von 5 bis 30% zu rechnen ist (BfN 2004, KORN & EPPL 2006).

Das bisher vorliegende Wissen zur Wirkung von Temperatur-, CO₂- oder Feuchteveränderungen auf die Flora und Fauna Deutschland betrifft nur in wenigen Fällen Arten, die heute als schutzbedürftig eingestuft werden. Im Falle von Pflanzen bezieht sich dieses Wissen überwiegend auf Nutzpflanzen oder häufige Wildkräuter. Ebenso liegen nur für wenige schutzbedürftige Tierarten (hier vor allem für Vögel) art- und populationsökologische Daten zur Klimasensitivität vor. Weder auf Art- noch auf Lebensraumniveau ist bisher systematisch die Wirkung von z.B. Temperaturerhöhung und Reduktion des Sommerniederschlags auf die Flora und Fauna Deutschlands und deren Häufigkeit und Verbreitung abgeschätzt worden (LEUSCHNER & SCHIPKA 2004).

Die entscheidende Frage ist aber, wie viel Klimawandel die Natur verträgt. Klimawandel gehört zur Erdgeschichte: Das Klima auf der Erde hat sich in den letzten Jahrmillionen immer wieder geändert und die Natur hat sich angepasst. Doch diese bisherigen Veränderungen sind mit dem heutigen Klimawandel nicht vergleichbar, da z.B. die durchschnittliche Temperatur außerordentlich schnell und stark steigt. Tiere, Pflanzen und Lebensgemeinschaften, die sich nicht schnell genug anpassen können, sind deshalb gefährdet. Hinzu kommt, dass die Natur schon heute durch intensive menschliche Nutzung stark beansprucht und vorgeschädigt ist; viele Ökosysteme sind labil und können zusätzliche Veränderungen nicht mehr verkraften. (BfN 2004, KORN & EPPL 2006)

Die potenziellen Verbreitungsgebiete von Pflanzen und Tieren werden durch klimatische Faktoren wie Temperatur und Niederschlag begrenzt. Zusätzlich sind die realisierten Verbreitungsgebiete u.a. aufgrund von Landnutzungswandel, Nährstoffangeboten und Konkurrenz eingeschränkt. Mögliche Auswirkungen des Klimawandels sind Veränderungen im zeitlichen Gefüge von Ökosystemen, Veränderungen der Verbreitungsgebiete und Arealverschiebungen von Arten, Ausbreitungsbewegungen von Tieren und Pflanzen in Richtung Nordosten, Veränderung der Artenzusammensetzung und -vielfalt an einem Standort sowie erhöhte Wahrscheinlichkeit von (lokalen) Aussterbeprozessen durch Extremereignisse, wobei diese umso größer sind, je kleiner die einer Population zur Verfügung stehende Fläche ist. In den letzten Jahren wurden bei vielen Pflanzen Ausbreitungsbewegungen in Richtung Nordosten – parallel mit zunehmenden Temperaturen – beobachtet, die auf den Klimawandel zurückgeführt werden können (WALTHER et al. 2002).

Insbesondere die 1990er Jahre waren das wärmste Jahrzehnt seit Beginn der meteorologischen Aufzeichnungen und blieben nicht ohne Auswirkungen auf die Lebewelt dieses Planeten. Sowohl in zeitlicher (Phänologie) als auch in räumlicher Dimension können bei Vorhandensein einer ausreichenden Datenlage Reaktionen von Pflanzen- und Tierarten festgestellt werden. Augenscheinlich für den Betrachter sind zunächst Veränderungen der Verbreitungsmuster von Arten an der Kältengrenze (montane oder polwärtige Verbreitungsgrenze). Die Arealausdehnung von Arten kann mit Angaben zu ihrer bioklimatischen Leistungsgrenze in Beziehung gesetzt werden. Auf dieser Grundlage können dann Szenarien von Klima- oder Umweltparametern genutzt werden, um Prognosen der Auswirkungen des Klimawandels auf die Flora zu treffen (z.B. unter: <http://www.ufz.de/index.php?de=6370>).

Arealverschiebungen von Pflanzen und Pflanzengemeinschaften sind ein Indiz für den klimatischen Wandel, die nicht allein ökologische sondern auch sozioökonomische und naturschutzrelevante Fragen vor dem Hintergrund des Schutzes der Biodiversität aufwerfen: Die Klimafolgen haben auch Konsequenzen für die Landnutzung und die Inanspruchnahme von benötigten Ökosystemdienstleistungen sowie den Naturschutz (s.u.).

5.2 Wasserkörper

5.2.1 Hydrografie und Gewässergüte

Der Anstieg des Meeresspiegels und des Tidehubs werden sich in den ausgebauten Ästuaren bis zu den Tidegrenzen fortsetzen und die Hydrografie deutlich verändern. Für das KLIMU-Szenario wurde unter Vernachlässigung morphodynamischer Anpassungsprozesse ermittelt, dass das sich das Tidehochwasser für die Unterweser am Tidewehr Hemelingen um +64 cm und in der Außenweser am Pegel Robbensüdsteert um +70 cm erhöht). Dieses führt zu einer Vergrößerung des Wasservolumens unterhalb des Niedrigwassers und zwischen Niedrigwasser und Hochwasser (für die Weser um 22%). Da sich Hoch- und Niedrigwasser nicht gleichstark verändern, kommt es zu einem weiteren Anstieg des Tidehubs (für die Weser um 26 bis 30 cm). Für die Unterweser zwischen dem Wehr in Hemelingen und Bremerhaven (UW-km 70) nehmen das unter Niedrigwasser liegenden Wasservolumen um etwa 6 % und das Gezeitenprisma um etwa 16 % zu (GRABEMANN et al. 2005). Diese Veränderungen sind gleichsinnig denen, die durch die bisherigen Ausbauten des Weserästuars und der anderen Ästuarverursacht worden sind; mögliche weitere Ausbauten werden diese Entwicklung tendenziell verstärken.

Eine klimawandelbedingte **Temperaturerhöhung** führt zu erhöhten Wassertemperaturen, wobei die Temperaturen des Wassers mit leichter Verzögerung den Lufttemperaturen folgen. Die in den Szenarien projizierte, jahreszeitlich variierende Temperaturerhöhung zeigt sich dabei im gesamten Längsprofil der Ästuar. In der Unterweser führt z.B. das KLIMU-Szenario dazu, dass das in der Regel im Februar auftretende winterliche Temperaturminimum von im Mittel ca. 4,5°C zukünftig bei >7°C liegen wird und Frühjahrstemperaturen von >11°C schon im März und damit mehr als ein Monat früher erreicht werden. Im Sommer (August) steigt die Wassertemperatur von <23°C auf >25°C. Die Temperaturveränderungen erfolgen für die inneren und äußeren Abschnitte der Ästuar in ähnlicher Weise. Die prozentualen Temperaturveränderungen sind in den Wintermonaten am Größten und im Sommer am Kleinsten.

Im Rahmen des Klimawandels werden sich auch die **Oberwasserabflüsse** verändern, die eine Reihe von Prozessen in den inneren Ästuaren steuern. Während sich im Winterhalbjahr der Oberwasserabfluss z.T. deutlich vergrößert, führt der Klimawandel während des Sommerhalbjahres zu etwas niedrigeren Abflüssen gegenüber heute (KLIMU-Szenario; s. Kapitel 0). Allerdings können Starkniederschläge wie z.B. im Jahr 2002 auch im Sommer einzelne extreme Abflussspitzen verursachen. Die Erhöhung der winterlichen Abflüsse kann demnach an einzelnen Tagen bis zu >30% betragen, während die Reduzierung der sommerlichen Abflüsse mit bis zu 5% im Sommer und bis etwa 10% im Herbst zum einen in der Höhe und zum anderen auch in der zeitlichen Dauer deutlich geringer ist (vgl. MANI-AK et al. 2005). Mit der im Frühjahr zu erwartenden Erhöhung der Abflüsse ist auch eine geringe Erhöhung der max. Strömungsgeschwindigkeit verbunden. Für die Elbe mit ihrem kontinental geprägten Einzugsgebiet ist eine stärkere Reduzierung der sommerlichen Abflüsse als für die anderen Ästuar anzunehmen.

Durch die aufgrund der Klimawirkungen veränderte Tidedynamik verlängert sich die **Verweilzeit** der Wasserkörper in den Ästuaren in Abhängigkeit vom Oberwasserabfluss (für die Weser bei einem vergleichsweise geringen Oberwasserabfluss von 120 m³/s für das KLIMU-Szenario von 30 auf 40 Tage; GRABEMANN et al. 2005). Die möglicherweise im Sommer vermehrt auftretenden verringerten Oberwasserabflüsse verlängern die Verweilzeit, während die im Frühjahr bzw. im Winter erhöhten Oberwasserabflüsse die Verweilzeit verkürzen können.

Die flussseitigen **Brackwassergrenzen** in den Ästuaren können sich durch klimawandelbedingte hydrologische Veränderungen stromauf verschieben. Im Weserästuar wird z.B. bei einem definierten Oberwasser die Brackwassergrenze (hier definiert mit einem Salzgehalt von 2 psu) im KLIMU-Szenario im Mittel um etwa 2 km weiter stromauf verschoben und variiert dann tide- und oberwasserabhängig zwischen Unterweserkilometer (UW-km) 32 und 64 (GRABEMANN et al. 2005). Im Vergleich zu heute erreicht die Brackwasserzone im Klimaszenario die flussseitige Grenze um UW-km 32 etwa vier Mal häufiger. Parallel zur Verlagerung der Brackwassergrenze wird sich auch die ästuartypische Trübungszone entsprechend weiter stromauf verschieben (SCHOLLE & SCHUCHARDT 2000). Die Verschiebung der Salinitätszonen in den Ästuaren und die Verlagerung der oberen Brackwassergrenze flussaufwärts sind gleichsinnig denen, die durch die bisherigen Ausbauten der Ästuar verursacht worden sind; mögliche weitere Ausbauten werden diese Entwicklung tendenziell verstärken und u.a. die potenziellen Standorte für Tideauwäldern reduzieren.

Die hydrologischen Änderungen sowie die angenommene Temperaturerhöhung haben Auswirkungen auf die **Gewässergüte**. Die erhöhten Temperaturen intensivieren den Abbau eingeleiteter Abwässer und damit die Sauerstoffzehrung. In Kombination mit längeren Verweilzeiten führt dieses zu einer Reduzierung der Sauerstoffgehalte und zu einer Verlängerung der Dauer des Auftretens niedrigerer Sauerstoffwerte insbesondere in den inneren Ästuaren während der Sommermonate. In der Unterweser können sich im KLIMU-Szenario dadurch die örtlichen Sauerstoffdefizite um 1-2 mg/l besonders in warmen Sommern verstärken (GRABEMANN et al. 2005). Partiiell wird dies allerdings vermutlich durch die intensivierte planktische Primärproduktion kompensiert (OSTERKAMP & SCHIRMER 2000). Die angenommene winterliche Oberwassererhöhung sorgt dagegen für eine stärkere Verdünnung der eingeleiteten Abwässer. Damit wird insgesamt die jahreszeitlich unterschiedliche Ausprägung von Sauerstoff- und Nährstoffmustern im Längsprofil verstärkt. So ist z.B. im Weserästuar das Sauerstoffminimum klimawandelbedingt etwas stärker ausgeprägt und der in der Unterweser vorkommende Ammoniumpeak wird bei gleich bleibenden Ammoniumeinleitungen kleiner. Die Ammoniumfrachten Richtung Nordsee nehmen ab, die Nitratfrachten etwas zu (GRABEMANN et al. 2005). In den Ästuaren von Ems und Elbe, in denen bereits heute starke sommerliche Sauerstoffmangelsituationen ausgeprägt sind, werden sich diese Defizite

unter Klimawandelbedingungen weiter verschärfen; in der Elbe mit ihrem kontinental geprägten Einzugsgebiet wird die stärkere sommerliche Reduzierung der Oberwässer die vorhandenen Probleme vermehrt verschärfen. Hier ist auch der Zusammenhang mit möglicher zukünftiger vermehrter Einleitung von Abwärme zu berücksichtigen, die ebenfalls zu einer Verstärkung der Defizite beitragen kann.

Die zukünftige Gewässergüte der Ästuar hängt also neben den klimawandelbedingten Änderungen auch von der Entwicklung der zukünftigen Nutzungsintensität ab. Eine Abschätzung der weiteren Güteentwicklung muss daher insbesondere morphologische Szenarien (Aus- oder Rückbau) und Abwasser- und Abwärmeeinleitungsszenarien berücksichtigen. GRABEMANN et al. (2005) haben für die Unterweser einen deutlichen Zusammenhang zwischen diesen Faktoren gezeigt. So haben die Ausbauten der Ästuar erheblich zu den heutigen problematischen hydraulischen Verhältnissen beigetragen. Für eine Betrachtung der Situation im Jahre 2050 muss damit gerechnet werden, dass sich diese Tendenz fortsetzt und die Entwicklung der vergangenen 100 Jahre, verstärkt durch den Klimawandel, anhält.

Alle beschriebenen hydrografischen und hydrologischen Klimafolgen wirken auf die Besiedlung der Ästuarlebensräume und die Nutzungsmöglichkeiten des Gewässers. So werden z.B. die heute vorgegebenen Grenztemperaturen für die Einleitung von Abwärme, die aus der Kühlung von thermischen Kraftwerken resultiert, zukünftig häufiger überschritten (GRABEMANN et al. 2005, s.u.).

5.2.2 Plankton

Das **Zooplankton** der inneren Ästuar ist durch eine fluvatile und eine marine Komponente sowie wenige „endemische“ Arten gekennzeichnet. Von besonderer Bedeutung ist hier der Copepod *Eurytemora affinis* (HAESLOOP & SCHUCHARDT 1995), der eine wichtige Nahrungskomponente für Fischlarven bzw. Jungfische verschiedener Arten bildet (THIEL et al. 1996). Für steigende Wassertemperaturen wird für das Zooplankton u.a. von WETZEL (1983) und REYNOLDS (1984) vermutet, dass die Abundanz aufgrund des beschleunigten Stoffwechsels, der erhöhten Wachstumsrate und einer Zunahme der Anzahl der Generationen pro Jahr zunimmt. Allerdings beschreiben ARNDT (1985) und RING (1987), dass die Dichte des Copepoden *E. affinis* bei saisonal erhöhten Wassertemperaturen auch zurückgehen kann. Aufgrund der hohen Temperaturentoleranz des ästuarinen Zooplanktons geht WETJEN

(1998) nicht von einer wesentlichen Veränderung des vorhandenen Artenspektrums des Zooplanktons aufgrund einer Klimaänderung aus. Durch die mögliche Abnahme von Flachwasserzonen als wichtigen Reproduktionsorten von Eurytemora (s. o.) sind Wirkungen aber auch nicht auszuschließen.

Das **Phytoplankton** als ein wesentlicher Bestandteil des Nahrungsnetzes wird vermutlich mit erhöhten Dichten auf eine Erwärmung reagieren (WETJEN 1998). Eine Abnahme der Dichten des Phytoplanktons hält WETJEN (1998) trotz eines steigenden Fraßdrucks nicht für wahrscheinlich, da diese Verluste durch die Verlängerung der Zeitspanne aktiver Produktion (früherer Beginn, spätere Abnahme) und den erhöhten Stoffwechsel überkompensiert werden. Für das Phytoplankton kann eine Veränderung in der Gemeinschaftsstruktur mit der klimatischen Veränderung einhergehen. So wurde eine Verschiebung in der Artenzusammensetzung mit zunehmender Dominanz von Grünalgen bei gleichzeitigem Rückgang von Kieselalgen mit Anstieg der Temperatur beobachtet (WETJEN 1998). Ob auch die heute dominante endemische Art *Actinocyclus normanni*, die in Eider, Elbe, Weser und Ems von Bedeutung (SCHUCHARDT & HOLFELD 1991) an die Lichtlimitierung im Ästuar angepasst ist, von Grünalgen verdrängt wird, ist unsicher (WETJEN 1998).

5.2.3 Makrozoobenthos

Das Makrozoobenthos der inneren Ästuarie ist durch die in der Vergangenheit und Gegenwart stattfindenden anthropogenen Maßnahmen heute vergleichsweise artenarm. In den limnischen Abschnitten dominieren neben den Crustacea (*Gammarus tigrinus*: *G. zaddachi*, *Neomysis integer*) und der Zebrauschel *Dreissena polymorpha* v.a. verschiedene Oligochaeta und lokal auch Chironomidae. Das Artenspektrum der oligohalinen Abschnitte wird durch verschiedene Brackwasserarten wie z.B. verschiedene Polychaeta (v.a. *Marenzelleria* spp.) oder Crustacea wie der Seepocke *Balanus improvisus* erweitert. Allerdings fallen in diesem Bereich schon einige limnische Arten (*D. polymorpha*) aus. Im mesohalinen Abschnitt erfolgt eine weitere Zunahme des Artenspektrums, da Brackwasserarten (v.a. Polychaeta) bzw. euryhaline Arten vermehrt auftreten. Die Leitarten in diesem Abschnitt rekrutieren sich v.a. aus den Taxongruppen der Crustacea und Polychaeta (vgl. BFG 1998).

Im Zuge einer Klimaänderung nimmt der Flächenanteil an für Benthosorganismen geeigneten Lebensräumen,

Wattflächen und strömungsberuhigten Seitenarmen mit Tideröhrichten voraussichtlich zu; allerdings nehmen die wichtigen Flachwasserzonen voraussichtlich ab. Dies wird zusammen mit den erhöhten Wassertemperaturen, bei gleichzeitigem Anstieg des Nahrungsangebotes, vermutlich insgesamt erhöhte Abundanzen der Benthosorganismen zur Folge haben. Insbesondere das Endobenthos, z.B. Oligochaeten im limnischen sowie Polychaeten im mesohalinen Abschnitt werden gefördert (MEYERDIRKS 2000).

Die erhöhte Wassertemperatur wird die Produktion/Jahr der Benthosorganismen zum einen verlängern und zum anderen vermutlich insgesamt zu höheren Abundanzen führen, da sich das Nahrungsangebot durch Eintrag organischer Stoffe in Folge der erwarteten Zunahme der Tideröhrichte und der Zunahme des Phytoplanktons (s. Kapitel 5.2.2) erhöhen wird. Dieses ist v.a. für die Habitattypen Flachwasserzonen bzw. Wattflächen anzunehmen, durch deren räumlichen Zuwachs insbesondere das Endobenthos z.B. Oligochaeta im limnischen und sowie Polychaeta im mesohalinen Abschnitt gefördert wird. Die Ausbreitung der Watten/Röhrichtwatten lässt weiterhin vermuten, dass auch Mollusca (verschiedene Schnecken) im Vergleich zur heutigen Situation durch die Erweiterung von (Teil)Lebensräumen und das erhöhte Nahrungsangebot häufiger und in größerer Abundanz auftreten. Dies ist insbesondere für Brackwasserarten wie z.B. *Hydrobia ulvae* anzunehmen, die heute eulitorale Wattenflächen u.a. im mesohalinen Bereich in z.T. hohen Dichten besiedelt (BIOCONSULT 1996).

Durch die Verlagerung der Brackwasserzone nach stromauf verkleinert sich allerdings der Lebensraum der limnischen Ästuararten, wobei sich dieses aber aufgrund der vor dem Hintergrund der Zeitskala von Jahrzehnten eher kleinräumigen Verlagerung und der Salztoleranz der meisten heute im limnischen Abschnitt dominierenden Arten vermutlich nicht sehr deutlich auswirken wird. Es ist also nicht zu erwarten, dass limnische Arten insgesamt zurückgedrängt werden. Die von verschiedenen Autoren (z.B. PGÖK 1997) prognostizierte vermehrte stromaufwärts gerichtete Ausbreitung euryhaliner und Brackwasserarten sowie mariner Formen wird vermutlich nur lokal die vorhandene Zönose graduell verändern, da die eintretenden Veränderungen hinsichtlich der Salinität nicht so ausgeprägt sein werden, dass das Zoobenthos mit einer deutlichen strukturellen Veränderung reagiert (SCHOLLE & SCHUCHARDT 2000).

Eine Veränderung der Artengemeinschaft als Folge der Erwärmung ist dagegen zu vermuten. Der eingewanderte und heute quantitativ in allen Ästuare bedeutsame *Polychaet Marenzelleria viridis*, dessen ursprüngliches Verbreitungsgebiet die Ästuare der nordamerikanischen Küste und Nordwest-Alaska ist (NEHRING & LEUCHS 1999) wird als eine eher kälteliebende Art klassifiziert. Eine Temperaturerhöhung könnte zum Rückzug der Art, die eine wichtige Nahrungskomponente u.a. für die Fischfauna darstellt, führen (SCHOLLE & SCHUCHARDT 2000). Für andere die Ästuare heute besiedelnde Taxa ist ein Verschwinden nicht anzunehmen, da die meisten Arten hohe Temperaturtoleranzen aufweisen. Allerdings ist zu erwarten, dass weitere wärmeadaptierte südliche Arten einwandern oder vorhandene eurytherme Arten bezüglich Ausbreitung und Abundanz gefördert werden. So geht DE VOOYS (1990) für das westliche niederländische Wattenmeer davon aus, dass sich bei einem Anstieg der Wassertemperatur um 2°C eine Zoobenthosfauna einstellen würde, wie sie heute im französischen Seine-Ästuar lebt, so dass durch die Zuwanderung südlicher Arten ein Anstieg der Artenzahl um 20-30% vermutet wird (SCHOLLE & SCHUCHARDT 2000).

Ob und wie in den Ästuaren die aktuelle Synchronisation von Lebenszyklen, die u.a. für Räuber-Beute Beziehungen von Bedeutung sind durch die klimabedingte Verschiebung u.a. der Entwicklungszeiten der benthischen Arten verändert wird und wie die konkreten Konsequenzen aussehen, ist bisher kaum beforscht worden. Die Orientierung an anderen Ästuaren, die bereits heute ein Klima ähnlich dem auch in Norddeutschland zu erwartenden haben, kann hier Orientierung geben.

5.2.4 Fische

Auch die Fischfauna der Ästuare ist durch fluviatile, marine und endemische Artengruppen charakterisiert. Während die möglichen Folgen des Klimawandels für die Fischfauna der Nordsee (und damit eingeschränkt für die marine Ästuar-Komponente) in den letzten Jahren im Rahmen einiger Projekte beforscht worden ist, fehlen Arbeiten zu den anderen Komponenten noch weitgehend.

Zur klimawandelabhängigen Entwicklung der Fischfauna der Nordsee sind Angaben z.B. bei VON WESTERNHAGEN (1998), beim International Council for the Exploration of the Sea (ICES: <http://www.ices.dk>) und dem EU-Projekt RECLAIM (Resolving Climatic Impacts on fish stocks: <http://www.climateandfish.eu/>) zu finden. Für die Nordsee sind Analysen vom ICES

insbesondere hinsichtlich der Kabeljaubestände im Klimawandel durchgeführt und zusammengefasst. Hier finden sich weiterhin Angaben zur Populationsdynamik und zum Rekrutierungserfolg im Zusammenhang mit der Nahrungsverfügbarkeit von z.B. Hering und Sandaal. Weitere Angaben können über die Bundesforschungsanstalt für Fischerei (BFAFi: <http://www.bfa-fish.de>) bezogen werden. So wird z.B. vom Institut für Seefischerei ein Monitoring physikalischer Parameter zur Abschätzung von klimatischen Einflüssen auf die Fischbestände in den Fischereigebieten des Nordatlantik und der Nordsee durchgeführt. Ergebnis ist, dass im Zuge des globalen Klimawandels sich Verbreitungsgebiete und Populationsdynamik der nordatlantischen Fischbestände und damit ihre Nutzbarkeit für die Fischerei bereits derzeit ändern und weiter ändern werden. Langzeitmessreihen hydrographischer Parameter zeigen deutliche Zusammenhänge mit der Entwicklung von Fischbeständen, wobei das klimatische Signal in der Nordsee nur in den südlichen Bereichen feststellbar ist. So ist z.B. nach EHRICH & STEIN (2004) die zunehmende Präsenz südlicher Arten in der Deutschen Bucht nur zum Teil eine Folge der steigenden Wassertemperaturen im Sommer. Hier sind es v.a. die milden Winter, die es Arten ermöglichen, in der Deutschen Bucht zu überwintern (z.B. der Rote Knurrhahn). Für den Nordseekabeljau sind dagegen infolge der warmen Winter die klimatischen Bedingungen schlechter geworden. Geringer Nachwuchs und intensive fischereiliche Nutzung haben die Bestandsstärke dieser kommerziell wichtigen Art auf ein historisches Minimum gesenkt und bisher hat keine kommerziell interessante Fischart aus südlichen Gebieten diese Lücke auffüllen können.

Die Zusammenhänge zwischen Fischbeständen, Fischereimethoden, ökologischen Auswirkungen, Meeresschutzgebieten, politischen Schutzstrategien und Klimawandel wurden im Jahr 2007 auf den Hamburger Gesprächen für Naturschutz mit dem Titel „Fisch ohne Schutz – ein Symposium über die Möglichkeiten einer nachhaltigen Bewirtschaftung der Meere“ der Michael Otto Stiftung diskutiert (s. unter <http://www.michaelottostiftung.de>). Die Autoren kommen insgesamt zur Erkenntnis, dass Auswirkungen von Klimaveränderungen selbstverständlich auf die Verteilung, das Wachstum und das Überleben von Fischen auf unterschiedlichen Lebensstadien und in den verschiedensten geographischen Regionen nachzuweisen sind. Allerdings stellen sie fest, dass die Art der Zusammenhänge zwischen Klimawandel und Fischbestände, die entscheidend von der Bestandsnutzung überlagert sind, bisher noch

nicht zufrieden stellend beantwortet werden können. Es können bei der Bewertung vorliegender Untersuchungen zur Klimawirkung auf Fischbestände und Fischerei folgende Schlüsse gezogen werden:

- Klimaveränderungen haben nachweislich Fischbestände und Fischerei beeinflusst.
- Temperaturveränderungen können sowohl zur Zunahme als auch zur Abnahme von Fischbeständen und Fischerei führen.
- Klimaveränderungen können möglicherweise über die Veränderungen hydrografischer Bedingungen und die damit verbundenen produktionsbiologischen Prozesse die Rekrutierungsvorgänge beeinflussen.
- Der zukünftige Klimawandel führt zu Verschiebungen der Verbreitungsgrenzen nach Norden und könnte hier eine Erweiterung des Artenspektrums verursachen.

Die möglichen direkten (v.a. Temperatur) sowie indirekten Wirkungen (v.a. Hydrodynamik und Habitatausstattung) eines Klimaszenarios auf die Fischfauna der Unterweser anhand konkreter abiotischer und biotischer Rahmenbedingungen wurden für das Projekt KLIMU von SCHOLLE & SCHUCHARDT (2000) betrachtet und diskutiert. Erkenntnis ist, dass es keine monokausalen Beziehungen z.B. zwischen erhöhter Wassertemperatur und einer Reaktion der Fischfauna gibt. Andere für die Fische wichtige biotische Rahmenbedingungen wie z.B. die Situation der Plankton- und Makrozoobenthosgemeinschaften als wichtige Nahrungskomponenten unterliegen ihrerseits wiederum klimatisch bedingten Einflüssen, zu deren Reaktionen nur sehr grobe Abschätzungen vorliegen. Für eine vertiefte Analyse fehlt zum einen die Datenbasis, zum anderen ist das Verhalten ökologischer Systeme als Folge veränderter klimatischer Rahmenbedingungen aufgrund der Komplexität der bestehenden Wechselwirkungen und der immanenten Veränderungsdynamik v.a. von ästuarinen Lebensräumen insgesamt nur eingeschränkt vorhersagbar (vgl. JESSEL 2000).

Trotzdem ist nach SCHOLLE & SCHUCHARDT (2000) plausibel, dass die klimabedingt veränderten ästuarinen Rahmenbedingungen (s. Kapitel 3.3) Einfluss auf die heutige Struktur der Fischfauna haben werden. Diese Veränderungen wirken zum einen auf der Gemeinschaftsebene durch:

- Einwanderung bzw. Förderung neuer Arten,
- Veränderung saisonaler Zyklen (Wanderzeiten, Reproduktionzeiten, Winterrückzug),

- Veränderungen der Aufwuchsbedingungen,
- Verschiebungen in der Arten- und Dominanzstruktur der Fischfauna und
- Beeinflussung bestehender Nahrungsbeziehungen (u.a. Räuber-Beute-Beziehungen).

Zum anderen sind Wirkungen auf Ebene der Art bzw. Individuums zu erwarten, wie z.B.

- auf die larvale Entwicklungszeit,
- auf den Rekrutierungserfolg und
- auf die Kondition oder das Wachstum.

Beide Ebenen, die durch die klimabedingt veränderten Rahmenbedingungen im Ästuar beeinflusst werden, sind miteinander verknüpft. So hat beispielsweise eine verkürzte Larvalzeit oder die bessere Kondition der Individuen einer Art wieder Rückwirkung auf die Struktur der Fischfauna insgesamt (SCHOLLE & SCHUCHARDT 2000). Da die Ästuarie durch den vorhandenen Salinitätsgradienten unterschiedliche Fischgemeinschaften aufweist ist es wahrscheinlich, dass mögliche Auswirkungen auf Fischarten sich in den limnisch/oligohalinen und den mesohalinen Abschnitten unterscheiden. Die aus dem Klimaszenario resultierenden abiotischen und biotischen Veränderungen machen insgesamt folgende Zusammenhänge für die ästuarine Fischfauna plausibel:

- Es sind z.T. deutliche Veränderungen im Artenspektrum zu erwarten, die durch Ausbreitung südlicher und Verschwinden von kälteliebenden Arten hervorgerufen werden. Dieses trifft für den limnisch/oligohalinen Abschnitt nur eingeschränkt zu; deutlicher werden sich die Veränderungen im äußeren Ästuar durch die zu erwartende Ausbreitung südlicher mariner Fischarten zeigen. Die Veränderungen werden vermutlich insgesamt zu einer Erhöhung der Artenzahl führen, da wahrscheinlich mehr südliche Arten auftreten, als heute vorhandene verschwinden werden.
- Es sind Veränderungen in der Dominanzstruktur der Fischgemeinschaften zu erwarten. Diese sind im limnisch/oligohalinen Abschnitt vermutlich weniger ausgeprägt; im mesohalinen Abschnitt sind zumindest saisonal deutlichere Veränderungen zu vermuten, da die südlichen marinen Arten nicht nur in ihrer Stetigkeit, sondern auch in ihrer Abundanz zunehmen.
- Es sind deutliche Veränderungen der saisonalen Zyklen zu erwarten, v.a. durch die Verschiebung der Laichzeiten ins frühere Frühjahr und ein dadurch

früheres Larvenaufkommen. Dieses trifft in erster Linie für den limnisch/oligohalinen und wohl nur eingeschränkt auf den mesohalinen Abschnitt zu, da zum einen die ästuarinen Standfische z.T. Winterlaicher sind und zum anderen der mesohaline Bereich wohl von nur wenigen Arten zur Reproduktion aufgesucht wird.

- Es wird zu Veränderungen der Aufwuchsbedingungen von Fischlarven und Jungfischen kommen. Die bei Berücksichtigung morphodynamischer Anpassungsprozesse zu erwartende Verkleinerung der für die Fische wichtigen Flachwasserzonen und das durch die höheren Wassertemperaturen beschleunigte Larvenwachstum verändern die Aufwuchsbedingungen und damit die Rekrutierung gegenläufig; die Konsequenzen sind derzeit nicht abzuschätzen.
- Es ist eine Veränderung der Produktivität (Abundanz, Biomasse) der Fischfauna insgesamt durch verbesserte Nahrungsressourcen zu erwarten. Diese Verbesserung wird durch eine vermutlich temperaturinduzierte höhere Produktivität der Plankton- und Zoobenthosgemeinschaften (z.B. erhöhte Primärproduktion, verlängerte Reproduktionszeiten) sowie durch eine Zunahme bedeutsamer Lebensräume hervorgerufen.

Eine quantitative Einschätzung des Ausmaßes dieser klimabedingten Wirkungen auf die Fischfauna ist allerdings nur sehr eingeschränkt möglich. Es ist aber wahrscheinlich, dass bestimmte fischfaunistische Aspekte u.a. auch in Abhängigkeit der Salinitätszone des Ästuars deutlichere Veränderungen zeigen als andere. Insgesamt wird aber die klimabedingte Veränderung der heutigen Gemeinschaftsstruktur der Fischfauna vermutlich nicht das Ausmaß erreichen, wie sie durch die anthropogenen Veränderungen der Ästuarie in den vergangenen Jahrzehnten (vgl. SCHUCHARDT et al. 1985) und in den vergangenen Jahren im inneren Emsästuar (LANGE 2006) hervorgerufen wurde. Es ist allerdings davon auszugehen, dass die bereits derzeit besonders in der Unterems die Entwicklung der Fischfauna beeinträchtigenden Sauerstoffmangelsituationen sich durch den Klimawandel weiter verschärfen werden.

5.3 Wattflächen und Flachwasserzonen

Innere Ästuarie

Ein Anstieg des mittleren Meeresspiegels führt nicht nur zu erhöhten Sturmflutwasserständen, sondern wirkt sich auch auf die Überflutungsdauer und -höhe der Wattflächen und Flachwasserzonen aus. Die Veränderung in der Verteilung und Ausdehnung dieser

ästuartypischen Lebensräume hängt dabei nicht nur von Ausmaß und Geschwindigkeit des Anstiegs ab, sondern auch von den morphodynamischen Anpassungsprozessen. Insbesondere sind Flachwasserzonen (Bereich zwischen SKN und SKN -2 m, nach CLAUS et al. 1994), vegetationslose Wattflächen sowie die Tideröhrichte von hoher Bedeutung, da diese Lebensraumtypen wesentliche ökologische Funktionen z.B. für die ästuarine Fischfauna übernehmen (SCHOLLE & SCHUCHARDT 2000, s. Kapitel 5.2.4). Alle drei Habitattypen werden ihre Ausdehnung voraussichtlich verändern. Dabei gehen die folgenden Abschätzungen für die Unterweser im KLIMU-Szenario davon aus, dass ein Mitwachsen nicht erfolgt; sie bilden also den worst case ab (in der Praxis werden die Veränderungen geringer sein, da ein gewisses Mitwachsen sicher stattfindet; s.u.): Die Flachwasserzonen, die in der Vergangenheit ausbaubedingt stark zurückgegangen sind (u.a. OSTERKAMP 2000 für das Weserästuar, HERRLING & NIEMEYER (2007) für das Emsästuar), vergrößern sich in Folge der klimabedingten Wasserstandsänderungen. Der größte Flächenzuwachs ist bei den Wattflächen insbesondere des Schlickwatts im Brackwasserbereich zu erwarten. Die Zunahme von eulitoralischen Flächen führt v.a. zu einer Zunahme der Tideröhrichte unter MThw; die Fläche des vegetationslosen Watts erfährt nur einen geringeren Zuwachs.

Die Veränderungen wirken sich in Abhängigkeit von der heutigen Situation in den verschiedenen Salinitätszonen der Ästuarie unterschiedlich aus. Die limnischen Abschnitte der Unterweser weisen z.B. mit ca. 16% den im Vergleich zur oligohalinen und mesohalinen Zone geringsten Anteil an Flachwasserzonen auf. Der Zuwachs durch die klimabedingt veränderten Wasserstände beträgt in diesem Ästuarabschnitt ca. 20%. Die im limnischen Abschnitt vorhandenen Wattflächen haben heute einen Anteil von etwa 18% und vergrößern sich im Klimaszenario um 19%, wobei der Anteil von Röhrichtwatt insgesamt vergleichsweise gering ist bzw. bleibt. Die oligohalinen Abschnitte der Unterweser weisen den größten Anteil an Flachwasserzonen auf. Durch die Wasserstandsänderungen vergrößern sich die Flächen um ca. 36% v.a. im Bereich des rechten und linken Wesernebenarms. Eine noch größere Zunahme ist für die Wattflächen zu erwarten. Dieser wird v.a. durch den Typ Röhrichtwatt ausgemacht. In den mesohalinen Abschnitten der Unterweser werden sich die Flachwasserbereiche um ca. 18% vergrößern. Die Wattflächen mit einem Anteil von heute etwa 19% werden sich um ca. 41% erweitern. Auch im mesohalinen Abschnitt wird der größte Anteil durch den Typ

Röhrichtwatt gebildet werden (OSTERKAMP 2000, GRABEMANN et al. 2005, KRAFT et al. 2005). Die für das Weserästuar dargestellten Veränderungen sind prinzipiell aufgrund der ähnlichen Strukturen auch auf die anderen Ästuar übertragbar.

Allerdings schließen die zitierten Ergebnisse die morphologischen Anpassungsprozesse im Sinne einer worst case Betrachtung bewusst aus und überschätzen damit die Wirkungen deutlich. Es gibt bisher keine Forschungsergebnisse zur Anpassungskapazität des unbedeichten Vorlandes der inneren Ästuar durch Mitwachsen; wir halten jedoch die folgenden Annahmen für plausibel: die Seitenräume der Ästuar unterliegen einer starken Verlandungstendenz. Ursache ist die naturräumliche Situation, die ausbaubedingte Konzentration der Stromkraft auf das Fahrwasser und die hohe Verfügbarkeit von Schwebstoff, der in den Seitenbereichen sedimentiert. Wir gehen davon aus, dass in den häufig bzw. sogar bei jeder Tide überfluteten ufernahen Seitenbereichen (Flachwasserzonen; vegetationsloses Watt; Tideröhricht) die Kapazität für ein Mitwachsen mindestens der entspricht, wie sie für Salzwiesen angenommen wird (50 cm / 50 Jahre als breakpoint; s.u.), vermutlich sogar noch deutlich höher liegt. Für alle bei IPCC angegebenen Anstiegsszenarien sowie deutlich darüber hinaus sollte also ein Mitwachsen in den inneren Ästuar möglich sein, so dass großräumige Verschiebungen dieser Lebensräume nicht plausibel sind. Ein weiterer Verlust von Flachwasserzonen als Folge des weiter ansteigenden Tidehubs ist allerdings anzunehmen.

Äußere Ästuar

Im Wattenmeer des Küstenvorfelds und damit auch in den äußeren Ästuar ist als zusätzlicher Faktor bei der Abschätzung der Folgen für die Watten der vermehrte Energieeintrag und v.a. durch die örtlich bereits jetzt begrenzte Verfügbarkeit von Sedimenten die Kapazität zum Mitwachsen reduziert. Deshalb kann für das KLIMU-Szenario die Fläche der periodisch überfluteten Wattflächen (Eulitoral) zumindest örtlich abnehmen (GRABEMANN et al. 2005). Abschätzungen in CPSL (2001; 2005) gehen davon aus, dass bei einem Meeresspiegelanstieg von 50 cm bis zum Jahr 2050 von Verlusten von bis zu 15% der bestehenden Wattflächen im Küstenvorfeld durch verstärkte Erosion und den Anstieg des Meeresspiegels ausgegangen werden muss. Auch FLEMMING (2007) geht davon aus, dass verschiedene Wattbereiche v.a. in Abhängigkeit von Energieeintrag, Sedimentverfügbarkeit und Höhenverhältnissen unterschiedlich reagieren werden und örtlich

auch deutliche Erosion und damit insgesamt ein Verlust von Wattflächen zu erwarten ist (FLEMMING 2007).

5.4 Unbedeichte Vorländer

Äußere Ästuar (Salzwiesen)

Im Bereich der äußeren Ästuar sind die unbedeichten Vorländer überwiegend als Salzwiesen (FFH-LRT) ausgeprägt. Ihre Ausprägung wird v.a. durch den Überflutungsintensitäts- und Höhengradienten vom Deich in Richtung Meer aufgrund unterschiedlicher Überflutungstoleranz strukturiert. Deshalb haben klimawandelbedingte Veränderungen der Überflutungshäufigkeit und -dauer sowie der tideabhängigen Sedimentations- und Erosionsprozesse Konsequenzen für die Ausdehnung, Ausprägung und Zonierung der Salzwiesen-Biototypen (SCHIRMER et al. 2004) in den äußeren Ästuar. In der Vergangenheit konnten die Vorländer dem säkularen Meeresspiegelanstieg überwiegend folgen; örtlich wurde und wird dies allerdings durch z. B. Lahnungsfelder unterstützt. Bereits derzeit ist örtlich die Kantenerosion ein Problem, das an exponierten Salzwiesen zu deutlich Flächenverlusten führt. Unter Klimawandelbedingungen stellt sich zum einen die Frage nach der Kapazität zum Mitwachsen des Vorlandes; zum anderen die Frage nach der weiteren Entwicklung der Kantenerosion (WITTIG et al. 2004).

Das Wachstum der Brack- und Salzmarschen bei einem steigenden Meeresspiegel ist ein schrittweise ablaufender Prozess, der aufgrund der positiven Effekte der Vegetation auf Sedimentation und Erosionsvermeidung zu horizontalem und vertikalem Wachstum der Vorländer führt (ALLEN & PYE 1992, DIJKEMA et al. 1990, JEFFERIES et al. 1979, SCHIRMER et al. 2004). Dabei ist einerseits die Erreichbarkeit der Flächen durch die Gezeiten eine Voraussetzung, andererseits aber auch eine ausreichende Entwässerung.

Der Zusammenhang zwischen Mitwachsvermögen und Meeresspiegelanstieg wurde im Projekt KRIM untersucht (SCHIRMER et al. 2004). Danach zeigt die derzeitige morphodynamische Entwicklung der Vorländer in der Jade-Weser-Region überwiegend eine positive Bilanz. Hier überwiegt die Sedimentation und die Salzwiesen können durch ihr Höhenwachstum den aktuellen Meeresspiegelanstieg kompensieren.

Die potenziellen Folgen eines Meeresspiegelanstiegs von 50 cm bis zum Jahr 2050 für die Salzwiesen ist auch im Forschungsvorhaben „Salzwiesen & Dünen“ untersucht worden (VAGTS et al. 2000). Diese und weitere Untersuchungen (z. B. DIJKEMA 1994;

HUGHES 2004) belegen die Fähigkeit der Salzwiesen, unter geeigneten Bedingungen durch Sedimenteinfang Mitzuwachsen. Eine Zusammenstellung der Mitwachsraten für die Salzwiesen im Küstenvorfeld der Jade-Weser-Region findet sich bei SCHIRMER et al. (2004). Die dort vorgenommene Literaturstudie und retrospektive Datenanalyse digitaler Biototypkartierungen ergab für die Prozesse der Sedimentation (Höhenwachstum) und Erosion (Breitenabnahme) folgende Werte:

- Sedimentation Salzwiese: deichnah 5 bis 10 mm/a (z.B. Harlesiel); seeseitig an der Vorlandkante 11 bis 20 mm/a (z.B. Harlesiel und ostfriesische Festlandküste); 15-20 mm/a (Leybucht); 27 mm/a (Capeler Aussengroden); unter günstigen Bedingungen max.: 20-40 mm/a; (ein Anstieg des mittleren Meeresspiegels um 50 cm in 50 Jahren entspricht 10 mm/a);
- Sedimentation Inselsalzwiese: 1-8 mm/a (ostfriesische Wattenmeerinseln); 5 mm/a (nordfriesische Inseln);
- Sedimentation von Pütten (Kleientnahmestellen im Vorland): 350-500 mm/a (2-2,5 m/5-6 a, z.B. im Wangerland);
- Erosion Salzwiese (v.a. Salzwiesenkante): 3 mm/a (z.B. Neßmerheller); 500 mm/a (wenn keine Lahnungen vorhanden und hohes Watt mit NN +0,9 m vor dem Vorland); 500-1.500 mm/a (wenn Lahnungen mit Kronenhöhe auf MThw vorhanden, aber niedriges Watt vor dem Vorland); 3.000 mm/a (keine Lahnungen und niedriges Watt NN +0,5 m); max. Werte: bis 4.000 mm/a.

Insgesamt kann also festgestellt werden, dass die Fähigkeit der Vorlandbiotope das im Wasser befindliche suspendierte Material zurückzuhalten und so Veränderungen des Meeresspiegels auszugleichen ihnen erlaubt, in einigen Gebieten einen Anstieg des Meeresspiegels von bis zu max. 20 mm pro Jahr (= 1 m / 50 Jahre; überwiegend jedoch weniger) durch Höhenwachstum zu kompensieren. Allerdings kann eine zu hohe Geschwindigkeit des Meeresspiegelanstiegs die natürliche Anpassungsfähigkeit überfordern (SCHIRMER et al. 2004). CPSL (2001) geht davon aus, dass dieser „breakpoint“ an der Küste im Bereich von 50 cm in 50 Jahren Meeresspiegelanstieg liegen könnte. Das starke in KLIMU zugrundegelegte Szenario würde diese Obergrenze jedoch erreichen bzw. überschreiten. Für alle bei IPCC angegebenen Anstiegsszenarien sowie deutlich darüber hinaus sollte aber voraussichtlich ein Mitwachsen möglich sein.

Das gilt jedoch nur unter der Annahme einer ausreichenden Sedimentverfügbarkeit, die voraussichtlich nicht überall gegeben sein wird, so dass das Höhenwachstum dort dann auch deutlich geringer ausfallen könnte (HOFSTEDTE 1994 und 1996; SCHIRMER et al. 2004). Für einen Teil der Vorlandflächen ist also ein verzögertes Mitwachsen bzw. ein Flächenverlust nicht auszuschließen.

Für die Breitenentwicklung ist nach SCHIRMER et al. (2004) allerdings eine andere Entwicklung wahrscheinlich. Schon heute ist ein Großteil der unbefestigten Vorlandkanten an den Küsten bzw. äußeren Ästuaren von Erosion gekennzeichnet und dieser Prozess wird sich voraussichtlich bei einem steigenden Meeresspiegel und dem damit verbundenen höheren Energieeintrag durch Wellen und Strömung verstärken. Ein fortschreitender Verlust von Salzwiesen und Deichvorländern und ein damit verbundenes Verschwinden der speziellen Lebensräume ist plausibel. Insgesamt kann also die zukünftige morphologische Entwicklung der untersuchten Vorländer durch ein „Zusammenquetschen“ vor der feststehenden Hauptdeichlinie charakterisiert werden, da ein natürliches „Ausweichen“ zur Marsch hin nicht mehr möglich ist (FLEMMING 2007). Bei einem beschleunigten Meeresspiegelanstieg und einer Erhöhung der Sturmfluthäufigkeiten sowie -intensitäten ist also zu erwarten, dass ökologisch wertvolle Lebensräume der Wattenmeer-nationalparke wie Salzwiesen in den äußeren Ästuaren verloren gehen können (s. auch CPSL 2005).

Innere Ästuare (Röhrichte, Grünland, Auwald)

Im Bereich der inneren Ästuare sind die unbedeichten Vorländer entweder landwirtschaftlich genutzt oder überwiegend als Röhrichte ausgeprägt, deren Verteilung v.a. durch den Überflutungsintensitäts- und Höhengradienten vom Deich in Richtung MThw-Linie strukturiert wird. Aufgrund einer relativ großen Amplitude gegenüber wechselnden Wasserständen ist ihre Sensitivität gegenüber dem Meeresspiegelanstieg relativ gering. OSTERKAMP et al. (2001) konnten zeigen, dass, bei Vernachlässigung morphodynamischer Anpassungsprozesse, im Vorland der Unterweser bei einem Anstieg des MThw um 70 cm ca. 40% der heutigen oberhalb MThw liegenden tideoffenen Vorlandbereiche unterhalb MThw liegen würden. Durch diese Veränderung ist bei Vernachlässigung der morphodynamischen Anpassungsprozesse mit einem deutlichen Rückgang der landwirtschaftlich nutzbaren Vorlandflächen, der Landröhrichte (über MThw) und potenzieller Auwaldstandorte zu rechnen.

Dieser Abnahme steht eine entsprechende Zunahme der Tideröhrichte (Röhricht unter MThw, auch mit Salzeinfluss) gegenüber.

Da neben der Überflutungsdauer und -höhe die Vegetationsentwicklung im Vorland insbesondere durch die Art und Intensität der Nutzung bestimmen wird, wurden im Projekt KLIMU zwei verschiedene Entwicklungsszenarien für die zukünftige Nutzung der Deichvorländer aufgestellt, um die zukünftige Entwicklung der Vorlandbiotope und die Ausdehnung der Röhrichtflächen abschätzen zu können (s.a. Kapitel 6; ebenfalls unter Vernachlässigung morphodynamischer Anpassungsprozesse). Im Nutzungsszenario 1 wird davon ausgegangen, dass auch künftig alle bewirtschaftbaren Bereiche landwirtschaftlich weiter genutzt werden, während im Nutzungsszenario 2 für die Vegetationsentwicklung eine vollständige Aufgabe der Nutzung angenommen wird (SCHUCHARDT & SCHIRMER 2005).

Aufgrund der Überflutungen und der zunehmenden Bodenfeuchte geht im Nutzungsszenario 1 der Flächenanteil der für Grünlandbewirtschaftung geeigneten Standorte deutlich zurück. Solche bislang oberhalb der MThw-Linie gelegenen Standorte werden rasch von Röhrichten besiedelt und die landwirtschaftlich nutzbaren mesophilen und Intensivgrünländer verringern sich entsprechend. Anstelle dieser Grünländer, auf denen neben typischen Graslandarten wie *Lolium perenne*, *L. multiflorum* und *Poa trivialis* auch Flutrasenarten wie *Agrostis stolonifera* vorkommen, können sich in Zukunft großräumig Röhrichte etablieren (OSTERKAMP et al. 2001). Oberhalb der neuen MThw-Linie gelegenen, ungenutzten oder Bracheflächen können neben Röhrichten auch artenreiche Auengebüsche und langfristig auch Auwaldstrukturen in den oberhalb des Salinitätsgradienten liegenden Flächen entstehen (KRAFT et al. 2005).

Wird die landwirtschaftliche Nutzung der unbedeichten Vorländer in Zukunft aufgegeben und werden auch die Sommerpolder durch Rückbaumaßnahmen wieder regelmäßig überflutet, wie im Nutzungsszenario 2 angenommen, werden die heutigen Grünländer von ausgedehnten Röhrichten und Ruderalfluren mit Stromtalvegetation verdrängt. Für die Unterweser ist dann bis zum Jahr 2050 mit einer Vervierfachung der Ausdehnung ästuartypischer Biotoptypen wie Rieder und Röhrichte zu rechnen (KRAFT et al. 2005). Bestätigt werden diese Szenarioentwicklungen bzw. -modellierung durch Erfahrungen bei der Auspolderung

ehemals landwirtschaftlich genutzter Flächen entlang der Unterweser. Als Ausgleichs- und Ersatzmaßnahme für den Bau des Container-Terminals in Bremerhaven wurde im Jahr 1998 ein großer Sommerpolder auf der Tegeler Plate renaturiert. Der Deich wurde geschliffen und das Prielsystem wurde ausgebaut, so dass die Flächen wieder regelmäßig überflutet werden können. Auf den vormals intensiv landwirtschaftlich genutzten Flächen (Intensivgrünländer, Acker, Grasacker) des Polders etablierten sich innerhalb weniger Jahre nach dem Umbau und der Nutzungsaufgabe Tideröhrichte (*Phragmites australis*, *Schoenoplectus lacustris*) und Brackwasserröhrichte (*Bolboschoenetia maritimi*, *Scirpetum maritimi*) (KESEL 2000).

Es ist jedoch davon auszugehen, dass es zu einem gewissen Mitwachsen der tideoffenen Vorlandflächen kommt. So konnten Analysen der Verbreitung der Röhrichte über die vergangenen 50 Jahre zeigen, dass der bisherige Anstieg des MThw durch den säkularen Meeresspiegelanstieg und die Ausbauten in der Unterweser zu einer Ausdehnung der Röhrichte geführt hat (STEEGE et al. 2005); (insgesamt sind die Flächen z.B. in der Unterweser durch die landwirtschaftliche Nutzung und Überbauung aber stark zurückgegangen; s. HEINRICH & MÜHLNER 1980).

Es gibt allerdings keine Forschungsergebnisse zur Anpassungskapazität des unbedeichten Vorlandes durch Mitwachsen; wir halten jedoch die folgenden Annahmen für plausibel: die Seitenräume der Ästuarie unterliegen einer starken Verlandungstendenz. Ursache ist die naturräumliche Situation, die ausbaubedingte Konzentration der Stromkraft auf das Fahrwasser und die hohe Verfügbarkeit von Schwebstoff, der in den Seitenbereichen sedimentiert. Wir gehen davon aus, dass in den weniger häufig überfluteten, wasserferneren Vorlandflächen die Kapazität für ein Mitwachsen geringer ist als auf den ufernäheren (s.o.) Bereichen. Auf diesen uferferneren Flächen hat sich die Schwebstoff- und Sedimentfracht bei einer Überflutung durch Sedimentation in den Uferbereichen bereits vermindert, so dass die Auflandung reduziert wird. Wir gehen davon aus, dass im Bereich der ästuarinen Trübungszone (Oligo- und oberes Mesohalinikum) die Fähigkeit zum Mitwachsen dadurch gegenüber den ufernahen Flächen schwach, im limnischen Abschnitt jedoch deutlicher reduziert wird. Für die limnischen Abschnitte gehen wir davon aus, dass ein Mitwachsen für plausible Wasserstandsanstiegsszenarien unsicher ist und unter der für Salzwiesen angenommenen Kapazität (50 cm / 50 Jahre als breakpoint) liegen könnte. Auf diesen Flächen ist also eine relative Redu-

zierung der Geländehöhen gegenüber MTHW zumindest für bestimmte Zeiträume nicht auszuschließen, so dass es zu den oben beschriebenen Veränderungen mit einer Einschränkung der landwirtschaftlichen Nutzbarkeit und Zunahme der Tideröhrichte unter MTHW kommen könnte. Für die noch vorhandenen Reste der Tideauwälder und -gebüsche, die überwiegend gewässernah liegen, ist also ein Mitwachsen plausibel; potentielle Standort weiter entfernt von der Wasserkante können bei einem reduzierten Mitwachsen ihre Eignung als potentielle Standorte jedoch verlieren.

5.5 Sommerpolder

Die Deichvorländer v.a. der inneren, aber auch der äußeren Ästuar sind z.T. durch Sommerdeiche vor leichten Sturmfluten geschützt, um die landwirtschaftliche Nutzbarkeit zu erhöhen; zusätzlich tragen die Sommerdeiche zu einer gewissen Dämpfung des Wellenaufbaus am Hauptdeich bei (äußere Ästuar). Der Anteil der sommerbedeichten Flächen an der gesamten rezenten Vordeichfläche ist in den verschiedenen Ästuaren unterschiedlich; im inneren Weserästuar sind ca. 45% der Vorländer durch Sommerdeiche dem direkten Tideinfluss entzogen (KRAFT et al. 2005), in der Unterems sind es ca. 22 % (IBL schriftl.), in der Unterelbe überschlägig 10%.

Für das KLIMU-Szenario wurden zur Abschätzung der Vegetationsveränderung innerhalb der Sommerpolder bei Klimaänderung, bezogen auf die Parameter Mittelwasserstand der Unterweser, Niederschlag und Bodentyp, die Bodenfeuchten berechnet (KRAFT et al. 2005, MANIAK et al. 2005). Für die sommerbedeichten Vorländer ist eine Erhöhung der Grundwasserfeuchtestufe um +1 zu erwarten (HOFMANN et al. 2005). Da der größte Teil der Sommerpolder mit freiem Sielzug entwässert wird, kann sich der Anstieg des Mittelwasserstandes der Weser um +55 cm direkt auf die dortigen Grundwasserstände auswirken. Allerdings zeigen die Berechnungen der Sielzugzeiten unter Klimaänderungsbedingungen, dass die Wasserstände innerhalb der Sommerpolder auch unter freiem Sielzug den Bewirtschaftungsanforderungen angepasst werden können. Für die überwiegend intensiv als Mähweiden genutzten Sommerpolder kann daher nur für einzelne Bereiche und Jahre von einer Erschwerung der Frühjahrsbewirtschaftung und einem späteren ersten Mahdtermin ausgegangen werden. Eine Entwicklung der Vegetation von einer Poo-Rumicetum obtusifolii-Gesellschaft zu einer feuchteren Rumici-Alopecuretum-Gesellschaft ist hier wahrscheinlich (SCHRÖDER & GEHLKEN 1999). Erhöhte Grundwasserstände auf schlecht ent-

wässerbaren Flächen führen auf Teilbereichen der Sommerpolder zur Ausbreitung von Nassbiotop-Arten wie Sauerstoffmangel ertragenden Röhrichtarten z.B. *Glyceria fluitans* (L) und Flutrasenarten. Insgesamt kann aber, auf den nährstoffreichen und gut wasserversorgten Böden, bei entsprechender Entwässerbarkeit von einer Steigerung der Produktivität und einer Zunahme der Biomasse ausgegangen werden. C3-Gräser (*Bromus*, *Vulpia*, *Arrhenatherum elatior*, *Festuca*, *Agrostis*, auch Hybriden) werden durch die stark erhöhten CO₂-Konzentrationen und die längere Vegetationsperiode gefördert. Unter Beibehaltung der heutigen Wirtschaftsweise als intensivgenutzte Mähweiden und Kohlacker sind insgesamt keine Veränderungen der Biotopausstattung auf den Sommerpoldern zu erwarten. Es ist nach KRAFT et al. (2005) davon auszugehen, dass der Standortfaktor „Bewirtschaftung“ hier großflächig den Standortfaktor „erhöhte Bodenfeuchte“ dominiert.

Allerdings werden die Sommerpolder bei steigendem Meeresspiegel, ggfls. weiter verstärkt durch weitere Ausbauten, häufiger überflutet werden, so dass darüber Einschränkungen der Bewirtschaftung möglich sind. Bereits heute werden von der Landwirtschaft örtlich Erhöhungen der Sommerdeiche gefordert.

In den Sommerpoldern, die gegenüber dem tideoffenen Vorland sehr viel seltener überflutet werden, können die morphodynamischen Anpassungsprozesse des MitwachSENS aufgrund des geringeren Sedimenteintrags nur deutlich verzögert ablaufen. Die natürliche Anpassungskapazität bzgl. der Höhenentwicklung wird auf diesen Flächen also nicht genutzt.

5.6 Vegetation

Die Veränderung des Klimas entsprechend dem KLIMU-Szenario lässt nach KESEL (2000) für Flora und Vegetation der Unterweserregion im Speziellen und Nordwestdeutschland im Allgemeinen u.a. folgende Änderungen erwarten:

- die Einwanderung bzw. Ausbreitung von Arten des warmtemperaten Zonobioms: mediterrane Elemente über das Rheintal, atlantische Elemente entlang der Ärmelkanal-Küste;
- in geringerem Maße das Verschwinden von nördlichen Arten;
- die Zunahme der Artenvielfalt aufgrund günstiger klimatischer Bedingungen;
- den Rückgang vieler bisher verbreiteter Arten durch zunehmend ungünstiger werdende Lebens- und Konkurrenzbedingungen;

- die Zunahme und Ausbreitung bisher verbreiteter Arten durch zunehmend günstiger werdende Lebens- und Konkurrenzbedingungen;

Für das Grünland ist zu erwarten:

- eine Steigerung der Produktivität und Biomasse auf gut versorgten Böden. Gleichzeitig sinkt bei nicht ausreichender Grundwasserversorgung der Futterwert aufgrund zunehmender sommerlicher Trockenzeiten und verstärkter Bildung von Kohlenstoffhydraten (Verstrohung), in Auenbereichen wird die Produktivitätssteigerung durch die Ausbreitung der Glatthaferwiesen nutzbar;
- eine Förderung von C3-Gräsern (*Bromus*, *Vulpia*, *Arrhenatherum elatior*, *Festuca*, *Agrostis*, auch Hybriden), vor allem auf weniger guten Böden (Versteppung); evtl. Einwanderung von *Stipa capensis*, welches bereits weit in den mediterranen Bereich vorgedrungen ist;
- eine Förderung nährstoffliebender Arten durch verstärkte Freisetzung von Stickstoff und Phosphor; hier werden vor allem auch wieder Gräser gefördert, aber auch Brennnesseln, Knöteriche, Ampfer u.a.;
- ein zunächst weiterer Rückgang der Blütenpflanzen (Kräuter), die dann wieder durch einwandernde bzw. sich ausbreitende Arten ersetzt werden können;
- dies hat z.T. deutliche Auswirkungen auf die Insekten- und Vogelfauna und die damit zusammenhängenden Faunenelemente;
- erhöhte Grundwasserstände und Überschwemmungen, die zu Ausbreitung von Nassbiotop-Arten wie Sauerstoffmangel ertragenden Röhricht- und Flutrasenarten führen.

Klimafolgen für die Flora und Vegetation der Flussaue sind:

- eine mögliche Etablierung artenreiches Auengebüsch und Auwald mit bunten Hochstaudenfluren (auch Neophyten wie dem Eschenahorn *Acer negundo*) im flussnahen Bereichen durch moderate Überflutungen, Störungen und Auflässen der Flächen; sowohl Silber- und Fahlweiden-Aue als auch Pappel-Auen und Hartholzauen mit Eichen und Ulmen;
- eine mögliche Einwanderung von fakultativen Grundwasserpflanzen wie der Tamariske bei Verstärkung der Wasserstandsschwankungen; dadurch dann Verstärkung der Austrocknung und Versalzung;

- eine Ausbreitung von großblättrigen invasiven Neophyten wie z.B. den Staudenknöterichen (*Polygonum cuspidatum* und *P. sachalinense*), der Herkulesstaude (*Heracleum mantegazzianum*), der Erzeugelwurz (*Angelica archangelica/littoralis*), Pestwurz-Arten (*Petasites*), Balsamine (*Impatiens glandulifera*).

Die Auswirkungen des Klimawandels für die Vegetation der Nordseeküsten ist von METZING (2000, 2001 und 2005) analysiert worden. Die von ihm beschriebenen und erwarteten Konsequenzen für die Salzwiesenflora sind, dass von 223 betrachteten Pflanzenarten (Sippen) 39 Arten (= 17%) aussterben könnten und 21 Arten (= 9%) neu einwandern könnten. 145 Arten (= 66%) zeigen keine Vorkommensänderung und bei 18 Arten (= 8%) ist ihr Verhalten unklar.

5.7 Avifauna

Die Ästuarie sind von erheblicher Bedeutung für die Avifauna; das gilt sowohl in ihrer Funktion als Brut- als auch als Rast- und Nahrungshabitat; große Teile der äußeren und inneren Ästuarie sind als EU-Vogelschutzgebiete ausgewiesen. Auswirkungen des Klimawandels für die Avifauna können sich sowohl über die direkten Klimaänderungen vor Ort ergeben, aber auch durch Veränderungen z.B. in den Bruthabitaten von hier rastenden Arten. Zusätzlich können sich aus indirekten Wirkungen Veränderungen für die Avifauna ergeben (z.B. Veränderungen der Nutzung); insgesamt besteht noch Forschungsbedarf (CRICK 2004).

Bereits derzeit lassen sich verschiedene beobachtete Trends der regionalspezifischen Brut- und Gastvogelarten mit dem bereits stattfindenden Klimawandel in Verbindung bringen (u.a. SCHRÖDER 2000):

- der großräumige Bestandsrückgang der Wiesenvögel in Vorland und Marsch,
- die stetige Ausbreitung thermophiler Arten in die Marsch,
- die Zunahme im Brutgebiet überwinternder Standvögel und
- die großräumige Verlagerung von Brut-, Rast- und Überwinterungsschwerpunkten der bio-geografischen Gesamtpopulation.

In den Ästuaren könnten sich neue Arten als Brut- oder Gastvögel etablieren, die zurzeit noch unbeständig oder nur in geringer Zahl auftreten. Zu diesen in den letzten

Jahren gehäuft auftretenden Arten gehören mit Löffler, Silber- und Seidenreiher, Zwergadler, Stelzenläufer oder den Singvogelarten Cisten-, Seidensänger u.a. zahlreiche Wärme liebende Arten, die mehr südlich oder östlich in anderen Klimaregionen verbreitet sind (SCHRÖDER 2000). Auch wenn für Ansiedlungen oder Veränderungen der Bestände von seltenen Arten Folgen des Klimawandels als Ursachen oder wesentlicher Einflussfaktor zu vermuten sind, ist diese Entwicklung unklar. Bei den regionalspezifischen Arten, die eng an die typischen Strukturen und Qualitäten der Ästuar gebunden sind, wirken sich klimabedingte Veränderungen des Lebensraumes frühzeitig und einschneidend aus. Es ist davon auszugehen, dass Folgen des Klimawandels bei diesen Arten nachhaltigen Einfluss auf die Gesamtentwicklung der Lebensgemeinschaft dieser Region und der Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes haben werden (SCHRÖDER 2000).

Die Veränderung der Lebensraumausstattung mit einer erwarteten örtlichen Abnahme der Salzwiesen und Wattflächen in den äußeren Ästuaren führt zu einem Verlust von Brut-, Rast- und Nahrungshabitaten, der die bereits vorhandene Belastung einer Reihe von Küstenvögeln weiter verstärken wird (s.a. HUGHES 2004). In den inneren Ästuaren wird es zu Lebensraumverlusten für im Grünland brütende und rastende Arten kommen, während Arten der feuchten Röhrichte durch die erwartete Ausbreitung der Röhrichtflächen voraussichtlich profitieren. Verschlechterungen können sich für Arten der Landröhrichte in den Bereichen ergeben, in denen das Mitwachsen gegenüber dem Meeresspiegelanstieg verzögert ist.

Negative Entwicklungen werden auch für Enten- und Watvögel prognostiziert, die schwerpunktmäßig in gemäßigten Klimazonen verbreitet sind. Demgegenüber werden Einwanderung und Ausbreitung Wärme liebender Arten südwestlicher Klimaregionen erwartet (SCHRÖDER 2000). Eine mögliche Erhöhung der Wasserstände, insbesondere der sommerlichen Springfluten während der Brutzeiten der Vogelgemeinschaften in den Vorländern könnte dazu führen, dass Gelege vermehrt überflutet würden. Dabei könnten die noch nicht fluchtfähigen Jungvögel ertrinken und so komplette Bruten verloren gehen, was weit reichende Folgen für die Populationsgrößen hätte. Betroffen wären insbesondere Wiesenbrüter wie Uferschnepfe, Rotschenkel und Kiebitz, aber auch Brutvögel der vegetationsarmen Uferländer wie der Austernfischer (WWF 2007).

Für die regionaltypische Gastvogelgemeinschaft werden sich vorrangig die Temperaturerhöhungen im Winter auswirken. Durch Zunahme der Überwinterungsbestände und längere Aufenthalte kann sich Nordwestdeutschland zu einem Hauptüberwinterungsgebiet für einzelne Arten wie Blässgans und Pfeifente entwickeln. Herbivore Gastvögel können dabei von der zunehmenden Biomasseentwicklung der Vegetation profitieren. Durch die Ausweitung des Brackwassereinflusses auf die Vorlandvegetation der Ästuar könnten sich die auf Küstenbiotope konzentrierten Arten Nonnen-, Ringel- und Kurzschnabelgans in das Innere der Ästuar ausbreiten. Neben den schon jetzt vereinzelt überwinternden Brachvögeln werden sich auch Kiebitz und Goldregenpfeifer in zunehmenden Umfang als Wintergäste etablieren (SCHRÖDER 2000).

Aus dem Anwachsen der Rastbestände wird sich eine noch stärkere Beanspruchung der intensiv genutzten Kulturlächen durch nahrungssuchende Schwäne, Gänse und Enten ergeben. Zu erwarten sind hohe Konzentrationen von Nahrungsaufhalten auf kleinen Flächen. Der Konflikt mit der Landwirtschaft wird bei fortgesetzter Intensivierung der Landnutzung zunehmen (SCHRÖDER 2000).

5.8 Neobiota

Biologische Invasionen durch Neobiota sind ein weltweites Phänomen und Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen, die sich aufgrund menschlicher Mithilfe außerhalb ihrer Entstehungsgebiete ausbreiten, gelten als ein wesentlicher Gefährdungsfaktor der Biodiversität. Die bekannten Probleme haben jedoch bereits im Übereinkommen über die Biologische Vielfalt von 1992 zu einer völkerrechtlich verbindlichen Regelung geführt. Sie enthält die Verpflichtung „soweit wie möglich und sofern angebracht, ... die Einbringung nichtheimischer Arten, welche Ökosysteme, Lebensräume oder Arten gefährden, zu verhindern, diese Arten zu kontrollieren oder zu beseitigen“. Die hieraus resultierende Verpflichtung zum Handeln bedeutet für Politik und Wissenschaft insbesondere bei Veränderungen der klimatischen Bedingungen eine Herausforderung (KOWARIK & STARFINGER 2002; zur Begriffsbestimmung und zu den Zahlen der Neozoen bzw. Neophyten Deutschlands vgl. BfN 2005).

In Deutschland haben sich Neobiota oft in naturfernen, anthropogen geschaffenen oder stark beeinflussten

Ökosystemen wie Äckern, Verkehrswegen oder Städten etabliert. Aus ökologischer Sicht können sie in diesen Lebensräumen eher als Bereicherung der durch die menschlichen Tätigkeiten dezimierten natürlichen Vielfalt betrachtet werden. Dagegen gelingt es nur relativ wenigen gebietsfremden Arten, sich in naturnahen Biotopen dauerhaft zu etablieren. Somit können gebietsfremde Arten oftmals als Indikator für Störungen gesehen werden und sind damit meistens die Folge der Zerstörung von Natur und nicht deren Ursache (BfN 2005).

Klimawandelbedingte Veränderungen in der Ästuarhydrologie können die invasive Einwanderung von Neophyten fördern und erhöhte Temperaturen können bereits vorhandene Arten plötzlich zu invasiven machen. Viele einjährige Arten (wie *Vulpia ciliata* spp. *ambigua*, eine Winteranuelle) wachsen bei höheren Temperaturen und temperaturbedingt erhöhtem Nährstoffangebot schneller, blühen früher, bilden mehr Biomasse und mehr fertile Samen und verlagern mehr Biomasse in das Wurzelsystem. Dadurch wird die Artenzusammensetzung stark beeinflusst und tidebeeinflusste Ästuarssysteme sind besonders anfällig für die (invasive) Einwanderung neuer Arten (WOLFF 1998, TEMPLER et al. 1998). Generell sind aquatische Ökosysteme wie Gräben neben Verkehrswegen, Spülflächen und anderen Offenland-Arealen häufig gestörte Standorte und daher besonders geeignet für die Etablierung und Ausbreitung wärmeliebender Arten. Vor allem tropische und subtropische Arten wie *Azolla filiculoides*, *Lemna minuta*, *Lemna aequinoctialis*, *Pistia stratiotes*, *Eichhornia crassipes*, *Myriophyllum heterophyllum* und weitere Aquarienpflanzen sind in den letzten Jahren zunehmend zu beobachten und können durch mildere Winter vermehrt halten (KESEL & GÖDEKE 1995).

Für die Flussauen ist nach KESEL (2000) damit zu rechnen, dass im flussnahen Bereich durch ein verändertes Überflutungs- oder Störungsregime sich Neophyten wie der Eschenahorn *Acer negundo* etablieren und es zur Ausbreitung von großblättrigen invasiven Neophyten wie der Staudenknöterichen (*Polygonum cuspidatum* und *P. sachalinense*), der Herkulesstaude (*Heracleum mantegazzianum*), der Erzengelwurz (*Angelica archangelica/littoralis*) und von Pestwurz-Arten (Petasites) kommen kann. In den Gewässern (v.a. Gräben) kann es durch mehr Trübstoffe und höheren sommerlichen Phosphorgehalten zur Ausbreitung von invasiven neophytischen Faden- und Schlauchalgen kommen (KESEL 2000).

Auch für Neozoen wird der Klimawandel die Ausbreitungsbedingungen verbessern. In der Nordsee erfolgt eine beschleunigte Besiedlung mit fremden Organismen insbesondere durch die Ablassung großer Mengen Ballastwassers aus Überseegewässern oder die unbeabsichtigte Freilassung aus Aquakulturen (z.B. pazifische Auster). Hohe Dynamik und Offenheit des Küstenraumes für einwandernde Arten sind die Hauptursachen für die große Bedeutung von Neozoen für die Fauna der aquatischen und semiaquatischen Biotope der Nordseeregion. So sind z. B. von den 73 in der Unterweser vorkommenden Makrozobenthosarten insgesamt 14 Arten (= 19 % der gesamten Makrozoobenthoszönose der Unterweser) als Neozoen anzusehen (MEYERDIRKS 2000). Vergleichbare Werte geben auch andere Autoren für ästuarine Bereiche an und allgemein gilt, dass der Anteil der Neozoen vom offenen Meer zur Küste hin zunimmt (NEHRING & LEUCHS 1999, KINZELBACH 1995, MICHAELIS 1994). Für die in der Unterweser gefundenen Neozoen wird für neun Arten eine überseeische Einschleppung mit dem Schiff angenommen, während zwei pontokaspische Arten (*Cordylophora caspia*, *Dreissena polymorpha*) und eine Art aus dem Mittelmeerraum (*Proasellus coxalis*) wahrscheinlich über das europäische Kanalnetz eingewandert sind. Lediglich von dem in der Werra absichtlich freigesetzten Amphipoden *Gammarus tigrinus* und die durch natürliche Arealerweiterung nunmehr bei uns verbreiteten Sägegarnele (*Palaemon longirostris*) wird angenommen, dass sie ohne die Unterstützung von Schiffen bis in den deutschen Küstenbereich vorgedrungen sind (NEHRING & LEUCHS 1999). Insgesamt wird erwartet, dass die Klimaerwärmung und damit die Erwärmung der Nordsee und der Ästuare zu günstigeren Bedingungen für südlich verbreiteter Arten führt und damit die heimische Fauna verändert werden wird.

Neben lokalen Problemen, die mit der Einbürgerung von Neozoen verbunden sein können, eröffnet die anthropogen bedingte Aufhebung der Verbreitungsgrenzen das globale Problem einer zunehmenden Homogenisierung der Fauna. Der weltweite Austausch von Arten kann in einzelnen Gebieten zwar zu einer Bereicherung der Fauna führen, global kommt es allerdings zu einer Verringerung der Biodiversität, wenn heimische Arten durch Neozoen verdrängt werden (BfN 2005). Für die Unterweser sind bisher kaum nachteilige ökologische oder ökonomische Folgen der Neozoenansiedlung zu beobachten (MEYERDIRKS 2000).

Das trotzdem, möglicherweise im Klimawandel zunehmend, Neobiota ökonomisch relevante Schäden verursachen können, hat eine Studie von REINHARDT et al. (2003) gezeigt. Sie kamen bei 20 untersuchten Arten auf durchschnittlich 167 Millionen Euro jährlichen Schäden für Deutschland. Die Kosten resultieren dabei aus 1. direkten ökonomischen Schäden (z.B. Vorratsschädlinge), 2. ökologischen Schäden durch Pflege und Schutz gefährdeter heimischer Arten, Biozönosen und Ökosysteme und 3. Kosten für Maßnahmen zur Bekämpfung invasiver Arten.

5.9 Land- und Wasserwirtschaft

Im Folgenden werden die Folgen für Land- und Wasserwirtschaft getrennt für den Binnenbereich und das Vorland dargestellt. Alle Ästuarie liegen in der holozänen, tiefliegenden Marsch, die vor dem Deichbau Teil der Aue war. Die Wirkungen des Klimawandels sind in der Kulturlandschaft Marsch, die historisch ein komplexes System zur Steuerung der Wasserstände und der Feuchtigkeit entwickelt hat, stark vom gesellschaftlichen Umgang mit den Folgen und den jeweiligen Leitbildern (Zielen) geprägt. In der folgenden Abschätzung, die weitgehend auf den Ergebnissen des Projektes KLIMU für die Unterwesermarsch beruht (SCHUCHARDT & SCHIRMER 2005), die aber prinzipiell auf die Marschen der anderen Ästuarie zu übertragen ist gehen wir davon aus, dass die Zielstellungen und Ansprüche gegenüber heute nicht grundsätzlich verändert werden, dass also die Wasserwirtschaft weiterhin weitgehend an den Anforderungen der Landwirtschaft orientiert bleibt.

Landwirtschaft binnen

Grundwasserhaushalt: Der Boden- und Grundwasserhaushalt der Unterwesermarsch unterliegt den direkten Einflüssen der Klimafaktoren Niederschlag und Verdunstung, den Meeres- bzw. Unterweserwasserständen und dem Einsatz des Steuerungsinstruments Be- und Entwässerung. Auch bei einer weitgehenden Beibehaltung der Meliorationswasserstände in den mit Pumpwerken ausgestatteten Sieleinzugsgebieten verringern sich die Grundwasserflurabstände, da zum einen die mittleren Wasserspiegel in der Nordsee, in der Unterweser und in den Nebenflüssen sich erhöhen. Im größten Teil der Unterwesermarsch bleiben die Veränderungen der Grundwasserflurabstände jedoch <20cm. Dadurch kommt es i.d.R. nicht zu einer Änderung der Grundwasserstufe, die einen klaren Einfluss auf die landwirtschaftliche Nutzung indizieren würde. In einem bis zu 2,5 km breiten Randstreifen entlang der Weser bzw. Nordsee verringern sich die Flurabstände allerdings um

>20 cm, die Grundwasserstufe nimmt dort überwiegend um eins ab (HOFFMANN et al. 2005).

In den nur im freien SIELZUG entwässernden Gebieten erhöhen sich die Grabenwasserstände langfristig im Mittel um je nach Einzugsgebiet 0-12 cm; eine von den übrigen Flächen deutlich abweichende Veränderung der Grundwasserflurabstände ist nicht zu erwarten. Die grundwasserbürtigen Abflüsse, die über die Siele abzuführen sind, erhöhen sich deutlich. In den verschiedenen betrachteten Bilanzierungsräumen und unterschiedlich für verschiedene Randbedingungen beträgt die Erhöhung 20 - 60 % (HOFFMANN et al. 2005). Die hohen Werte werden dabei im Bereich Butjadingen erreicht. Die Grundwasserneubildungsraten erhöhen sich gemittelt für das Gebiet und die beiden Referenzjahre um ca. 11% (MANIAK et al. 2005).

Die im Status quo vorhandene Versalzung des Hauptwasserleiters wird sich klimabedingt voraussichtlich nicht bzw. nur geringfügig ändern (HOFFMANN et al. 2005).

Bodenwasserhaushalt: Der Bodenwasserhaushalt wird sowohl direkt durch die klimatischen Faktoren Temperatur, Niederschlag etc. als auch durch die Grundwasserflurabstände beeinflusst. Im ganz überwiegenden Teil des Untersuchungsgebietes, in dem sich die Flurabstände um <20cm verändern, bleibt die Bodenkundliche Feuchtestufe gleich oder sinkt um eins. Dafür sind, da die Grundwasserstufe gleich bleibt, die direkten Klimafaktoren verantwortlich; v.a. die temperaturbedingt erhöhte Evapotranspiration. In der bis zu 2,5 km breiten Randzone entlang Weser und Nordsee, in der der Flurabstand um >20cm abnimmt, überlagern sich die Wirkungen der direkten Klimafaktoren und der Grundwasserstufe. Hier nimmt die Bodenkundliche Feuchtestufe in Abhängigkeit von der Bodenart um eins zu (es wird also feuchter) oder bleibt gleich. In den Gebieten, die nur im freien SIELZUG entwässern, kann sich die BKF ebenfalls um eins erhöhen (HOFFMANN et al. 2005).

Im küstennahen Bereich kann es im Zusammenhang mit einer Verringerung der Grundwasserflurabstände zu einer deutlichen Erhöhung der Chlorid-Konzentration im Bodenwasser kommen, die auch zu Einschränkungen der landwirtschaftlichen Nutzbarkeit führen kann (HOFFMANN et al. 2005). Durch eine als Gegenreaktion zu erwartende Absenkung der Grabenwasserstände zusammen mit der Erhöhung der Niederschläge könnten solche Erhöhungen abgeschwächt werden.

Grabenwasserstände und Siele: Aufgrund des Anstiegs des Meeres-/Weserwasserspiegels, der vermehrten Niederschläge und des vermehrten Wasserandrangs aus der Geest erhöhen sich die Wassermengen, die aus der Marsch über das Grabensystem abzuführen sind. Die grundwasserbürtigen Abflüsse übersteigen dabei deutlich die aus dem oberirdischen Einzugsgebiet anfallenden Wassermengen. Insgesamt sind in den verschiedenen betrachteten Bilanzierungsräumen und unterschiedlich für verschiedene Randbedingungen ca. 25 –65 % mehr Wasser abzuführen (HOFFMANN et al. 2005; MANIAK et al. 2005). Die Analyse hat gezeigt, dass es trotz der erhöhten grundwasser- und niederschlagsbürtigen Abflüsse in allen mit Mündungsschöpfwerken ausgerüsteten Sieleinzugsgebieten durch verlängerte Betriebszeiten mit den vorhandenen Pumpleistungen möglich ist (die Leistung von Unterschöpfwerken wurde dabei nicht berücksichtigt) (MANIAK et al. 2005), die aktuellen Meliorationswasserstände zu halten. Es ist jedoch eine deutliche Erhöhung der Pumpmenge erforderlich: sie wird sich im Mittel über alle Siele sowohl für ein feuchtes wie auch für ein trockenes Jahr in etwa verdoppeln. Der gepumpte Anteil der Gesamtwassermenge ist im Status quo je nach Einzugsgebiet und Niederschlagsanfall an den verschiedenen Sielen sehr unterschiedlich und liegt zwischen <10 und 75 %; im Klimaszenario liegt der gepumpte Anteil zwischen <10 und >90 %. Allerdings bedeutet die hier angenommene Einhaltung des Meliorationswasserstandes am Binnenpeil des Siels eine deutliche Erhöhung des derzeitigen Wasserstandes in diesem deichnahen Bereich, da die aktuellen Wasserstände deutlich unter diesen Meliorationswasserständen liegen. Werden auch unter Klimaänderungsbedingungen am Siel die gleichen Wasserstände wie heute gehalten, verdoppelt sich die zu pumpende Menge noch einmal (MANIAK et al. 2005).

In den Sieleinzugsgebieten, in denen eine Entwässerung nur über freien Sielzug möglich ist, steigt der Grabenwasserstand um wenige Zentimeter an. Die mittleren Erhöhungen betragen je nach Niederschlagsanfall überwiegend deutlich weniger als 10 cm; nur in wenigen Einzugsgebieten liegen sie bei bis zu 15 cm (MANIAK et al. 2005). Kleinräumig und kurzfristig können die Anstiege jedoch auch bis zu 23 cm betragen (besonders Flagbalger Siel). Trotzdem ist auch hier nicht mit größeren, länger anhaltenden Ausuferungen zu rechnen, da die zusätzlichen Wassermengen zu späteren Zeitpunkten immer wieder über das Siel abgeführt werden können.

Biotoptypen: Für die binnendeichs liegenden Biotoptypen, die im landwirtschaftlich genutzten Teil des Untersuchungskerngebiets der Unterweserregion zu ca. 95% aus verschiedenen Grünlandtypen bestehen, sind (bei gleichbleibender Nutzung) zum einen die übergreifenden Effekte der Erhöhung der Temperatur und des CO₂-Gehaltes zu berücksichtigen; zum anderen die Veränderung im Oberflächen- und Bodenwasserhaushalt. Der Anstieg der Jahresmitteltemperatur und besonders die höheren Wintertemperaturen werden das weitere Einwandern thermophiler Arten begünstigen, das in der Region jetzt schon zu beobachten ist (s. KESEL 2000; HANDKE 2000); Veränderungen auf der Ebene der Biotoptypen sind besonders für Dominanzbestände wie Ruderalfluren oder auch Pflanzengesellschaften der Gewässer durch das Einwandern neuer Arten möglich. Zusätzlich führt der Temperaturanstieg zu einer allgemeinen Intensivierung der Stoffwechselprozesse, solange keine Limitierung durch andere Umweltparameter, z. B. sommerliche Trockenheit, erfolgt. Der erhöhte CO₂-Gehalt kann in ansonsten gut versorgten Grünländern zu einer Zunahme der Produktivität um ca. 25% führen. Allerdings ist davon auszugehen, dass sich der Gehalt der für die landwirtschaftliche Verwertung wichtigen Inhaltsstoffe nicht parallel erhöht. Konsequenzen auf der Ebene der Biotoptypen sind unwahrscheinlich und v.a. von Veränderungen der Nutzung abhängig (KRAFT & SCHIRMER 2001).

Auf der Ebene der Biotoptypen sind v.a. die Veränderungen im Bodenwasserhaushalt zu berücksichtigen. Die Zunahme der Bodenfeuchte im Winter und deren Abnahme im Sommer sowie der Anstieg in einem ca. 2 km breiten Streifen entlang von Weser und Nordsee wirkt sich in Abhängigkeit von den Bodenverhältnissen und der Nutzung unterschiedlich aus. Auf ca. 6 % der Grünlandflächen muss im Klimaszenario mit Ertrags-einbußen gerechnet werden, auf die u.U. mit veränderter Bewirtschaftung reagiert werden würde. Eine Veränderung von Intensivgrünland zu mesophilem Grünland könnte die Folge sein. Sowohl auf einigen Flussmarsch- als auch auf einigen Brackmarschstandorten (ca. 10 % der Fläche des UG) können sich die Bedingungen für eine ackerbauliche Nutzung verbessern (KRAFT & SCHIRMER 2001).

Für den überwiegenden Teil der als Grünland genutzten Flächen ist allerdings bei konstanten Meliorationswasserständen nicht mit deutlichen Veränderungen der Biotoptypenausstattung zu rechnen.

In den nicht mit Pumpen ausgestatteten Sieleinzugsgebieten wird der Anstieg des Grabenwasserstandes auf den niedrig liegenden Flächen zu einer Vernässung führen; die Meliorationswasserstände sind nicht einzuhalten (MANIAK et al. 2000). Die Flächen werden sich vermutlich zu Feuchtgrünland entwickeln (KRAFT & SCHIRMER 2001).

Durch die Stromauf-Verlagerung der ästuarinen Brackwasserzone ergeben sich Konsequenzen für die sommerliche Zuwässerung in verschiedenen Sielen. Für die zentrale Butjadinger Zuwässerung bei UW-km 51,5 ergibt sich für Phasen geringen Oberwassers eine deutliche Zunahme der Tage, an denen bei Hochwasser Wasser mit einem Salzgehalt >6 psu am Siel ansteht: die Zahl der Tage zwischen Mai und Oktober erhöht sich für das abflussarme Referenzjahr 1991 im Klimaszenario von 170 auf 180 Tage und für das abflussreichere Referenzjahr 1994 von 30 auf 80 Tage (GRABEMANN et al. 2000). Durch den erhöhten Wasserspiegel im Klimaszenario ist die potentielle Zuwässerungsperiode verlängert, so dass die Folgen durch eine entsprechende Steuerung eingeschränkt werden können. Allerdings überlagern sich hier die Wirkungen der Vertiefungen mit denen des Klimawandels und es bestehen bereits derzeit Probleme bei der Zuwässerung. Dieser Punkt bedarf besonderer Berücksichtigung.

Insgesamt wird der Klimawandel voraussichtlich zu einer Erhöhung der Erträge aufgrund steigender Temperatur und erhöhter CO_2 -Konzentrationen in den Binnenmarschen führen; die von den veränderten Niederschlägen und Wasserständen ausgehenden Wirkungen können durch das vorhandene System für ein Wassermanagement weitgehend bewältigt werden, so dass sich die Ertragslage bei gleichen ökonomischen Randbedingungen eher verbessern würde. Örtlich ist durch erhöhte Chlorid-Gehalte (küstennah), zu feuchte Verhältnisse (Einzugsgebiete ohne Pumpen) oder auch zu trockene Verhältnisse allerdings auch mit Einschränkungen zu rechnen.

Landwirtschaft im Vorland

An der Unterweser werden im KLIMU-Szenario etwa 30% der tideoffenen genutzten Vorländer regelmäßig überflutet und fallen (unter Vernachlässigung eines Mitwachsens) für die landwirtschaftliche Nutzung aus (OSTERKAMP & SCHIRMER 2000). Aber auch auf den übrigen nicht durch Sommerdeiche geschützten Flächen wird eine Nutzung nur eingeschränkt möglich sein. In den Sommerpoldern dagegen ist eine landwirt-

schaftliche Nutzung v.a. als Grünland weiterhin möglich. Die Erhöhung der Bodenkundlichen Feuchtestufe werden allerdings partiell zu einer erschwerten Bewirtschaftung v.a. im Frühjahr führen; der erste Mahdtermin muss vermutlich nach hinten verschoben werden (OSTERKAMP & SCHIRMER 2000).

Die Häufigkeit von (winterlichen) Überlaufereignissen in den Sommerpoldern wird sich von derzeit ca. 0,3/a auf ca. 1/a erhöhen (etwas unterschiedlich je nach Lage im Ästuar); dies schränkt aber die vorhandene landwirtschaftliche Nutzung nur geringfügig ein. Zu gewissen Einschränkungen kommt es durch die höhere Überlaufwahrscheinlichkeit für die besiedelten Sommerpolder (erschwerter Zugänglichkeit).

Insgesamt ist die Nutzung in den Sommerpoldern vermutlich weiterhin möglich, allerdings unter erschwerten Bedingungen (OSTERKAMP & SCHIRMER 2000). Damit ist, wie insgesamt bei der Landwirtschaft, die tatsächliche zukünftige Nutzung stark von den politisch-wirtschaftlichen Rahmenbedingungen abhängig (BAHRENBURG 2000).

5.10 Küstenschutz

Bereits heute liegen große Teil der Marschen entlang der Ästuar unterhalb von MTHW und wären ohne Küstenschutz nicht zu besiedeln. Diese Situation ist Ergebnis der naturräumlichen Situation, der Bedrohung durch Sturmfluten und der Errichtung einer geschlossenen Deichlinie ab dem 11. Jahrhundert. Diese hat zum einen das natürliche Mitwachsen mit dem säkularen Meeresspiegelanstieg durch Sedimenteintrag bei Überflutungen gestoppt, zum anderen zu deutlichen Bodensackungen in der abgedeichten und entwässerten Marsch geführt. Die Sensitivität der Ästuar ist zudem durch die Ausbauten der Vergangenheit weiter erhöht worden, die zu einem Anstieg des MTHW besonders in den inneren Ästuaren geführt haben (Kap. 2) und gleichzeitig die Laufzeiten der Sturmflut in das Ästuar verkürzt haben.

Klimafolgen für den Küstenschutz werden aus den steigenden mittleren und damit extremen Wasserständen, möglicherweise dem Verlust flächenhafter Strukturen vor den Deichen, die zu höheren Belastungen der Küstenschutzbauwerke führen (s.a. Kapitel 7.4; äußere Ästuar) und häufigeren bzw. höheren Sturmflutenwasserständen durch veränderte Windverhältnisse führen, die die Sicherheit der Küstenschutzsysteme verringern.

Unter Berücksichtigung der Annahmen zum Meeresspiegelanstieg des KLIMU-Szenarios errechneten ZIMMERMANN et al. (2005) für die Deiche entlang der Unterweser die Wiederkehrintervalle eines Wellenüberlaufs und zeigten, dass sich diese von heute 1 x in 1000 bis 3000 Jahren um den Faktor 5 bis 10 verkürzen (in Abhängigkeit von Höhe und Exposition der Deiche). Die Ergebnisse der probabilistischen Analyse zeigen, dass die Wiederkehrintervalle einer Wellenüberlaufsituation am linken (westlichen) Weserufer bei deutlichen kleinräumigen Unterschieden im Mittel von derzeit ca. 1000 Jahren auf ca. 200 Jahre im inneren und 800 Jahre im seewärtigen Abschnitt der Unterweser sinken. Am rechten Weserufer werden die Wiederkehrintervalle durch das Klimaszenario von im Mittel 3000 Jahre auf ca. 800 Jahre im seewärtigen Bereich der Unterweser und ca. 800 - 1000 Jahre im inneren Abschnitt reduziert. Unter Risikoaspekten ist zudem die Beschleunigung der Fortschrittsgeschwindigkeit des Sturmflutscheitels zu erwähnen.

Ähnlich wie der den Dünen vorgelagerte Strand besitzen auch die den Deichen vorgelagerten Vorländer mit den Sommerdeichen als Bestandteile des Küstenschutzsystems eine die Sturmflutsicherheit erhöhende Funktion. Über das Ausmaß der wellendämpfenden Wirkungen wird in der Literatur allerdings kontrovers diskutiert. Nach MAI & ZIMMERMANN (2000) würde sich z.B. bei einem vollständigen Rückbau der Sommerdeiche vor der Küste Land Wurstens eine 1,8-fache Wahrscheinlichkeit des Wellenüberlaufs am Hauptdeich ergeben; ein zusätzlicher Verlust des Vorlands würde zu einer 3,7-fachen Wahrscheinlichkeit führen (bei nur teilgeöffneten Sommerdeichen ergibt sich, sofern ausreichende Vorlandsicherungsmaßnahmen ergriffen werden, nahezu keine Erhöhung der Überlaufwahrscheinlichkeit (MAI 2004).

In physikalischen und numerischen Modelluntersuchungen sowie mittels Naturmessungen konnten NIEMEYER & KAISER (2001) zeigen, dass die wellendämpfende Wirkung von Lahnungen, Vorländern und Sommerdeichen umso stärker abnimmt, je höher die Sturmflut ist. Wie stark die wellendämpfende Funktion wirklich ist, muss deshalb jeweils spezifisch für die einzelnen Örtlichkeiten analysiert werden. Bei sehr hohen Sturmflutwasserständen hat die wellendämpfende Wirkung von Sommerdeichen keine nennenswerte Wirkung auf den bislang für die Deichsicherheit anzusetzenden Bemessungswasserstand ((VON LIEBERMANN & MAI 2002).

Wattflächen und Vorländer haben also für den Küstenschutz aufgrund ihrer seegangsreduzierenden Wirkung eine große Bedeutung (u.a. NIEMEYER & KAISER 1999). Deshalb ist die Reaktion dieser Flächen auf klimawandelbedingte Veränderungen bei der Analyse der Konsequenzen für den Küstenschutz bedeutsam (CPSL 2001, 2005).

Es ist davon auszugehen, dass im Klimaszenario aufgrund der höheren und längeren Überflutung der Watten energiereichere Wellen die Vorländer und Deiche erreichen und dort zu einer morphologischen Destabilisierung führen (SCHIRMER et al. 2004). Der Einfluss morphologischer Änderungen auf den Seegang ist dabei geringer als die klimawandelbedingten Wasserstands- und Winderhöhungen. Deshalb kann das angenommene Höhenwachstum der höher gelegenen Wattgebiete und Vorländer die durch den Anstieg des Meeresspiegels und stärkere Stürme bedingte Intensivierung des Seegangs voraussichtlich nicht kompensieren (SCHIRMER et al. 2004, WITTIG et al. 2007). Konsequenz dieser Entwicklung ist eine insgesamt erhöhte hydrodynamische Belastung der Küstenschutzelemente. Darüber hinaus würde ein Verlust von Vorländern neben den naturschutzfachlich negativ zu bewertenden Verlusten von Salzwiesenbiotopen die Entstehung von schaarliegenden Deichabschnitten mit entsprechend reduzierter Sicherheit führen.

Um diesen klimawandelbedingt reduzierten Sicherheiten Rechnung zu tragen, ist für Niedersachsen und Bremen im Jahr 2007 ein neuer Generalplan Küstenschutz beschlossen worden (s. unter <http://www.nlwkn.de>). In ihm werden nach langer politischer Diskussion auch die Klimafolgen für Wasserstände und Bemessungshöhen berücksichtigt. Hintergrund hierfür sind die Erkenntnisse über den beschleunigten und nicht mehr aufzuhaltenden Meeresspiegelanstieg sowie die bei der Sturmflut im November 2006 höchsten je gemessenen Pegelstände. Deshalb wird im neuen Generalplan für die Bemessung der Küstenschutzwerke festgelegt, dass Deiche 25 Zentimeter höher geplant und Bauwerke in der Deichlinie so ausgelegt werden, dass sie erforderlichenfalls rund einen Meter erhöht werden können (NLWKN 2007).

Grundlage für die Bemessungshöhe der Hauptdeiche sind die verbindlichen Vorgaben des Niedersächsischen Deichgesetzes (NDG), wonach Höhe der Hauptdeiche nach dem zu erwartenden höchsten Tidehochwasser (maßgebender Sturmflutwasserstand) als Bemessungshöhe festgelegt wird.

sungswasserstand zu bestimmen ist. Zusätzlich ist der örtliche Wellenauflauf zu berücksichtigen und aus der Summe von Bemessungswasserstand und Bemessungswellenauflauf ergibt sich die Sollhöhe des Deiches, der von den zuständigen Deichbehörden festgesetzt wird. Dieser Bemessungswasserstand (ermittelt durch das deterministische Einzelwertverfahren: weitere Details in NLWKN 2007) stellt ein nach definierten Kriterien festgelegtes Sicherheitsmaß dar und gewährleistet einen nach menschlichem Ermessen sicheren Sturmflutschutz. So soll gewährleistet werden, dass an der gesamten niedersächsischen Nordseeküste ein möglichst gleichwertiger Schutz vor Überflutungen erreicht wird (NLWKN 2007).

Die Ermittlung von Bemessungswasserständen für die Ästuardeiche erfolgt nicht über das Einzelwertverfahren, da hierbei der Einfluss des Oberwassers nicht berücksichtigt werden kann und Veränderungen der Flusstopographie das Systemverhalten stark verändern können. Stattdessen werden für die Deiche der Ästuardeiche die Bemessungswasserstände mit Hilfe von hydrodynamisch-numerischen Modellen ermittelt. Grundlage dieser Modelle sind ein festgelegter Bemessungswasserstand an einem unbeeinflussten Eingangspegel, ein pegelbezogener Oberwasserabfluss und maßgebende Sturmflutereignisse (NLWKN 2007).

Die im Generalplan festgelegten aus heutiger Sicht erforderlichen Maßnahmen verursachen einen Finanzierungsbedarf für das Land Niedersachsen von 520 Mio. Euro und für die Freie Hansestadt Bremen von 100 Mio. Euro in den nächsten Jahren bzw. Jahrzehnten (NLWKN 2007).

In Schleswig-Holstein wird die Bemessung der Küstenschutzanlagen aufgrund der vielschichtigen Interessen und teilweise divergierenden Belange in den Küstengebieten sowie der Erfahrung, dass Küstenschutzplanung keine isolierte Fachplanung mehr ist, im Rahmen eines integrierten Küstenmanagements vorgenommen und unterscheidet sich damit vom Vorgehen Niedersachsens und Bremens. Entscheidender Punkt ist, dass eine risikobezogene Herangehensweise durch ein Risikomanagement vorgenommen wird, die allerdings nicht dazu dient, unterschiedliche Sicherheitsstandards für durch Landesschutzdeiche geschützte Küstenniederungen festzulegen. Zusätzlich soll hierdurch auch die Öffentlichkeit vermehrt an der generellen Planung im Küstenschutz beteiligt und durch Verfahren zur Partizipation die Information der Öffentlichkeit weiter intensiviert werden (MLR 2001).

Risiko im Küstenschutz ist das Produkt aus der Versagenswahrscheinlichkeit von Küstenschutzanlagen und dem Schadenspotenzial und stellt damit ein Maß für die Empfindlichkeit eines Gebietes gegen Schäden dar (SCHUCHARDT & SCHIRMER 2007). Aufgabe des Küstenschutzes in Schleswig-Holstein ist es, die Risiken in den Küstenniederungen durch ein Risikomanagement so gering wie möglich zu halten bzw. zu minimieren. Entsprechend wird durch ein differenziertes Bemessungsverfahren für die Sollabmessung von Landesschutzdeichen, neben dem maßgebenden Sturmflutwasserstand (Bemessungswasserstand) und der maßgebenden Wellenaufbauhöhe, auch ein Sicherheitsmaß für den zukünftige Meeresspiegelanstieg von rund 50 cm berücksichtigt. Im Bemessungswasserstand werden sowohl Eintrittswahrscheinlichkeiten (statistisches Verfahren), als auch Vergleichswertverfahren und Einzelwertverfahren für den Sicherheitsstandard der Küstenschutzanlagen kombiniert (MLR 2001).

Eine Risikoreduzierung kann dadurch erreicht werden, dass entweder die Versagenswahrscheinlichkeit von Küstenschutzanlagen oder das Schadenspotenzial oder beides verringert wird. Auf der Grundlage von Risikobewertungen wie z.B. Kosten-Nutzen-Analysen können angesichts der knappen öffentlichen Mittel Prioritäten gesetzt werden. Die Klimafolgen verstärken die Notwendigkeit für Strategien und Instrumente einer vorsorglichen Küstenschutzplanung, die ein flexibles und zeitnahes Reagieren auf klimawandelbedingte Veränderungen in den hydrologischen Rahmenbedingungen ermöglichen. Die Einführung eines Risikomanagements mit regelmäßiger probabilistischer Überprüfung des Sicherheitsstatus der Küstenschutzsysteme kann dazu beitragen (s.a. Kapitel 7.4).

5.11 Wirtschaft

Analysen der Versicherungsgesellschaft Münchner Rück zeigen, dass sowohl die Zahl von Naturkatastrophen als auch die versicherte Schadenssumme in den letzten Jahren stark zugenommen hat, wobei allerdings auch sozioökonomische Faktoren wie gestiegener Wohlstand und zunehmende Besiedlung gefährdeter Gebiete eine Rolle spielen. So beliefen sich allein in den vergangenen zwei Jahrzehnten die volkswirtschaftlichen Schäden durch extreme Wetterereignisse wie Starkniederschläge mit Hochwasserkatastrophen, häufigere heiße und trockene Sommer sowie heftigere Stürme auf mindestens 18,5 Milliarden Euro. Hiervon sind auch Unternehmen und die von ihnen benötigten Infrastrukturen betroffen (Verkehrs- und Transport- so-

wie Ver- und Entsorgungsinfrastrukturen). Wetter- und klimabedingten Schadenskosten auf für die Wirtschaft dürften zukünftig stark ansteigen (Münchener Rück: <http://www.munichre.com>).

An Weser, Elbe und Ems spielen **Schifffahrtsaktivitäten** und **Hafenwirtschaft** sowie Werften eine große Rolle für die regionale Ökonomie. Die Lage am seeschifftiefen Wasser hat zur Ansiedlung von spezifischen Industrien geführt. Durch den Meeresspiegelanstieg kann es zu leichten Verbesserungen der ökonomischen Funktionen kommen, da die Nutzbarkeit der Ästuale als Schifffahrtsstraße verbessert wird. Dabei ist allerdings die Wassertiefe mehr von politischen Entscheidungen als von Veränderungen der naturräumlichen Situation abhängig, so dass trotz Meeresspiegelanstieg weitere Ausbauten von Elbe und Weser für die Großschifffahrt und von der Ems zur Überführung von Werftneubauten geplant sind (die Eider spielt als Schifffahrtsweg keine Rolle mehr; ein Ausbau ist deshalb auch nicht geplant). Insgesamt ergeben sich voraussichtlich nur geringe Konsequenzen für Schifffahrt und Hafenwirtschaft (BAHRENBERG & KÖNIG 2005). Langfristige Erneuerungsinvestitionen in den Sturmflutschutz der Hafenanlagen müssen den zu erwartenden beschleunigten Meeresspiegelanstieg allerdings berücksichtigen (SCHIRMER & SCHUCHARDT 2005).

Folgen des Klimawandels für den Sektor **Energiewirtschaft** resultieren insbesondere aus der potenziellen Zunahme von Extremereignissen wie Hitzeperioden und Stürme. Diese haben zur Folge, dass für die Energiewirtschaft Risiken aus der Beeinträchtigung der Kühlleistung von thermischen Kraftwerken entstehen, die einerseits aus zu geringen oder zu hohen Abflüssen der Flüsse und andererseits aus der Überschreitung von Schwellenwerten für die Aufwärmung des Flusswassers resultieren. Das gilt nicht nur für den Kraftwerksbetrieb, sondern grundsätzlich für alle Kraft-Wärmeprozesse, die einer mit Hilfe von Flusswasser realisierten Kühlung bedürfen, d.h. auch für Industriebetriebe (BAHRENBERG & KÖNIG 2005, GRABEMANN et al. 2005). Die Kühlkapazität des Wassers wird ebenfalls abnehmen, da sich das Wasser generell erwärmen wird. Gleichzeitig kann das Risiko von Stromausfällen zunehmen, weil die Sommerhitze die Nachfrage nach Klimatisierung und dementsprechend die Nachfrage nach Elektrizität steigen lässt.

Die Stromnetze der Energieunternehmen können zusätzlich durch extreme Ereignisse wie Stürme oder

Bildung von extremen Eislasten geschädigt werden. Die damit möglicherweise verbundenen Stromausfälle verursachen für die Wirtschaft insgesamt Liefer- und Produktionsrisiken. Die Sensitivität dieser **kritischen Infrastrukturen** ist z.B. hinsichtlich der Energieversorgung bei Extremereignissen als hoch anzusehen. Da die Anpassungskapazität für diese Infrastrukturen aufgrund konkurrierende Aspekte zwischen Wirtschaftlichkeit und Sicherheit als vergleichsweise niedrig beurteilt wird und die Dringlichkeit für die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen mittel bis hoch erscheint, ergibt sich eine insgesamt eher hohe Anfälligkeit bzw. Vulnerabilität (BIOCONSULT 2008).

Auch für **Industrie** und **Handel** werden wirtschaftliche Implikationen des Klimawandels – sowohl Risiken als auch Marktchancen – erwartet. Insbesondere sind unternehmerische Strategien, Innovationsanreize und -hemmnisse aus Unternehmenssicht unter Beachtung des Klimawandels zu überprüfen. So bietet z.B. die Entwicklung von Technologien zur Begrenzung des und zum Umgang mit dem Klimawandel neue weltweite Marktpotenziale und veränderte Konkurrenzsituationen, die neue Netzwerke aus Lieferanten, Kunden und Anbietern solcher Produkte erfordert (z.B. Umwelttechnologie und Technologie zur Produktion erneuerbarer Energie wie Windkraft im Offshore-Bereich). Strategische unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit auch im Bereich Forschung und Entwicklung kann dabei helfen, sich den Herausforderungen globaler Märkte und ihren neuen Anforderungen zu stellen.

Der **Tourismus** ist ein äußerst wetter- und klimasensibler Wirtschaftszweig. Wie diese Branche auf den Klimawandel reagieren, Bedrohungen abwenden und neue Erfolgspotenziale bilden kann, bestimmt die Folgen für sie. Der Tourismus an der Nordseeküste ist v.a. mit einem Anstieg des Meeresspiegels und einer Zunahme von Extremwetterlagen konfrontiert, die zu nachteiligen Auswirkungen führen können (z.B. Schädigung und Gefährdungen der touristischen Infrastruktur, reduzierte Wettersicherheit). Durch die wärmeren Sommer könnten sich aber auch Vorteile ergeben, die durch Entwicklung von zukunftsfähigen und nachhaltigen Produkten und Infrastrukturinnovationen genutzt werden könnten. Die zu erwartenden wärmeren und trockeneren Sommer können zu einer erhöhten Nachfrage im Bereich der Fremdenverkehrswirtschaft führen, so dass entsprechende Investitionen lohnend werden können (BAHRENBERG & KÖNIG 2005; DASCHKEIT & SCHOTTES 2005).

Über eine Befragung regionaler Wirtschaftsakteure in der Unterweserregion konnten folgende über Wirkungszusammenhänge zwischen Klimaparametern und Produktionsabläufen entdeckt werden. Der Schiffbau, die Binnen-, Küsten-, und Seeschifffahrt sind unterschiedlich insbesondere vom Anstieg des Tidehubs, der vermehrten Anzahl von Sturmfluten aber auch vom Niederschlag und von der Strömungsgeschwindigkeit der Weser abhängig. Die Binnenschifffahrt schätzt die Folgen als für sich überwiegend negativ ein, während die Seeschifffahrt und der Schiffbau eher die positiven Folgen sehen. Auch der Hoch- und Tiefbau sieht potentiell positive Einflüsse aufgrund der Verlängerungsmöglichkeiten der saisonalen Arbeitsperioden durch wärmere Winter. Es überwiegen die negativen Folgen für die Produktion, was auch aus der quantitativen Einschätzung der Folgen für die Wertschöpfung der Betriebe erkennbar wird. Insgesamt wurden damit die sozioökonomischen Konsequenzen für die Ästuar der Nordseeregion als schwach eingeschätzt (BAHRENBURG & KÖNIG 2005, KNOGGE & ELSNER 2005). Die Befragungen wurden allerdings vor mehreren Jahren durchgeführt, als das Thema noch nicht den derzeitigen Stellenwert auf der Agenda hatte.

Bei der Betrachtung der Klimafolgen für die Wirtschaft muss festgestellt werden, dass umfassende und systematische Bewertungen der möglichen finanziellen Schäden für die einzelnen Wirtschaftssektoren noch nicht verfügbar sind. Zur Verdeutlichung des finanziellen Nutzens einer anspruchsvollen Klimapolitik sollten sektorbezogen und sektorübergreifend die finanziellen Folgen des Klimawandels erforscht werden, um daraus ökonomisch vorteilhafte Anpassungsempfehlungen ableiten zu können. Aktuelle Untersuchungen der wirtschaftlichen Folgen und Konsequenzen des fortschreitenden Klimawandels haben gezeigt, dass sich ein konsequenter Klimaschutz und geeignete Anpassung auch volkswirtschaftlich lohnt. Volkswirtschaftlich gesehen ist es weit aus kostengünstiger, möglichst umgehend Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Anpassung an seine Folgen einzuleiten, als später die Folgen des Klimawandels zu beheben.

5.12 Natura 2000

Die norddeutschen Ästuar weisen eine spezifische Lebensraum- und Artenausstattung auf und sind auch für eine Reihe wandernder / ziehender Arten essentiell. Das hat dazu geführt, dass mittlerweile große Flächen zum europäischen Schutzgebietssystem Natura 2000 gehören (s.o.). Die Mehrzahl der FFH-Gebiete der Ästuar sind auch EU-Vogelschutzgebiete, so dass ein zwischen den Zielen der beiden Richtlinien abgestimmtes Management erforderlich ist. Für die in den Ästuar durch die FFH-RL und die VSchRL geschützten Lebensräume und Arten ist dabei das komplexe Zusammenspiel der verschiedenen Lebensräume wie offenen Wasserflächen, Watten, Salzwiesen und offenen Grünlandflächen, Röhrichten, Gebüschsäumen und Auenwäldern essentiell.

Die in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen voraussichtlichen Auswirkungen des Klimawandels auf die Struktur und Funktion der ökologischen Systeme oder einzelne Kompartimente haben auch deutlichen Einfluss auf die für die Natura 2000-Gebiete formulierten Schutz- und Erhaltungsziele:

- Bereits derzeit beeinträchtigen die sommerlichen Sauerstoffmangelsituationen im potenziellen FFH-Gebiet Unterems die Reproduktion der Finte stark; diese Situation wird sich im Klimawandel ohne Gegenmaßnahmen weiter verschärfen.
- Die erwartete örtliche Abnahme der Salzwiesen- und Wattflächen in den äußeren Ästuar führt zu einer Verkleinerung der FFH-LRT Atlantische Salzwiese und Vegetationsfreies Schlick-, Sand- und Mischwatt sowie weiterer LRT. Gleichzeitig gehen damit auch die Funktionen der Flächen als Brut-, Rast- und Nahrungshabitat für eine Vielzahl von Arten der VSchRL verloren.
- Die erwartete Abnahme der Grünlandflächen in den limnischen Abschnitten der Ästuar führt zu einer Verkleinerung des FFH-LRT Magere Flachland-Mähwiesen in den unbedeichten Vorländern. Gleichzeitig gehen damit auch die Funktionen der Flächen als Brut-, Rast- und Nahrungshabitat für eine Vielzahl von Arten der VSchRL verloren.

- Die Auswirkungen auf die FFH-LRT Auwälder und Hartholzauwälder sind unklar. Die Restbestände sind v.a. ufernah ausgeprägt, wo vermutlich die Kapazität zum Mitwachsen der Geländehöhen ausreicht. Es ist aber nicht auszuschließen, dass potentielle uferfernere Standorte so verändert werden, dass sie ihre Eigenschaft als potentielle Standorte verlieren.
- Für den LRT Ästuarien als Landschaftskomplex aus verschiedenen Biotoptypen mit einem Mosaik aus Flach- und Tiefwasserbereichen, Stromarmen, brackigen (und limnischen) Watt- und Röhrichtflächen, Salzwiesen, Auengebüschen und Tideauwäldern stellt sich die Situation differenziert da. Es sind Verluste für einzelne Habitate (z.B. Salzwiesen; Flachwasserzonen; eventl. bestehende und potentielle Auwaldstandorte), Veränderungen der Struktur (z. B. Röhrichte über MThw zu Röhricht unter MThw) und Verschiebungen von einem Biotoptyp in einen anderen (z.B. Röhricht- und Flachwasserzonen zu Wattflächen) zu erwarten. Tendenziell wird es voraussichtlich zu einer Ausdehnung der Tideröhrichte und damit des LRT Ästuar zu Lasten des LRT Magere Flachland-Mähwiesen kommen. Damit verschieben sich u.a. auch die Funktionen der Flächen für die Arten der VSchRL.
- Sowohl in den inneren als auch den äußeren Ästuar wird es zu Lebensraumverlusten für im Grünland bzw. auf den Salzwiesen brütende und rastende nach der VSchRL geschützte Arten kommen, während Arten der feuchten Röhrichte durch die erwartete Ausbreitung der Röhrichtflächen voraus-

sichtlich profitieren. Verschlechterungen können sich für Arten der Landröhrichte in den Bereichen ergeben, in denen das Mitwachsen gegenüber dem Meeresspiegelanstieg verzögert ist. Verminderungen des Bruterfolgs durch häufigere Überflutungen sind zumindest für Teilflächen anzunehmen.

- Für die unbedeichten Grünland- und Salzwiesenflächen im Vorland (LRT Magere Flachland-Mähwiesen und Atlantische Salzwiese) wird der Klimawandel voraussichtlich dazu führen, dass die heutigen Schutz- und Erhaltungsziele ohne Anpassungsmaßnahmen (s.u.) nicht mehr überall erreicht werden können.

Die Auswirkungen des Klimawandels werden trotz der relativ großen natürlichen Anpassungskapazität der ästuarinen Lebensräume und Arten nicht nur zu Verschiebungen sondern auch zu Verlusten besonders bei der Ausdehnung einzelner LRT führen. Da die Verlagerung dieser Lebensräume in Richtung Land durch Küstenschutzmaßnahmen sowie wirtschaftliche und andere Interessen im Hinterland nicht oder nur für Teilfunktionen möglich ist, wird ohne entsprechende Maßnahmen für den Naturschutz das Vorkommen schutzwürdiger Bereiche abnehmen. Ein klimawandelbedingter Verlust dieser geschützten Lebensräume, die sowohl national wie auch international zu den bedrohten Lebensräumen gehören, verlangt nach Lösungen bzw. Maßnahmen, die u.a. in der Öffnung von Sommerpoldern und Rückdeichungen liegen können.

6 Weitere Veränderungen

Der Klimawandel beginnt sich derzeit zu manifestieren, die in der vorliegenden Studie umrissene Ausprägung wird sich jedoch erst in der Zukunft so oder ähnlich ausprägen. Der zukünftige Klimawandel wird also auf eine dann ebenfalls gewandelte Gesellschaft wirken, deren gesellschaftliche, politische und wirtschaftliche Ausprägung wir heute ähnlich wenig sicher vorher-sagen können wie die Ausprägung des Klimawandels selbst. Sicher ist allerdings, dass sich die Region verändern wird und die zukünftige Veränderung des Klimas damit nicht auf den derzeitigen naturräumlichen und gesellschaftlichen Zustand wirken wird (SCHIRMER & SCHUCHARDT 2005).

Dieser zentrale Aspekt wurde im Projekt KLIMU durch die Skizzierung verschiedener Zukünfte in sog. Zukunftsbildern bearbeitet. Die Formulierung möglich erscheinender plausibler Zukünften der Region als Szenarien ermöglicht es, sich methodisch der impliziten Unsicherheit der Klimawirkungsforschung nähern zu können. Dieses Vorgehen sollte Hinweise darauf geben, ob bestimmte zukünftige Veränderungen zu einer Erhöhung oder einer Reduzierung der Klimasensitivität führen können (SCHUCHARDT & SCHIRMER 2005).

In den Zukunftsbildern sind Veränderungen an der Schnittstelle zwischen Natur und Gesellschaft formuliert und in ihren Konsequenzen analysiert worden (SCHUCHARDT et al. 2005). Neben langfristigen sozioökonomischen Entwicklungspfaden sind verschiedene mögliche Entwicklungen der Landwirtschaft bzw. -nutzung in der Region skizziert und in ihren Wirkungen für die Klimasensitivität beurteilt worden (BAHRENBURG 2005). Die Zukunftsbilder differenzieren hinsichtlich möglicher Veränderungen der Landnutzung (Extensivierung versus Intensivierung) sowie möglicher Veränderungen der Tiefe der Schifffahrtsstraße Unter- und Außenweser (Vertiefung versus Verflachung).

Das Zukunftsbild „fortschreitende Intensivierung“ der landwirtschaftlichen Nutzung würde tendenziell die Klimasensitivität der Region erhöhen, da die Oberflächenabflüsse (geringfügig) zunehmen und damit sich die klimabedingt erhöhten zu pumpenden Wassermengen weiter vergrößern würden (MANIAK et al. 2005, s.a. Kapitel 5.9). Das Zukunftsbild „Extensivierung“ würde dagegen tendenziell zu einer Reduzierung der Empfindlichkeit gegenüber einer Klimaänderung führen, da sich die Wassermengen verringern würden und der sich einstellende Biotoptyp mesophiles Grünland

toleranter gegenüber veränderten Standortbedingungen wäre (KRAFT et al. 2005). Die aktuellen Klimaschutzbemühungen der Bundesregierung, den Anteil von Biokraftstoffen am gesamten verkehrsbedingten Benzin- und Dieserverbrauch bis 2020 um 10 Prozent zu erhöhen, führt zu deutlich gesteigerter Flächennachfrage seitens der Landwirtschaft. Auch der zunehmende Anbau von Energiepflanzen zur Stromproduktion hat die Flächennachfrage und -preise steigen lassen und könnte eine Nutzungsintensivierung nach sich ziehen. Insgesamt zeigt sich für verschiedene mögliche Entwicklungen der Landwirtschaft jedoch, dass die zukünftige Entwicklung der Landnutzung in der Nordseeregion in sehr viel stärkerem Maße von Veränderungen der politischen und wirtschaftlichen Randbedingungen geprägt wird als von den absehbaren Veränderungen des Klimas (BAHRENBURG 2005).

Das Zukunftsbild „Vertiefung des Weserfahrwassers“ würde tendenziell die Klimasensitivität erhöhen, allerdings nur in einem relativ geringen Maß. Mit der Vertiefung würden die Veränderungen, die durch den sukzessiven Ausbau der Unter- und Außenweser zum Großschifffahrtsweg in den vergangenen 120 Jahren entstanden sind (s. Kap. 2) fortgesetzt. Im Gegensatz dazu würde das Zukunftsbild „Verflachung des Weserfahrwassers“ die Klimasensitivität tendenziell reduzieren. Mit einer Verflachung ist eine Trendumkehr bei vielen der für die Vertiefungen beschriebenen Veränderungen verbunden, die unter naturschutzfachlichen Gesichtspunkten positiv beurteilen würden. Allerdings würde dieses zu massiven Einschnitten in der stadtbremischen Hafenwirtschaft (s.a. Kapitel 5.11) und zu einer deutlich erschwerten Entwässerung der Marschen führen (SCHIRMER & SCHUCHARDT 2005).

Die Ergebnisse zeigen insgesamt, dass die definierten Zukunftsbilder die Sensitivität der Region gegenüber einem Klimawandel schwach und z.T. deutlich verändern können. Dabei kann sich diese Sensitivität je nach Zukunftsbild sowohl reduzieren als auch erhöhen. Unter dem Gesichtspunkt der langfristigen Vorsorge sollten deshalb bei zukünftigen Planverfahren, z.B. im Rahmen von Umweltverträglichkeitsstudien, immer auch die Konsequenzen der Planungen für die Klimasensitivität des Raumes bzw. bestimmter Parameter analysiert werden (SCHUCHARDT & SCHIRMER 2005).

7 Anpassungserfordernisse und -optionen

In Kap. 5 ist deutlich geworden, dass der Klimawandel für die norddeutschen Ästuarie eine Reihe von Randbedingungen so verändern wird, dass zum einen natürliche Anpassungsprozesse ausgelöst werden, dass zum anderen aber auch aktive Anpassungsentscheidungen verschiedener Akteure erforderlich werden. Handlungsbedarf besteht v.a. für den Küstenschutz (SCHUCHARDT & SCHIRMER 2006); dazu sind erste Entscheidungen bereits gefallen. So wird in mehreren Küstenbundesländern ein beschleunigter Meeresspiegelanstieg bei der Deichbemessung bereits berücksichtigt. Im folgenden Kapitel werden absehbare natürliche Anpassungsprozesse und mögliche gesellschaftliche Anpassungserfordernisse und -optionen dargestellt und mit ihren Konsequenzen bzgl. Umsetzbarkeit, Konflikten und Chancen im Zusammenhang mit dem Naturschutz diskutiert.

Klimaanpassungsmaßnahmen dienen der Bewältigung der Folgen eines sich wandelnden Klimas und der Vermeidung künftiger Gefährdungen. Anpassung zielt darauf ab, die Risiken und Schäden gegenwärtiger und künftiger negativer Auswirkungen zu verringern oder damit potenzielle Vorteile zu erzielen, wobei sie jedoch auf Hürden, Grenzen und Kosten stößt. Klimaanpassung sollte sowohl nationale als auch regionale Strategien sowie praktische Maßnahmen auf allen politischen Ebenen oder von Privatpersonen beinhalten. Sie kann vorsorgend oder reaktiv sein und sie betrifft sowohl natürliche als auch soziale Systeme.

Anpassung an sich ändernde Randbedingungen ist eine vorhandene Eigenschaft aller natürlichen und gesellschaftlichen Systeme. Dazu gehören ein sich änderndes bzw. variables Klima, veränderte ökonomische Randbedingungen und sich ändernde menschliche Bedürfnisse. Die vorhandenen „Mechanismen“ zur Anpassung sollten genutzt und gefördert werden; das gilt in besonderer Weise für die Kapazität des Marktes und seiner wirtschaftlichen Akteure. Bei ohnehin stattfindenden Planungen und Veränderungen kann und muss der Klimawandel angemessen berücksichtigt werden. Anpassungsstrategien sollten deshalb die Anpassungskapazität der natürlichen und sozioökonomischen Systeme nutzen und fördern (BIOCONSULT 2008).

7.1 Natürliche Anpassungsprozesse

Die in Kap. 5 als Folgen des Klimawandels beschriebenen Veränderungen des ästuarinen Ökosystems stellen gleichzeitig den natürlichen Anpassungsprozess dieses Systems an die sich ändernden Randbedingungen dar. Der Klimawandel wird sich u.a. in einem veränderten

Artenspektrum und veränderten Biotopstrukturen und -anteilen manifestieren. Neben diesen Prozessen ist v.a. das Mitwachsen der Watt- und Vorlandflächen mit dem beschleunigt steigenden Meeresspiegel der zentrale natürliche Anpassungsprozess, der nicht nur die biologische Funktion der Flächen beeinflusst, sondern auch deren Nutzbarkeit durch die Landwirtschaft und ihre Funktion als Teil des Küstenschutzsystems.

Aufgrund der natürlichen Dynamik und des hohen Schwebstoffdargebots ist ein Mitwachsen der naturnahen Vorlandflächen besonders in den inneren Ästuaren in Grenzen möglich; eingeschränkt ist es vermutlich in gewässerferneren Bereichen und im limnischen Abschnitt. Sehr stark reduziert ist das Potential zum Mitwachsen allerdings auf sommerbedeichten Flächen, auf denen die seltenen Überflutungen nur einen geringen Sedimenteintrag ermöglichen. Ein Öffnen der Sommerdeiche erhöht den Schwebstoff- und Sedimenteintrag und damit das Potential zum Mitwachsen. Das gilt sowohl für Sommerpolder in den inneren wie auch in den äußeren Ästuaren. Dabei ist sowohl die Erreichbarkeit der Flächen durch die Gezeiten als auch die Entwässerung eine Voraussetzung (WITTIG et al. 2004).

Neben der Erreichbarkeit durch die Gezeiten ist für das Mitwachsen auch die Ausprägung der Vegetation von Bedeutung, da höher aufwachsende Pflanzen den Sedimentrückhalt bei Überflutung erhöhen. Dies ist eher durch naturnahe Biotoptypen wie nicht oder nur extensiv genutzte Salzwiesen in den äußeren Ästuaren oder Röhrichte und Rieder statt genutztem Grünland in den inneren Ästuaren gewährleistet; sie erhöhen also die Anpassungskapazität.

Zur Unterstützung der natürlichen Anpassungsfähigkeit, die durch die Vegetation der Salzwiesen und Pionierzonen geleistet wird, hat sich in der Vergangenheit die Anlage von Lahnungen und Lahnungsfeldern zur Gewinnung von Land bewährt (FIEGE et al. 1996). Durch sie wird die Sedimentrückhaltekapazität verstärkt – vorausgesetzt, die Lahnungshöhe steht in einem bestimmten Verhältnis zur Lage des MThw. Zusätzlich sollte das Watt vor dem Vorland nicht zu tief liegen da sonst die Wellen- und Strömungsenergie, die auf die Lahnungen wirkt, eine Sedimentation verhindert und das Bauwerk in seiner Stabilität gefährdet. Die Anlage von Lahnungen zur Unterstützung der natürlichen Anpassungskapazität hat trotzdem in der Vergangenheit zu umfangreichen Vorlandgewinnen geführt, erfordert allerdings erheblichen Aufwand und ist gerade bei einem beschleunigt steigenden Meeresspiegel nicht

überall im Küstenvorfeld realisierbar. Als Bestandteil einer „weichen“ Küstenschutzstrategie kann sie jedoch auch zukünftig eine Option für den Küstenschutz sein. Alternativ schlägt u.a. REISE (2005) Sandvorspülungen auch an erodierenden Vorlandkanten vor.

Vollständig unterbrochen ist das Mitwachsen mit dem steigenden Meeresspiegel in der Marsch im Binnenland. Seit der Errichtung der Deiche vor ca. 1000 Jahren ist dieser Prozess nicht nur unterbrochen, sondern durch die Entwässerung und dadurch verursachte Bodenschrumpfung im Binnenland sogar eine gegenläufige Entwicklung ausgelöst worden. Deshalb liegen bereits heute weite Bereiche der Marschen unter MThw. Das historisch entstandene Wassermanagementsystem ermöglicht zwar weiterhin die Entwässerung; zunehmende Mengen müssen jedoch gegen das Gefälle nach buten gepumpt werden. Durch den beschleunigten Meeresspiegelanstieg wird sich das Gefälle zwischen Außen- und Binnendeichs weiter erhöhen und damit verbundene Probleme wie Versalzung, Kosten für die Entwässerung und Schadenspotential im Falle eines Deichversagens vergrößern. Grundsätzlich ist dieser Entwicklung nur dadurch zu begegnen, dass auch im Binnenland wieder die Möglichkeit zum Mitwachsen geschaffen wird. Dies ist prinzipiell durch Deichrückverlegungen oder gezielte Überflutungen in gepolderten Bereichen möglich, wie es z.B. von REISE (2005) und FLEMMING (2007) in die Diskussion eingebracht werden. Dies greift zwar tief in bestehende Nutzungsstrukturen ein und die Akzeptanz ist gering, kann jedoch für die Sicherstellung der langfristigen (mehrere hundert Jahre) Besiedel- und Nutzbarkeit der Ästuar marschen erforderlich werden (s.u.).

7.2 Natura 2000

Große Flächen in den norddeutschen Ästuaren sind Bestandteil des europäischen Schutzgebietssystems Natura 2000 (s.o.). Die Mehrzahl der FFH-Gebiete der Ästuar sind auch EU-Vogelschutzgebiete, so dass ein zwischen den Zielen der beiden Richtlinien abgestimmtes Management erforderlich ist. Für die in den Ästuaren durch die FFH-RL und die VSchRL geschützten Lebensräume und Arten ist dabei das komplexe Zusammenspiel der verschiedenen Lebensräume wie offenen Wasserflächen, Watten, Salzwiesen und offenen Grünlandflächen, Röhrichten, Gebüschsäumen und Auenwäldern essentiell.

Die durch den Klimawandel verursachten oder verstärkten Veränderungen und Verluste sind oben bezogen

auf die Schutz- und Erhaltungsziele charakterisiert. Für das zukünftige Management der Natura 2000 Gebiete ergeben sich daraus eine Reihe von Konsequenzen sowohl grundsätzlicher als auch spezifischer Art:

- Insgesamt sind heutige und müssen zukünftige Naturschutzgebiete und -strategien in der Lage sein, zum Erhalt der biologischen Vielfalt beizutragen. Insbesondere unter Klimawandelbedingungen sind intakte Lebensräume bzw. Ökosysteme und Artenvielfalt besonders wichtig, denn funktionierende und gut vernetzte Ökosysteme leisten selbst einen bedeutenden Beitrag gegen den Klimawandel: Sie unterstützen vom Aussterben bedrohte Tier- und Pflanzenarten und binden darüber hinaus beachtliche Mengen von Kohlendioxid. Aktiver Biodiversitätsschutz sollte also fester Bestandteil jeder Klimaschutzstrategie sein und in angepasste Naturschutzmanagementstrategien eingebunden werden (KORN & EPPL 2006). Naturnahe ästuarine Lebensräume entsprechen diesen Anforderungen und sollten deshalb erhalten und entwickelt werden.
- Unter Klimawandelbedingungen ist konservierender Naturschutz, der auf überwiegend kleinflächige Schutzgebiete konzentriert ist, mehr oder weniger chancenlos (LEUSCHNER & SCHIPKA 2004). Deshalb müssen als Klimaanpassung die Grundlagen für ein an den Klimawandel angepasstes Management von Naturschutzgebieten und für einen Verbund von Schutzgebieten geschaffen werden. Dabei sollte insbesondere die ökologische Kohärenz innerhalb Europas gewährleistet sein (LEUSCHNER & SCHIPKA 2004). Das bedeutet für die Ästuar, dass v.a. ihre großräumige Funktion für wandernde und ziehende Arten sichergestellt werden sollte.
- Die Anfälligkeit von Schutzgebieten hängt von der regional differenzierten und spezifischen Sensitivität von Arten und Lebensräumen gegenüber dem Klimawandel ab (<http://www.pik-potsdam.de/vme/schutzgebiete>). Die Anfälligkeit ist für die überwiegend an dynamische Umweltbedingungen angepassten ästuarinen Lebensräume und Arten relativ gering. Für die Ästuar sollte langfristig orientiertes Schutzgebietsmanagement deshalb auf die Förderung naturnaher ästuariner Lebensräume zu Lasten von landwirtschaftlich genutzten Lebensräumen zielen, da diese eine höhere Anpassungskapazität aufweisen. Auswirkungen auf die Avifauna müssen ggfls. durch Maßnahmen binnendeichs kompensiert werden (s.u.)

- Die erwartete örtliche Abnahme der Salzwiesen- und Wattflächen in den äußeren Ästuaren führt zu einer Verkleinerung der FFH-LRT Atlantische Salzwiese und Vegetationsfreies Schlick-, Sand- und Mischwatt sowie weiterer LRT. Gleichzeitig gehen damit auch die Funktionen der Flächen als Brut-, Rast- und Nahrungshabitat für eine Vielzahl von Arten der VSchRL verloren. Dies kann durch Anpassungsmaßnahmen wie Lahnungsbau, ggfls. Sandvorspülungen, Öffnung von Sommerdeichen und ggfls. Rückdeichungen reduziert werden. Gleichzeitig kann damit trotz Meeresspiegelanstieg die Funktion des Vorlandes für das Küstenschutzsystem erhalten werden.
- Die erwartete Abnahme der Grünlandflächen in den limnischen Abschnitten der Ästuar führt zu einer Verkleinerung des FFH-LRT Magere Flachland-Mähwiesen in den unbedeichten Vorländern. Gleichzeitig gehen damit auch die Funktionen der Flächen als Brut-, Rast- und Nahrungshabitat für eine Vielzahl von Arten der VSchRL verloren. Die ökologische Funktion dieser Flächen z.B. für Rastvögel kann bei angepasster Landnutzung auch auf binnendeichs liegenden Flächen entwickelt werden (SCHRÖDER 2000).
- Der LRT Ästuarien als Landschaftskomplex aus verschiedenen naturnahen Biotoptypen weist insgesamt ein hohes Anpassungspotential auf; dies gilt jedoch nicht für alle Bestandteile. Der Komplex wird sich insgesamt unter Klimawandelbedingungen eher vergrößern, wenn die landwirtschaftliche Nutzung von Vorlandflächen aufgrund der Zunahme der Überflutungshäufigkeit reduziert wird und / oder Sommerdeiche geöffnet werden. Für einzelne Arten oder Biotoptypen wird es dabei jedoch auch zu Verlusten kommen. Als Anpassungsmaßnahme ist hier v.a. die Zulassung einer möglichst freien Dynamik zu nennen, so dass sich die Profile und damit die Biotoptypen in Sub- und Eulitoral sowie im Vorland an die Veränderungen des Meeresspiegels und die Zunahme des Tidehubs anpassen können.
- Für einen Teil der unbedeichten Grünlandflächen im Vorland wird der Klimawandel voraussichtlich dazu führen, dass die heutigen Schutz- und Erhaltungsziele nicht mehr überall erreicht werden können. Die Formulierung der Schutzziele in Schutzgebietsverordnungen und ihrer Umsetzung in Pflege-, Entwicklungs- und Managementpläne muss entsprechend angepasst werden (s. auch <http://www.pik-potsdam.de/vme/schutzgebiete>). Für den LRT

Ästuar werden sich eine Ausdehnung zu Lasten von Grünlandflächen und Verschiebungen zwischen einzelnen Biotoptypen ergeben.

- Die Verkleinerung der Vorländer, die dort, wo ein Mitwachsen nicht möglich ist, durch ein „Zusammenquetschen“ vor der feststehenden Hauptdeichlinie charakterisiert ist, kann möglicherweise nur dadurch abgemildert werden, indem diesen Ökosystemen in Richtung Land mehr Raum gegeben wird; Rückdeichungen oder 2. Deichlinien wären in diesem Fall geeignete Maßnahmen (REISE 2005; FLEMMING 2007), die jedoch mit erheblichen Kosten und Akzeptanzproblem verbunden sind ; s. Kap. 7.5).

7.3 Reduzierung des Tidehubs

Da die Fahrrinnen der Ästuar von Ems, Weser und Elbe in den vergangenen 150 Jahren für immer größere Schiffe vertieft wurden, hat sich die hydro- und morphodynamische wie auch die ökologische Situation stark verändert (s. Kap. 2); ein Indikator für diese Veränderungen ist der Anstieg des Tidehubs (SCHUCHARDT et al. 2007). Der damit verbundene Anstieg des MTHW hat auch die Sturmflutseitel erhöht und tendenziell erhöht jeder weitere Ausbau diesen weiter. Die mit den Ausbauten verbundene morphologische Glättung hat zusätzlich die Vorwarnzeiten reduziert. Gleichzeitig hat die Erhöhung des Tidehubs auch die ökologische Situation deutlich beeinträchtigt und besonders in Ems und Elbe den Stromauf-Transport von Material verstärkt. Durch den beschleunigten Meeresspiegelanstieg und die damit verbundene weitere Erhöhung des Tidehubs wird diese Entwicklung in Zukunft weiter verstärkt werden. Die Auswirkungen des Klimawandels können deshalb durch Maßnahmen abgeschwächt werden, mit denen der Tidehub reduziert oder zumindest nicht weiter erhöht wird. Dazu ist grundsätzlich natürlich eine Wiederverflachung der Fahrrinnen geeignet, wie es im Projekt KLIMU als „Zukunftsbild“ für die Unterweser in seinen Auswirkungen parallel zu einer weiteren Vertiefung abgeschätzt worden ist (SCHUCHARDT et al. 2005): Eine Vertiefung der Außenweser um 2 m auf 16,5 und der Unterweser zwischen Brake und Bremerhaven um 2 m auf 11 m unter Seekartennull (SKN) führt unter den Bedingungen des KLIMU-Szenarios (MW Deutsche Bucht +55 cm) zu einem zusätzlichen Anstieg des MThw um 1-2 cm, erniedrigt das MTnw um 2-5 cm und vergrößert den Tidehub entsprechend. Alternativ würde eine Verflachung der Unterweser, z.B. infolge

reduzierter Unterhaltung, zwischen Bremerhaven und Brake von 9 auf 6 m unter SKN und bis Bremen von neun auf vier Meter zu einer deutlichen Reduzierung des Tidehubs von vier auf zwei Meter führen, wobei das MTnw um 1,6 m ansteigt und das MThw um 0,4 m sinkt.

Realitätsnäher als eine solche Wiederverflachung, die die Nutzung als Seeschiffahrtsstraße beenden würde sind Maßnahmen, mit denen unter Beibehaltung der Fahrwassertiefen der Tidehub reduziert werden kann. Dies sind solche Maßnahmen, die Flutraum im inneren Ästuar wieder herstellen bzw. die Rauigkeit der durchströmten Querschnitte erhöhen (HEYER 2006). Solche Maßnahmen sind für die Unterelbe im sog. Tideelbe-Konzept zusammengestellt worden (HPA/WSD 2006). Solche Konzepte erscheinen derzeit noch eher visionär und nur sehr langfristig umsetzbar, sie könnten jedoch die Anpassungskapazität an den Klimawandel erhöhen, gleichzeitig die ökonomische Bedeutung der Hafenstandorte sichern und die Lebensraumausstattung der Ästuar verbessern. Hier könnten sich neue Allianzen auch für eine langfristige Strategie des Naturschutzes ergeben.

7.4 Küstenschutz

Es ist deutlich geworden, dass der Klimawandel den Küstenschutz zu Anpassungsmaßnahmen zwingt, um die derzeitigen Sicherheitsstandards zu halten. Der Küstenschutz musste schon in der Vergangenheit ständig auf die Veränderungen des Meeresspiegels und die Höhe von vergangenen Sturmfluten reagieren. Es ist erhebliche organisatorische, technische und ökonomische Kapazität bereitgestellt worden und seit 1962 konnten so größere Schäden vermieden werden.

Anpassung an ein sich wandelndes Klima haben also sowohl die natürlichen als auch die gesellschaftlichen Systeme immer vollzogen. So ist die Gesellschaft an der deutschen Nordseeküste durch ihre stete Anpassung an einen sich ändernden Meeresspiegel geprägt worden. Der beschleunigte Meeresspiegelanstieg betrifft also eine Gesellschaft, die sowohl die soziale Organisation, die ökonomischen Möglichkeiten als auch die Techniken entwickelt hat, diesem erfolgreich zu begegnen. Ergebnisse verschiedener Klimafolgenforschungsprojekte (s.a. Kap. Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.) haben gezeigt, dass die kurz- und mittelfristige (mindestens 50 Jahre) Anpassung an den Klimawandel im Küstenschutz mit den etablierten Bemessungsverfahren, der etablierten Küstenschutzstrategie und der

derzeitigen Organisation bei einer allerdings entsprechenden Erhöhung der finanziellen Ressourcen realisiert werden kann.

Die dargestellte Reduzierung des Sicherheitsniveaus im Klimawandel erfordert allerdings zusätzlich Anpassungsanstrengungen und mittel- bis langfristig (>50 Jahre) ist eine Weiterentwicklung der gegenwärtigen Küstenschutzstrategie erforderlich (VON LIEBERMAN & VON LIEBERMAN 2003; CPSL 2005; SCHIRMER et al. 2007). Es können unterschiedliche Strategien des Küstenschutzes, mit denen eine Anpassung des Küstenschutzsystems an den beschleunigten Meeresspiegelanstieg erfolgen kann, unterschieden werden.

Die Anpassungsmaßnahmen des Küstenschutzes können, je nach Art, Umfang und Ausführung für den Naturschutz wertvolle Bereiche beeinträchtigen oder u.U. auch fördern. Dies wird im Folgenden ebenfalls jeweils kurz angesprochen.

Verteidigung

Die aktuelle Strategie einer Anpassung an den säkularen Meeresspiegelanstieg ist die Verstärkung der vorhandenen Hauptdeichlinie auf die jeweils neu festgelegten Bemessungshöhen. Eine Voraussetzung hierfür ist jedoch das Vorhandensein von genügend Fläche für die mit einer Erhöhung einhergehende Verbreiterung des Deichfußes. Zudem muss der Untergrund ausreichend stabil sein, um dem zusätzlichen Gewicht standzuhalten. Ein weiteres Problem stellt die Verfügbarkeit von ausreichenden Mengen Kleibodens dar, der zur Abdeckung des Deichkörpers benötigt wird. Dieser darf aufgrund der Unterschutzstellung der Vordeichsflächen als Teil des Nationalparks Niedersächsisches Wattenmeer dort nur noch eingeschränkt abgebaut werden. Die Gewinnung des benötigten Kleibodens kann v.a. mit der Landwirtschaft Konflikte verursachen. Diese Variante setzt die gegenwärtige Strategie des linienhaften Küstenschutzes fort (KUNZ 2004). Sie ist die mit dem aus heutiger Sicht günstigsten Kosten-Nutzen-Verhältnis und der größten Akzeptanz in der Bevölkerung und den Fachverwaltungen. Sowohl das politisch-administrative System als auch die Öffentlichkeit favorisieren im Wesentlichen eine Fortsetzung der bekannten Maßnahmen wie z.B. Deichverstärkung, Strandvorspülung, Vorland-sicherung usw. (weitere Details in SCHUCHARDT & SCHIRMER 2007). Allerdings kann bei dieser Strategie unter Klimawandelbedingungen bei einem Deichbruch aufgrund des höheren Meeresspiegels mehr Wasser einfließen und erheblich größere Schäden verursachen,

weshalb die Stärke und Stabilität der Deiche überproportional erhöht werden muss (SCHIRMER & WITTIG 2007).

Die Verteidigung auf vorhandener Linie kann durch die erforderliche Verbreiterung des Deichfußes für den Naturschutz wertvolle Bereiche beeinträchtigen. Das gilt besonders bei Verstärkungen nach außendeichs. Diese bereits derzeit vorhandenen Konflikte können sich verstärken oder es werden, wie es auch jetzt bereits örtlich erfolgt, die Verbreiterungen nach binnendeichs durchgeführt.

Anpassung

Unter diesem Begriff werden hier verschiedene Maßnahmen zusammengefasst, die insgesamt eine Abkehr von der Strategie des linearen Küstenschutzes hin zu einem flächenhaften oder raumbezogenen Küstenschutz (KUNZ 2004) bedeuten

2. Deichlinie: eine zweite Deichlinie kann mit dem Ziel erreicht werden, die nach einem Versagen des Hauptdeiches überflutete Fläche im Hinterland und damit das Schadenspotenzial zu begrenzen; sie übernimmt nicht die Funktion der bestehenden Hauptdeichlinie. Sie muss von zusätzliche Maßnahmen wie Objektschutz und Evakuierungsplänen für die Flächen vor der zweiten Deichlinie begleitet werden, da sich hier das Überflutungsrisiko bei nicht angepasster Hauptdeichlinie erhöhen würde. Es konnte gezeigt werden, dass insgesamt das Schadenspotenzial nach angenommenen Deichversagen durch eine 2. Deichlinie deutlich reduziert werden kann, jedoch ein Kosten-Nutzen-Vergleich nicht in jedem Fall positiv ausfällt (SCHIRMER et al. 2007).

Sturmflutpolder: Eine zweite Möglichkeit der Anpassung stellt die Flutraumgewinnung in den inneren Ästuaren durch die Nutzung des Flutraums in den Nebenflüsse sowie den Bau von Poldern mit entsprechenden Polderflächen zum Wasserrückhalt und ggfls. Bauwerken zur Wassersteuerung dar. Für die Unterweser kann durch die Anlage von Sturmflutentlastungspoldern mit einer gesamten Flächengröße von ca. 5.000 ha erreicht werden, dass ein Sturmflutscheitel um ca. 50 cm, bei Ausdeichung der Luneplate um bis zu 70 cm gesenkt werden kann. Allerdings sind die Kosten hoch und die Akzeptanz gering (GRABEMANN et al. 2005, SCHUCHARDT et al. 2008).

Die Entlastungspolder müssen bei bzw. vor Erreichen eines Tidehöchstwasserstandes in der Unterweser

geöffnet werden, wodurch eine schnelle Füllung der Polder möglich ist und sich nach drei Stunden in allen drei Poldern Wasserstände zwischen rund zwei und vier Meter NN ergeben (BRENCHER et al. 2007). Bei Anschluss nur des Polders B kann der maximale simulierte Wasserstand am Pegel Weserwehr UW von 6,52m um rund 2% (14 cm) abgesenkt werden. Die Wasserstands-differenzen bei maximalem Wasserstand nehmen bis Nordenham (Wasserstandsabsenkung 7 cm) kontinuierlich ab. Die maximalen Wasserstandsdifferenzen im gesamten Bereich der Hochwasserwelle liegen zwischen 22 cm am Pegel Weserwehr Unterwasser und 7 cm am Pegel Nordenham. Bei dem auf das Sturmflutereignis folgende Tidehochwasser ergeben sich Wasserstandsabsenkungen von ca. 5% (zwischen 27 cm am Pegel Weserwehr UW und 13 cm am Pegel Nordenham; BRENCHER et al. 2007). Die Wasserstandsabsenkungen beim Anschluss aller drei Polder liegen im Sturmflutscheitel zwischen 47 cm (ca. 8%) am Pegel Bremen Große Weserbrücke und 17 cm (ca. 3%) am Pegel Nordenham. Die im gesamten Bereich der Hochwasserwelle sind maximale Wasserstandsabsenkungen zwischen 67 cm am Pegel Bremen Große Weserbrücke und 23 cm am Pegel Nordenham zu erreichen. Bei dem auf das Sturmflutereignis folgende Tidehochwasser ergeben sich Wasserstandsabsenkungen von ca. 11% (zwischen 62 cm am Pegel Weserwehr Unterwasser und 23 cm am Pegel Nordenham)(BRENCHER et al. 2007). Die landwirtschaftliche Nutzung innerhalb der unbesiedelten Polder kann fortgeführt werden; möglich ist auch die naturnahe Entwicklung

Wenn steuerbare Ein- und Auslassbauwerke errichtet werden ist es auch denkbar, die Sturmflutentlastungsfunktion mit naturnaher Entwicklung und einem Mitwachsen der Flächen zu verbinden: durch die Bauwerke hat die Normaltide freien Zugang in den Polder und kann hier zu entsprechender Sedimentation führen. Im Sturmflutfall wird das Bauwerk geschlossen und erst kurz vor Erreichen des Sturmflutscheitels geöffnet, so dass die absenkende Wirkung des Polders in vollem Umfang genutzt wird.

Rückdeichungen: Rückdeichungen mit dem Ziel einer Vergrößerung des Flutraumes spielen im Hochwasserschutz an Flüssen eine zunehmende Rolle und können die Flutspitzen effektiv senken. An der offenen Küste dagegen können die Sturmflutspitzen durch Deichrückverlegungen kaum verändert werden, da die nachlaufenden Wasservolumina praktisch unbegrenzt sind. Die Ästuare und besonders die inneren Ästuare nehmen eine mittlere Stellung ein: die Senkung der Sturmflut-

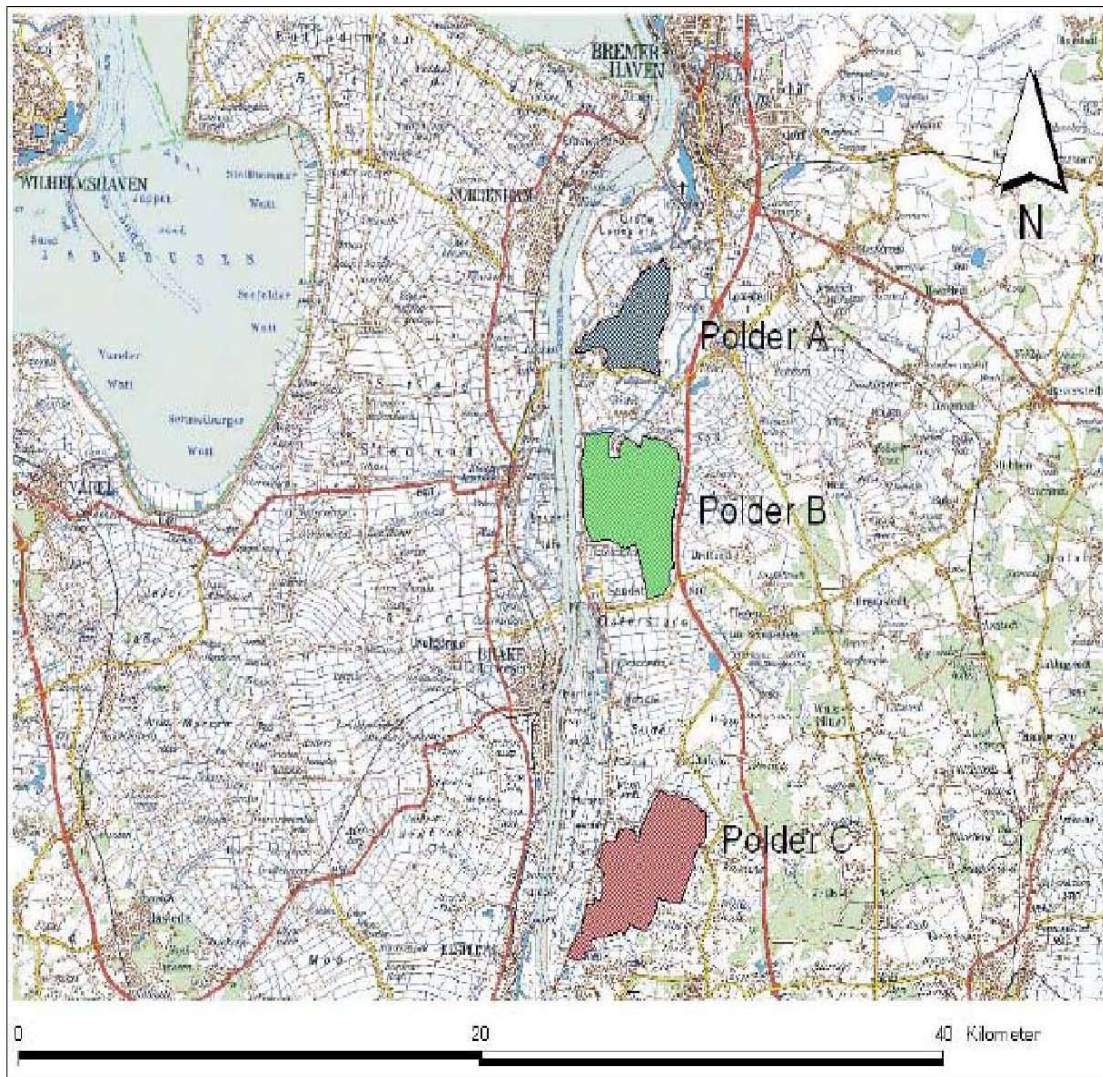


Abb. 5: Lage möglicher Sturmflutentlastungspolder in der Unterweserregion (aus BRECHER et al. 2007).

scheitel durch Rückdeichungen (oder, wirksamer, Überlaufpolder) ist umso erfolgreicher, je weiter stromauf die Maßnahme erfolgt. Grundsätzlich sind, ähnlich wie bei Überlaufpoldern (s.o.), Absenkungen der Sturmflutspitzen möglich; allerdings sind sehr großflächige Rückdeichungen erforderlich. Die im Tideelbe-Konzept skizzierten Rückdeichungen, gekoppelt mit weiteren Veränderungen der Morphologie die Tidehub und tidal pumping reduzieren (HPA/WSA 2006) weisen hier vermutlich den Weg (s. auch WORTH & VON STORCH 2008). Durch Rückdeichungen würden gleichzeitig ästuarine Lebensräume wieder hergestellt und der Verlust bedrohter Lebensraumtypen durch die erhöhten Wasserstände und Erosionsprozesse ausgeglichen.

Vorlandentwicklung: Weitere Maßnahmen dieser raumbezogenen Strategie sind solche, die in der Lage sind, die existierenden Vorländer zu erhalten bzw. zu vergrößern, da diesen flächenhaften Schutzelementen erhebliche Bedeutung im Küstenschutzsystem zu

kommt (MAI 2004, MAI et al. 2007). Gleichzeitig wird die Ausdehnung des Lebensraumes Salzwiese gesichert bzw. vergrößert. So erfolgt an einigen Küstenabschnitten der äußeren Ästuarie vor den Deichen eine Vorland-sicherung durch Lahnungen, die unter Klimawandelbedingungen vermutlich verstärkt werden müsste. Vordringen

Diese Strategie beinhaltet die Verkürzungen der Deichlinie durch Begradigungen oder das Abdeichen von Buchten. Diese Maßnahmen spielten historisch im Küstenschutz, verstärkt durch die Motivation der Landgewinnung, eine zentrale Rolle. Am Elbästuar ist es nach der Sturmflut 1962 zu großflächigen Vordeichungen gekommen. In den Ästuarie gehört zur Variante Vordringen auch der Bau von Sturmflutsperrwerken, durch die die Gebiete hinter dem Sperrwerk aus dem unmittelbaren Gefahrenbereich einer Sturmflut herausgenommen werden. Sturmflutsperrwerke sind an Eider und Ems realisiert. Allerdings müssen die hinter dem

Sperrwerk liegenden Flussdeiche weiterhin unterhalten und evt. angepasst werden, damit sie im Verschlussfall das sich stauende Wasser zurückhalten können. Gleichzeitig muss auch seewärts der Sperrwerke der Deich erhöht werden. Diese Variante setzt die Strategie des linearen Küstenschutzes fort (KUNZ 2004), führt zu Einschränkungen bei der Schiffbarkeit, zumindest lokalen ökologischen Beeinträchtigungen, hohen Kosten und Akzeptanzproblemen, kann aber für die Ästuar mittel- bis langfristig eine Option darstellen (s. SCHIRMER et al. 2007).

Rückzug

Obwohl auf absehbare Zeit mit den o.g. Strategien bzw. ihrer Kombination eine weitgehende Sicherstellung der aktuellen Schutzniveaus möglich erscheint, werden, je nach Verlauf des Klimawandels, langfristig möglicherweise Grenzen erreicht, die sich aus Nutzen-Kosten-Erwägungen, technischen Grenzen, naturräumlichen Grenzen und Bedrohungswahrnehmungen ergeben könnten. Wenn eine solche Grenze erreicht wird, ist u.U. der großräumige Rückzug die verbleibende Strategie (WBGU 2006). Dies wäre mit dramatischen sozialen und wirtschaftlichen Veränderungen verbunden und soll an dieser Stelle nicht weiter vertieft werden. Forschungsbedarf besteht bzgl. der o.g. Grenzen.

7.5 Integriertes Management

Meeresspiegelanstieg sowie häufigere und stärkere Sturmflutereignisse bedrohen die Küsten und Küstenschutz wird damit zu einer großen gesellschaftlichen und ökonomischen Herausforderung. Die bisherigen linienhaften Ansätze für den Schutz der Küstengebiete werden dieser Entwicklung langfristig nicht gerecht. Trotz fundierter naturwissenschaftlicher Erkenntnisse über die potenziellen Folgen des Klimawandels werden noch zu wenig politische Anstrengungen unternommen, um adäquate Handlungsstrategien für die Raumplanung zu entwerfen und zu implementieren. Der Klimawandel wird zwar seitens der deutschen Bundesregierung als eine wesentliche Komponente bei der langfristigen Ausrichtung der vorsorgenden Regionalplanung gesehen. Anpassungsmaßnahmen an die Folgen des Meeresspiegelanstiegs und an Wetterextreme müssen aber in Zukunft in das Zentrum der nationalen Strategie der Bundesregierung für ein integriertes raumbezogenes Management der deutschen Küstengebiete rücken müssen (WBGU 2006, WWF 2006).

In den Küstenzonen und Ästuaren verlaufen die Hauptkonfliktlinien zwischen Naturschutz- und Küstenschutzanforderungen, Landwirtschaft und Hafenentwicklung. Die aufgrund der Globalisierung zunehmende ökonomische Bedeutung der Ästuar, die auch ökonomischen Konsequenzen eines intensivierten Stromauftransports von partikulärem Material, die Umsetzung von EG-Richtlinien (WRRL, FFH) und eben die erforderliche Anpassung an den Klimawandel machen es sinnvoll und erforderlich, die zu erwartenden bzw. erforderlichen zukünftigen Maßnahmen und widersprüchlichen Perspektiven über ein Integriertes Küstenzonenmanagement (IKZM) in Form integrierter Managementpläne aufeinander abzustimmen und dabei auch langfristige Konsequenzen aktueller Aktivitäten angemessen zu berücksichtigen (SCHUCHARDT et al. 2007).

Es ist absehbar, dass die Folgen des Klimawandels die vorhandenen Konflikte zwischen Küstenschutz, Naturschutz, wirtschaftlichen Interessen und der unmittelbar betroffenen Bevölkerung um Flächen in den Küstenzonen und den Ästuaren Norddeutschlands verschärfen werden. Es gilt, sich frühzeitig mit langfristigen Konsequenzen und Handlungserfordernissen und -optionen gesellschaftlich breit auseinander zu setzen. Nur so können diese Konflikte frühzeitig erkannt und durch vorausschauendes Handeln reduziert werden. Dazu ist neben dem politischen Willen die Entwicklung von integrierten Managementmethoden und die Analyse der Möglichkeiten einer praxisorientierten Umsetzung solcher Methoden notwendig, wie sie derzeit im Rahmen der Integrierten Bewirtschaftungspläne zur Umsetzung von Natura 2000 auch begonnen werden.

8 Handlungsfelder des verbandlichen Naturschutzes vor dem Hintergrund Klimawandel

Die vorherigen Kapitel haben deutlich werden lassen, dass der Klimawandel in den norddeutschen Ästuaren von Eider, Elbe, Weser und Ems in den kommenden Jahrzehnten zu deutlichen Veränderungen der ökologischen Systeme führen wird.

- Der Klimawandel ist ein langfristig wirkender Faktor, der die Ästuare auf unterschiedliche Weise betreffen wird. Er sollte deshalb auch vom verbandlichen Naturschutz in der strategischen Ausrichtung berücksichtigt werden.
- Die Ästuar-Regionen gehören zu den gegenüber dem Klimawandel sensitiven Siedlungsräumen (v.a. Meeresspiegelanstieg; Sturmfluten). Es werden Anpassungsmaßnahmen v.a. des Küstenschutzes erforderlich, die auch Interessen des Naturschutzes betreffen.
- Für den dauerhaften Erhalt aller ökologischen Funktionen der Ästuare sowie die Umsetzung aller Erhaltungsziele gemäß FFH-RL sind Anpassungsmaßnahmen des Naturschutzes erforderlich.
- Die Anpassungskapazität der naturnahen ästuartypischen Lebensräume gegenüber dem Klimawandel ist als relativ hoch einzustufen. Erhalt und Entwicklung dieser Lebensräume erhöht die Anpassungskapazität und sollte als ein zentrales Ziel formuliert werden.
- Bestimmte Lebensraumtypen wie die Salzwiesen in den äußeren Ästuaren und Flachwasserzonen in den inneren Ästuaren werden durch den Klimawandel voraussichtlich reduziert werden. Hier sind gezielte Maßnahmen sinnvoll, mit denen diese Verluste reduziert oder aber die Funktionen an anderer Stelle gesichert werden können.
- Große Flächen in den Ästuaren sind in den vergangenen Jahren als FFH-Gebiete oder als VSG Bestandteil des europaweiten Schutzgebiet-Systems Natura 2000 geworden. Während die Erhaltungsziele der FFH-Gebiete auf den Erhalt und die Wiederherstellung der natürlichen ästuartypischen Funktionen und Lebensräume basieren, fokussieren die Erhaltungsziele der Vogelschutzgebiete z.T. auf aktuelle Wertigkeiten der Kulturlandschaft, die unter Klimawandelbedingungen nicht oder nur mit erhöhtem Aufwand bzw. weiteren Eingriffen aufrecht zu erhalten sein werden. Dies ist zum einen bei der Formulierung der Erhaltungs- und Entwicklungsziele und der Managementplanung entsprechend zu berücksichtigen. Zum anderen müssen die Verluste durch geeignete Anpassungs- und Kompensationsmaßnahmen abgeschwächt werden.

- Der Klimawandel wird sich v.a. über den beschleunigten Meeresspiegelanstieg und verstärkte Sturmfluten über die nächsten Jahre und Jahrzehnte in den Ästuaren manifestieren und Handlungsbedarf erzeugen. Neben kurzfristigeren Anpassungen z.B. im Küstenschutz müssen langfristige Anpassungsstrategien (>50 Jahre) in den kommenden Jahren entwickelt und diskutiert werden. Dazu sollten entsprechende Foren unter Beteiligung des Naturschutzes etabliert werden.
- Der Klimawandel und die erforderlichen Anpassungsmaßnahmen werden einige der aktuellen Konfliktlinien des Naturschutzes verschärfen; dies gilt v.a. für das Verhältnis Küstenschutz / Naturschutz. Der Klimawandel eröffnet aber voraussichtlich auch die Möglichkeiten für neue Allianzen (s.u.). Ziel muss es sein, eine gemeinsame Hochwasser- und Naturschutzstrategie für die Ästuare zu entwickeln.
- Die Analyse verschiedener grundsätzlich möglicher langfristiger Strategien des Küstenschutzes unter Klimawandelbedingungen zeigt, dass Strategien, die ökologische und ökonomische Vorteile verbinden, für die Ästuare nicht einfach auf der Hand liegen. Hier besteht sowohl noch Forschungs- als auch Diskussionsbedarf; entsprechende Mittel müssen bereitgestellt werden. Perspektiven zeigt hier v.a. das sog. Tideelbe-Konzept auf.

Auf der Ebene konkreter Ausrichtungen zu einzelnen Aspekten lässt sich Folgendes konstatieren:

- **Unbedeichte Vorländer:** die landwirtschaftliche Nutzung von unbedeichten Vorlandflächen (v.a. als Grünland; z.T. auch als Acker) wird durch den beschleunigt steigenden Meeresspiegel voraussichtlich erschwert; eine Nutzungsaufgabe könnte die Folge sein. Auf diesen Flächen konkurrieren oft zwei Naturschutzziele: freie Sukzession hin zu Tiederöhrich, Salzwiesen und ggfls. Auwäldern versus extensive Grünlandnutzung mit dem Ziel Avifauna. Unter dem Aspekt Erhöhung der Anpassungskapazität (Mitwachsen) ist u.E. die Entwicklung naturnaher ästuariner Lebensräume zu bevorzugen.
- **Sommerpolder:** Sommerpolder nehmen einen größeren Teil der Vorländer in den Ästuaren ein. Sie sind meist als Grünland, zunehmend auch als Acker genutzt. Der beschleunigte Meeresspiegelanstieg wird die landwirtschaftliche Nutzung, verstärkt durch die Vertiefungen erschweren. Eine Erhöhung der Sommerdeiche wird von Seiten der Landwirt-

schaft vermutlich gefordert werden. Bereits derzeit verläuft hier eine Konfliktlinie zwischen Landwirtschaft und Naturschutz aber auch innerhalb des Naturschutzes, die sich u.U. verschärfen wird. Dabei sind neben Aspekten der landwirtschaftlichen Nutzung auch solche des Erhalts der Kulturlandschaft, der ökologischen Bedeutung der Vorlandflächen, der Bedeutung der Flächen für die Sturmflutentlastung, die weitgehende Unterbindung des MitwachSENS in Sommerpolder u.a. zu bedenken. Grundsätzlich weisen nur unbedeichte Vorlandflächen eine hohe natürliche Anpassungskapazität auf.

- **Küstenschutz-Strategien:** Die Analyse verschiedener grundsätzlich möglicher Strategien des Küstenschutzes unter Klimawandelbedingungen zeigt, dass die Verstärkung auf vorhandener Linie kurz- und mittelfristig sinnvoll und möglich ist. Langfristig können andere Strategien erforderlich werden. Allerdings weisen auch alle alternativen Strategien jeweils spezifische Vor- und Nachteile für die unterschiedlichen Akteure auf. Deutlich ist geworden, dass nicht nur Sturmflutsperrwerke eine adäquate Alternative sein können, sondern dass auch die Nutzung von Überlaufpoldern bzw. die Rückdeichung in den inneren Ästuaren ein wirksames Mittel ist um Sturmflutsscheitel zu senken. Es sollte deshalb versucht werden, eine langfristige gemeinsame Strategie zwischen Natur- und Küstenschutz sowie weiteren Akteuren zu entwickeln. Eine Diskussionsgrundlage könnte das Tideelbe-Konzept (HPA/WSD 2006) bieten, welches v.a. durch die Interessen der Schifffahrt motiviert ist und das u.E. Möglichkeiten für neue Kooperationen und Allianzen bietet.
- **Gewässergüte:** Die Gewässergüte, die besonders in der Unterems und abgeschwächt in der Unterelbe durch die ausgeprägten Sauerstoffmangelsituationen derzeit schon beeinträchtigt ist, wird sich unter Klimawandelbedingungen weiter verschlechtern. Hier besteht bereits derzeit Handlungsbedarf, der sich durch den Klimawandel noch verstärken wird.
- **Landwirtschaft:** Die aktuell stark steigende Nachfrage nach landwirtschaftlichen Flächen und Biomasse wird die Randbedingungen für die Naturschutzarbeit auch in den Ästuarregionen verändern. Sowohl Extensivierungsmaßnahmen als auch die Überführung von landwirtschaftlichen Flächen in natürliche Lebensräume z.B. im Vorland wird schwieriger werden.
- **Relative Landsenkung:** Die in der Vergangenheit entstandene Höhendifferenz zwischen dem mittleren Meeresspiegel und den Geländehöhen wird sich durch den beschleunigten Meeresspiegelanstieg weiter vergrößern. Dies erhöht das Schadenspotential bei Deichversagen und den Aufwand bei der Entwässerung. Das durch die Eindeichung unterbundene Mitwachsen der Marsch könnte durch das Zulassen von Überschwemmungen wieder initiiert werden. Dies kann grundsätzlich kontrolliert hinter dem Deich oder durch Ausdeichungen erfolgen. Das wäre allerdings mit weiträumigen Konsequenzen, erheblichen Nutzungseinschränkungen und großen Kosten verbunden. Eine großflächige Röhrchentwicklung und –nutzung für die energetische Biomassenutzung könnte u.U. Perspektiven für Küstenschutz, Naturschutz und Landwirtschaft bieten. Hier besteht Forschungsbedarf. Eine Verbindung mit der o.g. langfristigen Küstenschutz-Strategie scheint sinnvoll.
- **Ausbauten und Sturmfluten:** Die Ausbauten der Vergangenheit sowie der Küstenschutz haben zu einer Erhöhung der Sturmflutspitzen in den inneren Ästuaren beigetragen und weitere Ausbauten werden diese grundsätzlich weiter erhöhen und die Vorwarnzeiten verringern. Im Rahmen aktueller Ausbauvorhaben ist dieser Aspekt mit einem gesonderten „Hochwassertestat“ zu dokumentieren und im Planfeststellungsbeschluss zu berücksichtigen. Klimawandel und Ausbauten wirken also tendenziell gleichsinnig. Die aktuellen Diskussionen um einen tideneutralen Ausbau zeigen Möglichkeiten auf, diese Gleichsinnigkeit zu vermeiden.
- **Ausbauten und tidal pumping:** die Veränderungen der Vergangenheit an den Ästuaren (v.a. die Ausbauten) haben in Unterems und Unterelbe dazu beigetragen, dass der Strom-auf-Transport von Sedimenten und Schwebstoffen stark zugenommen hat und heute nicht nur aus Sicht des Naturschutzes, sondern auch aus ökonomischen Gründen dringender Handlungsbedarf besteht. Das Tideelbe-Konzept stellt einen weitreichenden Lösungsansatz vor, der ohne Rückbau der Fahrwassertiefen auskommt. Der dort vorgestellte Ansatz würde vermutlich nicht nur das tidal pumping reduzieren, sondern auch die Sturmflutsscheitel senken und damit die Anpassung an den Klimawandel verbessern. Eine Verbindung mit der o.g. langfristigen Küstenschutz-Strategie scheint sinnvoll.

- **WRRL:** Die Umsetzung der WRRL sollte genutzt werden, um die Anpassungskapazität an den Klimawandel zu erhöhen.
- **Natura 2000:** Große Flächen in den Ästuaren sind in den vergangenen Jahren als FFH-Gebiete oder als VSG Bestandteil des europaweiten Schutzgebiet-Systems Natura 2000 geworden. Während die Erhaltungsziele der FFH-Gebiete auf den Erhalt und die Wiederherstellung der natürlichen ästuartypischen Funktionen und Lebensräume basieren, fokussieren die Erhaltungsziele der Vogelschutzgebiete z.T. auf aktuelle Wertigkeiten der Kulturlandschaft, die unter Klimawandelbedingungen nicht oder nur mit erhöhtem Aufwand bzw. weiteren Eingriffen aufrecht zu erhalten sein werden. Hier entstehen unter Klimawandelbedingungen u.U. stärker naturnahe Biotop-typen. Dies ist zum einen bei der Formulierung der Erhaltungs- und Entwicklungsziele und der Ma-nagementplanung entsprechend zu berücksichtigen. Zum anderen müssen die Verluste durch geeignete Anpassungs- und Kompensationsmaßnahmen abge-schwächt werden (s.o.).

Fazit

Insgesamt zeigt sich, dass der Klimawandel in den norddeutschen Ästuaren zu deutlichen Veränderungen der ökologischen Systeme führen wird. Diese resultieren zum einen aus den direkten Wirkungen des Klima-wandels, zum anderen aus den Wirkungen der erforder-lichen Anpassungsmaßnahmen v.a. des Küstenschutzes.

Die direkten Klimawirkungen werden zu deutlichen Verschiebungen in der Artenzusammensetzung und Lebensraumverteilung führen; der Lebensraumtyp Ästuar weist aber insgesamt eine relativ hohe Anpas-sungskapazität auf und sollte deshalb entsprechend entwickelt und „zugelassen“ werden. Die direkten Klimawirkungen werden jedoch auch zum Verlust wertvoller Lebensräume führen. Für den dauerhaften Erhalt aller ökologischen Funktionen der Ästuare sowie die Umsetzung aller Erhaltungsziele gemäß FFH-RL sind entsprechende Anpassungs- und Kompensations-maßnahmen wie Sommerdeichöffnungen, Polder und Rückdeichungen sowie Maßnahmen zur Sanierung der Sauerstoffverhältnisse erforderlich. Diese werden die Anpassungskapazität an den Klimawandel erhöhen und gleichzeitig dazu beitragen, die Kohärenz des europäi-schen Schutzgebietssystems Natura 2000 zu erhalten.

Die indirekten Klimawirkungen können durch Anpas-sungsmaßnahmen v.a. des Küstenschutzes entstehen. Es sollte deshalb versucht werden, eine langfristige ge-meinsame Strategie zwischen Natur- und Küstenschutz sowie weiteren Akteuren zu entwickeln, mit denen der Natur-, Lebens- und Wirtschaftsraum entlang der Ästu-are langfristig gesichert und entwickelt werden kann.

Literatur

- ALLEN, J. R. L. & K. PYE (1992): Saltmarshes – Morphodynamics, Conservation and Engineering Significance. Cambridge University Press, Cambridge: 184 S.
- BAHRENBURG, G. & G. KÖNIG (2005): Sozial-räumliche Wirkungen eines Klimawandels im Unterwesergebiet - eine qualitative Analyse. In: Schuchardt, B. & M. Schirmer (Hrsg.): Klimawandel und Küste. Die Zukunft der Unterweserregion. Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften, Springer, Berlin, Heidelberg, New York: 189-207.
- BAHRENBURG, G. (2005): Entwicklungsperspektiven des ländlichen Raums im Zeichen eines Klimawandels. In: Schuchardt, B. & M. Schirmer (Hrsg.): Klimawandel und Küste. Die Zukunft der Unterweserregion. Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften, Springer, Berlin, Heidelberg, New York: 281-296.
- BfG – Bundesanstalt für Gewässerkunde- (1998): Ästuarmonitoring in Ems, Jade, Weser, Elbe und Eider. Unveröffentlichter Bericht.
- BfN – Bundesamt für Naturschutz (2004): Klimawandel und Biologische Vielfalt. In: BfN (Hrsg.): Daten zur Natur 2004. Bonn: 378-389.
- BfN – Bundesamt für Naturschutz (2005): Gebietsfremde Arten. Positionspapier des Bundesamtes für Naturschutz. BfN-Skript 128: 31.
- BIOCONSULT (2006): Untersuchungen zur Reproduktion der Finte (*Alosa fallax fallax*, Lacépède 1803) in der Unterweser. Studie i. Auftrag des WSA Bremerhaven.
- BIOCONSULT (2008): Aufbau eines Informationskatalogs zu Klimafolgen und Anpassung in Deutschland zur Unterstützung des Netzwerk- und Öffentlichkeitsarbeit von KomPass. Unveröff. Abschlussbericht des Sondervorhabens, im Auftrag des Umweltbundesamts, Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung, FKZ: 363 01 119.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2006): Nationale IKZM-Strategie [<http://www.ikzm-strategie.de/strategie.php>; 22.03.2006].
- BRECHER, J., A. ELSNER, H. SPEKKER, A. MATHEJA & C. ZIMMERMANN (2007): Risikoanalyse und -steuerung. Abschlussbericht des Teilprojekt 1 im BMBF-Projekt „Integriertes Hochwasserrisikomanagement in einer individualisierten Gesellschaft“ (INNIG), FKZ 0330693A: 168. [<http://www.innig.uni-bremen.de/projekt.html>, 12.02.2008]
- BSH – Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (2008): Gezeitenkalender. Ausgaben 1977 bis 2008, Hamburg.
- BUNJE, J. & J. L. RINGOT (2003): Lebensräume im Wandel. Flächenbilanz von Salzwiesen und Dünen im niedersächsischen Wattenmeer zwischen den Jahren 1966 und 1997. Schriftenreihe Nationalpark Niedersächsisches Wattenmeer, Wilhelmshaven, Band 7: 46 S.
- BUSCH, D., HAESLOOP, U., SCHEFFEL, H.-J., SCHIRMER, M. (1988): Fish and their environment in large European river ecosystems. The River Weser, FRG. – Sciences de l'eau 7(1): 75-94.
- CLAUS, B., NEUMANN, P. & M. SCHIRMER (1994): Rahmenkonzept zur Renaturierung der Unterweser und ihrer Marsch. Auftraggeber: LK Wesermarsch. Nieders. Innenministerium, Senator f. Umweltschutz Bremen.
- CLAUS, B. (1998): Länderübergreifendes Schutzkonzept für die Ästuar von Elbe, Weser und Ems. Studie des WWF und des BUND, 237 S.
- CPSL (2001): Final Report of the Trilateral Working Group on Coastal Protection and Sea Level Rise. Wadden Sea Ecosystem No 13, veröffentlicht durch das Common Wadden Sea Secretariat (CWSS), Wilhelmshaven: 64 S.
- CPSL (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, Trilateral Working Group on Coastal Protection and Sea Level Rise (CPSL), Wilhelmshaven: 47 S.
- CRAWFORD, R.M.M. (1993): Climatic Change and Wetland Vegetation in Northern Europe. In: JACKSON, M.B. & BLACK, C.R. (EDS.): Interacting Stresses on Plant in a Changing Climate. Nato ASI Series I: Global Environmental Change, Vol. 16, Springer, Berlin, Heidelberg: 197-210.
- CRICK, H. (2004) The impact of climate change on birds.- Ibis 146 (Suppl.): 48-56
- DASCHKEIT, A. & P. SCHOTTES (Hrsg.) (2002): Klimafolgen für Mensch und Küste – am Beispiel der Nordseeinsel Sylt.- Springer Verlag Heidelberg.
- DE JONGE, V. (2007): Long term changes in the in turbidity gradient of the of Ems estuary and and its ecological consequences.- Vortrag Ems-Workshop 23.2.2007 in Emden (www.phys.uu.nl/~talke/Ems/).

- DE VOOYS, C. G. N. (1990): Expected effects of longterm changes in temperatures on benthic ecosystems in coastal waters around Netherlands. In: BEUKEMA et al. (eds): Expected Effects of Climatic Change on Marine Ecosystems, Kluwer Academic publishers: 77-82.
- DIJKEMA, K. S., J. H. BOSSINADE, P. BOUWSEMA & R. J. de GLOPPER (1990): Salt marshes in The Netherlands Wadden Sea: rising hightide levels and accreation enhancement. In: Beukema, J. J., W. J. Wolff & J. J. W. M. Brouns (edit.): Expected Effects of Climate Change on Marine Coastal Ecosystems. Developments in Hydrobiology, 57, Kluwer Academic Publishers: 173-188.
- DIJKEMA, K.S. (1994): Auswirkungen des Meeresspiegelanstieges auf die Salzwiesen. In: Lozán, J. L., E. Rachor, K. Reise, H. von Westernhagen & W. Lenz (Hrsg.): Warnsignale aus dem Wattenmeer. Blackwell-Wiss.-Verlag, Berlin: 196-200.
- EHRICH, S. & M. STEIN (2004): Fisch und Klima. Bundesforschungsanstalt für Fischerei, Jahresbericht 2004: 22-34.
- FICKERT, M. & T. STROTMANN (2007): Hydrodynamische Entwicklung der Tideelbe. In: Gönnert, G., B. Pflüger & J.-A. Bremer (Hrsg.): Von der Geoarchäologie über die Küstendynamik zum Küstenzonenmanagement Coastline Reports 9: 59-68.
- FIEGE, M., H. HAGMEIER & N. SCHULZE (1996): Lahnungsbauwerke: Entwicklung, Ausführungsvarianten und Entwässerungssysteme. Mitteilungen des Franzius-Instituts, Heft 78: 209-353.
- FLEMMING, B.W. (2007): Impacts of Climate Change on the Wadden Sea Depositional System or The uncertain future of the Wadden Sea.- Conference "The Wadden Sea and climate change" Wilhelmshaven. <http://cwss.www.de/news/symposia/climatechange/climatechange2007.html>
- GEBHARDT, H., R. KINZELBACH & S. SCHMIDT-FISCHER (1996): Gebietsfremde Tierarten – Auswirkungen auf einheimische Lebensgemeinschaften und Biotope: Situationsanalyse. Ecomed, Landsberg: 314.
- GFL, BIOCONSULT & KÜFOG (2006): Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser an die Entwicklungen im Schiffsverkehr mit Tiefenanpassung der hafenbezogenen Wendestelle - Umweltverträglichkeitsuntersuchung - Beschreibung und Bewertung des Ist-Zustandes. - (im Auftrag der Bundesrepublik Deutschland (Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes) vertreten durch das Wasser- und Schifffahrtsamt Bremerhaven und das Wasser- und Schifffahrtsamt Bremen) Bremen, Loxstedt: 485 S. + Anlagen und Anhänge.
- GÖNNERT, G. & U. FERK (1997): Natürliche und anthropogen beeinflusste Entwicklung von Sturmfluten in der Deutschen Bucht und der Unterelbe. In: Vechtaer Studien zur Angewandten Geographie und Regionalwissenschaft, Band 18: 13-31.
- GÖNNERT, G., GRASSL, H., KELLETAT, D., KUNZ, H., PROBST, B., VON STORCH, H. & SÜNDERMANN, J. (2004): Klimaänderung und Küstenschutz. Proceedings zur Fachtagung vom 29. bis 30. November 2004 in Hamburg.
- GRABEMANN, I., H. KÜHLE, B. KUNZE, A. MÜLLER & L.J.R. NEUMANN (1990): Studies on the Distribution of Oxygen and Nutrients in the Weser Estuary. In: W. Michaelis (ed.): Estuarine Water Quality Management.- Coastal and Estuarine Studies 36, Springer-Verlag, Berlin, 341-344.
- GRABEMANN, H.-J., I. GRABEMANN & A. MÜLLER (2005): Die Auswirkungen eines Klimawandels auf Hydrografie und Gewässergüte der Unterweser. In: Schuchardt, B. & M. Schirmer (Hrsg.): Klimawandel und Küste: die Zukunft der Unterweserregion. Springer Verlag Heidelberg: 59-78.
- GRIME, J. P. (1998): Plant classification for ecological purposes: Is there a role for genome size? Ann. Bot. London 82 (Suppl. A): 117-120.
- GROSSMANN, I., K. WOTH & H. VON STORCH (2007): Localization of global climate change: Storm surge scenarios for Hamburg in 2030 and 2085. Die Küste 71: 169-182.
- HAESLOOP, U. & B. SCHUCHARDT (1995): Plankton und Makrozoobenthon der gezeitenbeeinflussten Unterweser. In: Gerken, B. & M. Schirmer (Hrsg.): Die Weser. Limnologie aktuell, Bd. 6, G. Fischer Verlag Jena: 159-173.
- HÄPKE, L. (1878): Ichthyologische Beiträge. – Abh. Naturwiss. Ver. Bremen 5:157-192.
- HASS, H. (1968): Untersuchungen über die vertikale und horizontale Verteilung der Eier der Finte, *Alosa fallax* (LACAPÈDE, 1803), in der Elbe. - Archiv. für Fischereiwissenschaft 19: 46-55
- HEINRICH, T. & G. MÜHLNER (1980): Beurteilung der Röhrichtbestände an der Unterweser im Bereich des Landkreises Wesermarsch im Hinblick auf ihre Schutzwürdigkeit. Landkreis Wesermarsch, Amt für Landschaftspflege, unveröff..

- HERRLING, G. & H. D. NIEMEYER (2007): Long-term Areal Development of Habitats in the Ems-Dollard Estuary. HARBASINS Report. [<http://www.harbasins.org>, 26.03.2008]
- HEYER, W. (2006): Überlegungen zur Beeinflussung des Sedimenttransports in Ästuaren. Vortrag auf dem BAW/BfG-Kolloquium „Erfahrungsaustausch zur Untersuchung und Einschätzung von Transportprozessen in Ästuaren und Wattgebieten und zum Sedimenttransport in Tidegewässern“ am 08.11.2006 in Hamburg (www.baw.de).
- HOCHFELD, B. (2007): Zukunft Tideelbe. Seevögel 2007, 28, 1/2, 30-34.
- HOFFMANN, B., M. MECKELBURG & M. MEINKEN (2005): Folgen einer Klimaänderung für den Grund- und Bodenwasserhaushalt der Unterwesermarsch. In: Schuchardt, B. & M. Schirmer (Hrsg.): Klimawandel und Küste. Die Zukunft der Unterweserregion. Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften, Springer, Berlin, Heidelberg, New York: 103-137.
- HOFSTEDTE, J. (1994): Meeresspiegelanstieg und Auswirkungen im Bereich des Wattenmeeres. In: Lozán, J. L., E. Rachor, K. Reise, H. von Westernhagen & W. Lenz (Hrsg.): Warnsignale aus dem Wattenmeer. Blackwell-Wiss.-Verlag, Berlin: 17-22.
- HOFSTEDTE, J. (1996): Systemanalyse der Salzwiesen im Wattenmeer von Schleswig-Holstein. In: Sterr, H. & C. Preu (Hrsg.): Beiträge zur aktuellen Küstenforschung, Aspekte - Methoden - Perspektiven. Vechtaer Studien zur Angewandten Geographie und Regionalwissenschaften, Band 18: 53-64.
- HOFSTEDTE, J. (2007): Entwicklung des Meeresspiegels und der Sturmfluten: Ist der anthropogene Klimawandel bereits sichtbar? Coastline Reports 9: S. 139-148
- HPA/WSD (2005): Konzept für eine nachhaltige Entwicklung der Tideelbe als Lebensader der Metropolregion Hamburg.- Diskussionsbeitrag der Hamburg Port Authority und der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes. 18 S.
- HUGHES, E. (2004) Climate change and loss of saltmarshes: consequences for birds.- Ibis 146 (Suppl.): 21-28
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2007a): Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp. [<http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm>, 11.03.2008]
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2007b): Climate Change 2007: Synthesis Report. Summary for Policymakers, Fourth Assessment Report: 22 S. [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf, 11.03.2008]
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2007c): Frequently Asked Questions. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [(Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.))]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 35 S. [<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-faqs.pdf>, 19.03.2008]
- JACOB, D. (1998): Intensivierung des Wasserkreislaufs? In: J. L. Lozán, H. Graßl & P. Hupfer (Hrsg.): Warnsignale Klima. Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg: 177-178.
- JEFFRIES, R. L., A. J. DAVY & T. RUDMIK (1979): The growth strategies of coastal halophytes. In: Jefferies, R. L. & A. J. Davy (eds.): Ecological processes in coastal environments. Blackwell, Oxford: 243-268.
- JENSEN, J. & C. MUDERSBACH (2004): Zeitliche Änderungen in den Wasserstandszeitreihen an den Deutschen Küsten. In: GÖNNERT, G., H. GRAßL, D. KELLETAT, H. KUNZ, B. PROBST, H. von STORCH & J. SÜNDERMANN: Klimaänderung und Küstenschutz. Tagungsband der Tagung „Klimaänderung und Küstenschutz, 29./30.11.2004, Hamburg: 115-128.
- JENSEN, J. & C. MUDERSBACH (2007): Zeitliche Änderungen in den Wasserstandszeitreihen an den Deutschen Küsten. Ber. z. dt. Landeskunde Bd. 81, H. 2: 99-112.
- JESSEL, B. (2000): Von der „Vorhersage“ zum Erkenntnisgewinn. Naturschutz u. Landschaftsplanung 32 (7): 197-203.

- JONAS, M., T. STAEGGER & C.-D. SCHÖNWIESE (2005): Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von Extremereignissen durch Klimaänderungen - Schwerpunkt Deutschland. *Climate Change*, 07/05, Forschungsbericht 201 41 254, Umweltbundesamt: 251.
- KESEL, R. & T. GÖDEKE (1995): *Wolffia arrhiza*, *Azolla filiculoides*, *Lemna turionifera* und andere wärmeliebende Pflanzen in Bremen – Boten eines Klimawandels? *Abh. Naturwiss. Verein Bremen* 43(2): 339-362.
- KESEL, R. (2000): Auswirkungen der Klimaerwärmung auf Flora und Vegetation im Unterweserraum. Studie zu Verschiebungen in der floristischen Zusammensetzung und Dominanzstruktur der Vegetation in Marsch und Vorland der Unterweser und zur Ausbreitung und Einwanderung von Neophyten infolge der in der regionalen Klimaabschätzung des Projekts KLIMU errechneten Erhöhung von Temperatur, CO₂, Niederschlägen und Grundwasserstand (Klimaszenario 2050). Unveröff. Gutachten im Auftrag des Projekts Klimaänderung
- KINZELBACH, R. (1995): Neozoans in European waters – Exemplifying the worldwide process of invasion and species mixing. *Basel, Experientia* 51 (5): 526-538.
- KIRSCHBAUM, F., WÜRTZ, S., WILLIOT, P., TIEDEMANN, R., ARNDT, G.-M., ANDERS, E., BARTEL, R. & J. GESSNER (2006): Prerequisites for the restoration of Atlantic sturgeons, *Acipenser sturio* and *A. oxirinchus*, in Germany – Report on the twelve-year preparatory period. *Verh. Ges. F. Ichthyologie*, 5, 79-93.
- KNOGGE, T. & W. ELSNER (2005): Regionale ökonomische Folgen eines Klimawandels: Vermögensschäden und Wertschöpfungsverluste in den klimasensitiven Sektoren. In: Schuchardt, B. & M. Schirmer (Hrsg.): *Klimawandel und Küste. Die Zukunft der Unterweserregion. Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften*, Springer, Berlin, Heidelberg, New York: 209-221.
- KORN, H. & EPPLER (2006): Biologische Vielfalt und Klimawandel – Gefahren, Chancen, Handlungsoptionen. Bundesamt für Naturschutz, Skript 148: 27.
- KOWARIK, I. & U. STARFINGER (2002): Biologische Invasionen. Eine Herausforderung zum Handeln? *NEOBIOTA* 1: 1-4.
- KRAFT, D., S. OSTERKAMP & M. SCHIRMER (1999): Die ökologische Situation der Unterweser und ihrer Marsch als Ausdruck der naturräumlichen Situation und der Nutzung. In: Schirmer, M. & B. Schuchardt (Hrsg.): *Die Unterweserregion als Natur-, Lebens- und Wirtschaftsraum. Eine querschnittsorientierte Zustandserfassung. Bremer Beiträge zur Geographie und Raumplanung*, Heft 35, S. 129-152.
- KRAFT, D., S. OSTERKAMP & M. SCHIRMER (2005): Ökologische Folgen eines Klimawandels für die Unterweser und ihre Marsch. In: Schuchardt, S. & M. Schirmer (Hrsg.): *Klimawandel und Küste. Die Zukunft der Unterweserregion. Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften*, Springer, Berlin, Heidelberg, New York: 167-188.
- KUNZ, H. (2004): Sicherheitsphilosophie für den Küstenschutz. *Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft*, Band 54, Schifffahrts-Verlag Hansa, Hamburg: 253-287.
- LANDOIS, H. (1892): Die Reptilien, Amphibien und Fische in Wort und Bild. In: *Westfalens Tierleben* 3. Paderborn.
- LANGE, D. (2004): Auswirkungen auf Hydrologie und Morphologie. Vortrag auf dem Fachseminar „Der SKN -14m-Ausbau der Außenweser und seine Auswirkungen auf die Umwelt“ am 20.4.2004 in Bremerhaven.
- LANGE, J. (2006): Ausbau der Unterems – Eine Chronik der Maßnahmen seit 1984 mit einer Bewertung der Umweltfolgen. Studie im Auftrag des WWF Deutschland, Frankfurt am Main, Dezember 2006: 24.
- LEUSCHNER, C. & F. SCHIPKA (2004): Vorstudie - Klimawandel und Naturschutz in Deutschland. F- und E-Vorhaben, FKZ: 80383010, im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz, Skript 105: 40.
- LOHMEYER, C. (1909): Übersicht der Fische des untern Ems-, Weser- und Elbegebiets. - *Abh. Naturw. Ver. Bremen* XIX: 149-180.
- LOTZE, H. K., H. S. LENIHAN, B. J. BOURQUE, R. H. BRADBURY, R.G. COOKE, M. C. KAY, S. M. KIDWELL, M. X. KIRBY, C. H. PETERSON, J. B. C. JACKSON (2006) Depletion, Degradation, and Recovery Potential of Estuaries and Coastal Seas. *Science* 312, 1806-1809.
- LOZAN, J. L., KÖHLER, CH., SCHEFFEL, H.-J. & H. STEIN (1996): Gefährdung der Fischfauna der Flüsse Donau, Elbe, Rhein und Weser. In Lozan & Kausch (Hrsg.): *Warnsignale aus Flüssen und Ästuaren*, 217-227.

- MAI, S. & C. ZIMMERMANN (2000): Konzepte und Techniken im Küstenschutz im Lande Niedersachsen unter geänderten Klimabedingungen. Mitteilungen des Franzius-Institutes für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Universität Hannover, Heft 84: 98-178.
- MAI, S. (2004): Klimafolgenanalyse und Risiko für eine Küstenzone am Beispiel der Jade-Weser-Region. Mitteilungen des Franzius-Instituts, Heft 91: 275.
- MAI, S., A. ELSNER, W. ELSNER, D. P. EPPEL, I. GRABEMANN, H.-J. GRABEMANN, D. KRAFT, V. MEYER, C. OTTE, S. WITTIG, I. YU & C. ZIMMERMANN (2007): Der beschleunigte Meeresspiegelanstieg und die Küstenschutzsysteme: Methoden der erweiterten Risikoanalyse. In: Schuchardt, B. & M. Schirmer (Hrsg.): Land unter? Klimawandel, Küstenschutz und Risikomanagement in Nordwestdeutschland: die Perspektive 2050. oekom-Verlag, München: 75-92.
- MAITLAND, P. S. & T. W. HATTONELLIS (2003): Ecology of the Allis and Twaite Shad - *Alosa alosa* and *Alosa fallax*. - Conserving Natura 2000 Rivers Ecology Series No. 3, English Nature, Peterborough: 32 S.
- MANIAK, U., WEIHRAUCH, A. & G. RIEDEL (2005): Die wasserwirtschaftliche Situation in der Unterwesermarsch unter der Einwirkung einer Klimaänderung. In: SCHUCHARDT, B. & M. SCHIRMER (Hrsg.): Klimawandel und Küste. Die Zukunft der Unterweserregion. Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften, Springer, Berlin, Heidelberg, New York: 79-102.
- MEINKE, I. (2007): Klimawandel in Norddeutschland – ein Überblick. Vortrag im Rahmen einer Klimaveranstaltung der Insel- und Hallig Konferenz, Dagebüll, 13. Juni 2007. [<http://www.norddeutsches-klimabuero.de/aktuelles.html>, 04.04.2008]
- MEINKEN, H. (1974): Zur Verbreitung der Fische und Kriechtiere im Bremer Gebiet, 1905 bis 1965. - Abh. Naturwiss. Ver. Bremen 37(3/4): 453-486.
- METZING, D. (2000): Auswirkungen von Veränderungen klimatischer Bedingungen auf die Zusammensetzung der Flora in Salzwiesen und Küstendünen. Endbericht im Projekt „Auswirkungen von Klimaänderungen auf die biologischen Systeme der Küsten (Salzwiesen & Dünen)“, FLZ 01LK9602/2, Universität Oldenburg: 58.
- METZING, D. & A. GERLACH (2001): Climate change and coastal flora. In: Walther, G.-R., C.A. Burga & P. J. Edwards (Hrsg.): “Fingerprints of Climate Change: Adapted Behaviour and Shifting Species Ranges. Kluwer Academic, Plenum Publisher, New York: 185-201. statt METZING 2001
- METZING, D. (2005): Küstenflora und Klimawandel – der Einfluss der globalen Erwärmung auf die Gefäßpflanzenflora des deutschen Küstengebietes von Nord- und Ostsee. Dissertation, Fakultät Mathematik und Naturwissenschaften, Universität Oldenburg.
- MEYERDIRKS, J. (2000): Zum Einfluss einer Klimaveränderung auf das Makrozoobenthos der Unterweser. Unveröff. Gutachten im Auftrag des Projekts Klimaänderung und Unterweserregion: 51 S.
- MICHAELIS, H. (1994): Der Schwund echter Brackwasserarten in Ästuaren und kleinen Mündungsgewässern. In: LOZÁN, J. L.; RACHOR, E.; REISE, K.; V. WESTERNHAGEN, H.; LENZ, W. (HRSRG.): Warnsignale aus dem Wattenmeer. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin: 178-181.
- MLR – Ministerin für ländliche Räume, Landesplanung, Landwirtschaft und Tourismus des Landes Schleswig-Holstein (2001): Generalplan Küstenschutz.
- MPI-M – Max-Planck-Institut für Meteorologie (2007): The Regional Model - REMO. [http://www.mpimet.mpg.de/fileadmin/staff/pfeifersusanne/REMO_UBA/aktualisiert/gross/A1B_2071-2100-1961-1990_seask_167_30_Jahre_1_gross.jpg, 11.03.2008]
- NDS. LANDESREGIERUNG (1995): 10 Grundsätze für einen effektiven Küstenschutz. Beschlossen am 11. April 1995 auf Vorschlag des Kabinettausschusses „Deichsicherheit und Küstenschutz“.
- NDS. UMWELTMINISTERIUM (2006): Entwicklung der 10 Grundsätze für einen effektiven Küstenschutz. Pressemitteilung des Niedersächsischen Umweltministeriums vom 05.09.2006. [<http://www.umwelt.niedersachsen.de>, 27.03.2008]
- NEHRING, S. & H. LEUCHS (1999): Neozoa (Makrozoobenthos) an der deutschen Nordseeküste - Eine Übersicht. Bundesanstalt für Gewässerkunde, BfG-1200, Koblenz: 131.
- NEUDECKER, T. & U. DAMM (2005): Maifische an der deutschen Nordseeküste - zum Auftreten von Finte (*Alosa fallax*) und Alse (*Alosa alosa*). - Inf. Fischereiforsch. 52: 43-50

- NIEMEYER, H. D. & R. KAISER (1999): Seegang. In: Nationalparkverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer und Umweltbundesamt (Hrsg.): Umweltatlas Wattenmeer, Band 2, Ulmer Verlag: 28-29.
- NIEMEYER H.D. & R. KAISER (2001): Hydrodynamische Wirksamkeit von Lahnungen, Hellern und Sommerdeichen. – Die Küste, H. 64
- NLWKN – Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (2007): Generalplan Küstenschutz für Niedersachsen und Bremen: 80. [http://www.nlwkn.niedersachsen.de/master/C7593367_N5737693_L20_D0_I5231158.html, 21.05.2007]
- NOLTE, W. (1976): Die Küstenfischerei in Niedersachsen. Kommissionsverlag Göttinger Tageblatt GmbH & Co., Göttingen, Hannover, 109 S.
- OSTERKAMP, S. (2000): Ergebnisse der Analyse der primären Klimafolgen für die Vorländer der Unterweser. Bund-Länder-Programm Klimaänderung und Küste. Projekt Klimaänderung und Unterweserregion.
- OSTERKAMP, S., KRAFT, D. & M. SCHIRMER (2001): Climate change and the ecology of the Weser estuary region: assessing the impact of an abrupt change in climate. *Journal of Climate Research*, Vol. 18: 97–104.
- RAHMSTORF & RICHARDSON (2007): Wie bedroht sind die Ozeane? Fischer Verlag: 224 S.
- REINHARDT, F., M. HERLE, F. BASTIANSEN & B. STREIT (2003): Ökonomische Folgen der Ausbreitung von Neobiota. Umweltbundesamt, Forschungsbericht 201 86 211, UBA-FB 000441; Kurzfassung: 23.
- REISE, K. (2005): Wohin mit der Nordseeküste? Dokumentation „Land unter?“, Hamburger Gespräche für Naturschutz, Michael Otto Stiftung: 20-23.
- REYNOLDS, C. S. (1984): The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press, Cambridge.
- RING, M. (1987): Autökologische Untersuchungen an *Eurytemora affinis* (Poppe). Dissertation Universität Rostock.
- ROSE, R. J. & N. R. WEBB (1994): The effects of temporary ballast roadways on heathland vegetation. *J. Applied Ecology* 31(4): 642-650.
- SCBD – Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2003): Interlinkages between biological diversity and climate change. Advice on the integration of biodiversity considerations into the implementation of the United Nations Framework Convention on Climate Change and its Kyoto protocol. Montreal, CBD Technical Series No. 10: 154. [<http://www.biodiv.org>, 03.04.2008]
- SCHELLNHUBER, H.J. (ed.) (2006): Avoiding Dangerous Climate Change. Cambridge University Press: 406 pp.
- SCHIRMER, M. & B. SCHUCHARDT (1993): Klimaänderungen und ihre Folgen für den Küstenraum: Impaktfeld Ästuar. In: H.-J. Schellnhuber; H. Sterr (Hrsg.): Klimaänderung und Küste - Einblick ins Treibhaus. Springer-Verlag Berlin: 244-259.
- SCHIRMER, M. & B. SCHUCHARDT (2003): Ästuar und Klimawandel. In: Lozán, J. L., E. Rachor, K. Reise, J. Sündermann & H. v. Westernhagen (Hrsg.): Warnsignale aus Nordsee und Wattenmeer - Eine aktuelle Umweltbilanz. GEO-Verlag, Hamburg: 47-50.
- SCHIRMER, M. & B. SCHUCHARDT (2005): Die Sensitivität der Unterweserregion gegenüber einer Klimaänderung: Synopse und Empfehlungen. In: Schuchardt, B. & M. Schirmer (Hrsg.): Klimawandel und Küste. Die Zukunft der Unterweserregion. Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften, Springer, Berlin, Heidelberg, New York: 299-318.
- SCHIRMER, M. & S. WITTIG (2007): Auswirkungen des Klimawandels auf Natur und Gesellschaft in der Unterweserregion. Sustainability Center Bremen (SCB), Werkstattberichte, Nr. 1, Oktober 2007, im Rahmen des Projekts „KlimaWandel Unterweser“, 68 S.
- SCHIRMER, M., D. KRAFT, & S. WITTIG (2004): Küstenökologische Aspekte des Klimawandels. Endbericht des Teilprojekts „Ökologischer Komplex“ im Projekt „Klimawandel und präventives Risiko- und Küstenschutzmanagement an der deutschen Nordseeküste (KRIM)“, Abt. Aquatische Ökologie, Universität Bremen, BMBF-Förderkennzeichen 01LD0012, Bremen: 171.
- SCHIRMER, M., W. ELSNER, I. GRABEMANN, H. HEINRICHS, H. LANGE, S. MAI, H. P. PETERS, B. SCHUCHARDT, S. WITTIG & C. ZIMMERMANN (2007): Reaktionsvarianten des Küstenschutzes zur Anpassung an den Klimawandel. In: Schuchardt, B. & M. Schirmer (Hrsg.): Land unter? Klimawandel, Küstenschutz und Risikomanagement in Nordwestdeutschland: die Perspektive 2050. oekom-Verlag, München: 167-192.

- SCHOLLE, J. & B. SCHUCHARDT (2000): Zum Einfluss einer Klimaänderung auf die Fischfauna der Unterweser. Gutachten im Rahmen des Projekts „Klimaänderung und Unterweserregion“ (KLIMU), Universität Bremen: 39 S.
- SCHÖNWIESE, C.-D. & R. JANOSCHITZ (2008): Klima-Trendatlas Europa 1901-2000. Berichte des Instituts für Atmosphäre und Umwelt der Universität Frankfurt/Main, Nr. 7: 82.
- SCHRÖDER, H. & GEHLKEN, B. (1999): Pflanzensoziologische und vegetationskundliche Darstellung ausgewählter Unterweservorländer. Unveröffentlichtes vegetationskundliches Gutachten im Auftrag des Projekts „Klimaänderung und Unterweserregion“ (KLIMU): 28.
- SCHRÖDER, K. (2000): Situation typischer Vogellebensräume und Vogelgemeinschaften. Unterweserregion: Klimawandel und Folgen. Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag des Projekts „Klimaänderung und Unterweserregion“ (KLIMU): 43.
- SCHUCHARDT, B., D. BUSCH, M. SCHIRMER & K. SCHRÖDER (1985): Die aus Fangstatistiken rekonstruierbare Bestandsentwicklung der Fischfauna der Unterweser seit 1891; ein Indikator für Störungen des Ökosystems. *Natur u. Landsch.* 60 (11): 441-444.
- SCHUCHARDT, B., M. MÜLLER, M. SCHIRMER (1989): Veränderungen im Sauerstoff-Haushalt der Unterweser nach der Reduzierung kommunaler und industrieller Einleitungen. *Dt. Gewässerkundl. Mitt.* 33, 3/4, 98-103.
- SCHUCHARDT, B. & H. HOLFELD (1991): On *Podochytrium cornutum*, infecting the diatom *Actinocyclus normanii* in the inner part of the Weser Estuary.- *Nova Hedwigia* 52(3/4): 337-347.
- SCHUCHARDT, B. & M. SCHIRMER (1991): Phytoplankton maxima in two coastal plain estuaries. *Est. Coast. Shelf Sci.* 32, 187-206.
- SCHUCHARDT, B., M. SCHIRMER & B. JATHE (1993): Vergleichende Bewertung des ökologischen Zustands der tidebeeinflussten Flussunterläufe Norddeutschlands. *Jb. Natursch. Landschaftspfl.* 48: 137-152.
- SCHUCHARDT, B. (1995): Die Veränderung des Tidehubs in den inneren Ästuaren von Eider, Elbe, Weser und Ems. Ein Indikator für die ökologische Verformung der Gewässer. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 27 (6): 211-217.
- SCHUCHARDT, B.; M. SCHIRMER; G. JANSSEN; S. NEHRING & H. LEUCHS (1999): Estuaries and Brackish Waters. In: F. de Jong et al. (eds.) *Wadden Sea Quality Status Report.- Wadden Sea Ecosystem* 9, 175-186.
- SCHUCHARDT, B. & M. SCHIRMER (2005) (Hrsg.): *Klimawandel und Küste. Die Zukunft der Unterweserregion.* Springer-Verlag, Heidelberg, 341 S.
- SCHUCHARDT, B., I. GRABEMANN, H.-J. GRABEMANN, D. KRAFT, M. MEINKEN, S. OSTERKAMP & A. WEIHRAUCH (2005): Zukunftsbilder: wie könnten zukünftige Veränderungen die Klimasensitivität der Unterweserregion beeinflussen? In: Schuchardt, B. & M. Schirmer (Hrsg.): *Klimawandel und Küste. Die Zukunft der Unterweserregion.* Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften, Springer, Berlin, Heidelberg, New York: 255-265.
- SCHUCHARDT, B. & M. SCHIRMER (2006): Klimawandel und Küste: Zeit zur Anpassung?!.- In: BSH (Hrsg.) *Meeresumwelt-Symposium 2005* (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie): 81-92.
- SCHUCHARDT, B. & M. SCHIRMER (Hrsg.) (2007): *Land unter? Klimawandel, Küstenschutz und Risikomanagement in Nordwestdeutschland: die Perspektive 2050.* oekom Verlag, München: 243.
- SCHUCHARDT, B., SCHOLLE, J., SCHULZE, S. & T. BILDSTEIN (2007): Vergleichende Bewertung der ökologischen Situation der inneren Ästuarare von Eider, Elbe, Weser und Ems: Was hat sich nach 20 Jahren verändert? *Coastline Reports* 9: S. 15-26
- SCHUCHARDT, B., M. SCHIRMER, H. LAMGE, S. WITTIG, M. RONTHALER & J. SPRADO (2008): *Integration und Informationsplattform. Endbericht des Teilprojekts 5 im BMBF-Projekt „Integriertes Hochwasserrisikomanagement in einer individualisierten Gesellschaft“ (INNIG), FKZ 0330693E: 119.* [<http://www.innig.uni-bremen.de/projekt.html>, 12.02.2008]
- SOHRMANN, A. (2006): *Elbe Ästuar: Analyse Ist-Zustand und historische Zustände.- Vortrag auf dem Kolloquium der Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg und der Bundesanstalt für Gewässerkunde „Erfahrungsaustausch zur Untersuchung und Einschätzung von Transportprozessen in Ästuaren und Wattgebieten und zum Sedimenttransport in Tidegewässern“ am 08.11.2006 in Hamburg (www.baw.de).*

- STEEGE, V.; F. BRÜNING; U. KÖHLERLOUM; J.L. RINGOT & T. SCHIKORRE (2005): Die Ausdehnung der Ufervegetation an Unter- und Außenweser vor dem Hintergrund steigender Hochwasserstände – Luftbildinterpretationen über den Zeitraum 1950 –2002.- Tagungsbericht 2005 der DGL und SIL, 144-148.
- STELZENMÜLLER, V. & G.-P. ZAUKE (2003): Analyse der Verteilungsmuster der andromen Wanderfischchart Finte (*Alosa fallax*) in der Nordsee. - (Forschungsbericht gefördert durch das Bundesamt für Naturschutz - F+E-Vorhaben: FKZ-Nr. 802 85 230) Carl von Ossietzky Universität, Oldenburg: 32 S
- STROTMANN, T. (2004): Fachthema Wasserstandsentwicklung. Entwicklung der Wasserstände in der Unter- und Außenelbe.- Vortrag auf dem Kolloquium am 21.9.2004 in Hamburg: Anpassung der Fahrrinne der Unter- und Außenelbe an die Containerschiffahrt. Ergebnisse der Beweis-sicherung (www.bs-elbe.de).
- TEMPLER, P., S. FINDLAY & C. WIGAND (1998): Sediment chemistry associated with native and nonnative emergent macrophytes of a Hudson River marsh ecosystem. *Wetlands* 18 (1): 70-78.
- THIEL, R., T. MEHNER, B. KÖPCKE & R. KAFEMANN (1996): Diet niche relationships among early life stages of fish in German estuaries. *Mar. Freshwater Res.*, 47: 123-136.
- UBA – Umweltbundesamt (2006): Künftige Klimaänderungen in Deutschland – Regionale Projektionen für das 21. Jahrhundert. Hintergrundpapier des UBA, Dessau, April 2006, aktualisiert im September 2006: 7.
- UBA – Umweltbundesamt (2007): Neue Ergebnisse zu regionalen Klimaänderungen: Das statistische Regionalisierungsmodell WETTREG. Hintergrundpapier des UBA, Dessau, Januar 2007: 27.
- UKCIP – United Kingdom Climate Impacts Programme (2008): The climate of the UK. [http://www.ukcip.org.uk/scenarios/ukcip02_extras/images/UKCIP02Extras_SLC_map_final.gif, 11.03.2008]
- VAGTS, I., H. CORDES, G. WEIDEMANN & D. MOSSAKOWSKI (2000): Auswirkungen von Klimaänderungen auf die biologischen Systeme der Küsten (Salzwiesen & Dünen). Teil A: Synthese. Abschlußbericht des Verbundvorhabens, gefördert durch das BMBF & das Land Mecklenburg- Vorpommern: 199 S.
- VON LIEBERMAN, N. und S. MAI (2001): Entscheidungsunterstützung im Sturmflutschutz durch Risikoanalyse. *Wasser und Boden*, Jg. 53, H. 12: 11-16.
- VON LIEBERMAN, N. & S. MAI (2002): Die Funktion von Sommerpoldern aus der Sicht des Küstenschutzes.- Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz, Bd. 6, S. 19-23.
- VON LIEBERMAN, N. & A. VON LIEBERMAN (2003): Leitlinien für einen naturverträglichen Küstenschutz. Der Klimawandel erfordert neue Küstenschutzmaßnahmen für das Wattenmeer. Studie im Auftrag des WWF Deutschland, Frankfurt am Main: 27.
- VON LIEBERMAN, N. & S. MAI (2003): Die Funktion von Sommerpoldern aus der Sicht des Küstenschutzes. Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz, Band 6: 19-23.
- VON STORCH, H., H. REICHARDT & A. PFIZENMAYER (1997): Auswirkungen von Klimaänderungen auf Sturmentwicklung und Extremwasserstände in der Nordsee. BMBF-Projekt, Förderkennzeichen 03F0141B [<http://w3g.gkss.de/G/Mitarbeiter/storch/storm.surges.html>; 20.08.2001]
- VON STORCH, H., R. SCHNUR & E. ZORITA (1998): Szenarien und Beratung. Anwenderorientierte Szenarien für den norddeutschen Küstenbereich. Abschlussbericht. BMBF-Förderkennzeichen 01 LK 9510/0.
- VON STORCH, H., M. MONTOYA, F. J. GONZÁLEZ-ROUCO & K. WOTH (2005): Projektionen für Meere und Küsten. Beitrag in Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft: Wetterkatastrophen und Klimawandel. Sind wir noch zu retten? Eigenverlag Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft: 107-113.
- VON STORCH, H. & K. WOTH (2008): Storm surges, perspectives and options.- *Sustainability Science* Vol. 3 No. 1 (in print)
- VON WESTERNHAGEN, H. (1998): Klima und Fischerei. In: J. L. Lozán, H. Graßl & P. Hupfer (Hrsg.): Warnsignale Klima. Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg: 286-291.
- WALTHER, G.-R., E. POST, P. CONVEY, A. MENZEL, C. PARMESAN, T.J.C. BEEBEE, J.-M. FROMENTIN, O. HOEGH-GULDBERG & F. BAIRLEIN (2002): Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416: 389-395.

- WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2006): Die Zukunft der Meere - zu warm, zu hoch, zu sauer. Sondergutachten: 130.
- WETJEN, T. (1998): Das Phytoplankton der Unterweser und seine mögliche Reaktion auf eine Klimaänderung. Dipl.-Arb. Universität Bremen.
- WETZEL, V. (1987): Der Ausbau des Weserfahrwassers von 1921 bis heute. Jb. Hafenbautechnische Gesellschaft 42, 83-105.
- WITTIG, S., D. KRAFT, J. MEYERDIRKS, & M. SCHIRMER (2004): Risikobewertung ökologischer Systeme an der deutschen Nordseeküste im Klimawandel. In: Schernewski, G. & T. Dolch (Hrsg.): Geographie der Meere und Küsten, Coastline Reports, Heft 1: 127-136.
- WITTIG, S., A. ELSNER, W. ELSNER, D.P. EPPEL, I. GRABEMANN, H.-J. GRABEMANN, D. KRAFT, S. MAI, V. MEYER, C. OTTE, M. SCHIRMER, B. SCHUCHARDT, I. YU & C. ZIMMERMANN (2007): Der beschleunigte Meeresspiegelanstieg und die Küstenschutzsysteme: Ergebnisse der erweiterten Risikoanalyse. In: SCHUCHARDT, B. & M. SCHIRMER (Hrsg.): Land unter? Klimawandel, Küstenschutz und Risikomanagement in Nordwestdeutschland: die Perspektive 2050. oekom verlag: 93-113.
- WOLFF, W. J. (1998): Exotic invaders of the mesohaline zone of estuaries in the Netherlands: Why are there so many? Helgoländer Meeresuntersuchungen 52 (3-4): 393-400.
- WWF – World Wide Fund For Nature (2006): Auswirkungen des Klimawandels auf den Nationalpark Niedersächsisches Wattenmeer. Hintergrundinformation, WWF Deutschland - Internationales WWF-Zentrum für Meeresschutz, Juli 2006: 5.
- WWF – World Wide Fund For Nature (2007): Baggern ohne Ausgleich. Die mangelhafte Kompensation der Elbvertiefung von 1999.- Internationales WWF-Zentrum für Meeresschutz, September 2007: 26 S. ZIMMERMANN, C., N. VON LIEBERMAN & S. MAI (2005): Die Auswirkungen einer Klimaänderung auf das Küstenschutzsystem an der Unterweser. In: SCHUCHARDT, B. & M. SCHIRMER (Hrsg.): Klimawandel und Küste. Die Zukunft der Unterweserregion. Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften, Springer, Berlin, Heidelberg, New York: 139-148.
- WWF – World Wide Fund For Nature (2007): Ems: Weitere Ausbauten geplant. Hintergrundinformation, WWF Deutschland - Internationales WWF-Zentrum für Meeresschutz, September 2007: 3.
- ZIJLSTRA, J. J., 1979: The function of the Wadden Sea for members of its fishfauna. - In: DANKERS, N., W.J. WOLFF & J.J. ZIJLSTRA (Hrsg.), Fish and Fisheries of the Wadden Sea. Balkema, Rotterdam: 20-25.



Der WWF Deutschland ist Teil des World Wide Fund For Nature (WWF) - einer der größten unabhängigen Naturschutzorganisationen der Welt. Das globale Netzwerk des WWF ist in mehr als 100 Ländern aktiv. Weltweit unterstützen uns über fünf Millionen Förderer.

Der WWF will der weltweiten Naturzerstörung Einhalt gebieten und eine Zukunft gestalten, in der Mensch und Natur in Harmonie leben. Deshalb müssen wir gemeinsam

- die biologische Vielfalt der Erde bewahren,
- erneuerbare Ressourcen naturverträglich nutzen und
- die Umweltverschmutzung verringern und verschwenderischen Konsum eindämmen.

WWF Deutschland

Rebstöcker Straße 55
D-60326 Frankfurt a. M.

Tel.: 069 / 7 91 44 - 0
Fax: 069 / 61 72 21
E-Mail: info@wwf.de

WWF Deutschland Internationales WWF- Zentrum für Meeresschutz

Hongkongstr. 7
20457 Hamburg

Tel.: 040 / 5 30 200 - 0
Fax: 040 / 5 30 200 - 112
E-Mail: hamburg@wwf.de