

# Klimawandel

Globale Herausforderung des 21. Jahrhunderts



Landesmuseum Natur und Mensch  
Oldenburg

# Klimawandel – Globale Herausforderung des 21. Jahrhunderts

Schriftenreihe des Landesmuseums Natur und Mensch, Heft 67

Herausgegeben von Mamoun Fansa, Landesmuseum Natur und Mensch,  
Damm 38-44, D-26135 Oldenburg

# Klimawandel – globale Herausforderung des 21. Jahrhunderts

Herausgegeben von  
Mamoun Fansa und Carsten Ritzau

Vorträge anlässlich der wissenschaftlichen Tagung in Osnabrück  
vom 29. und 30.05.2008 sowie der  
Tagung von und für Kinder und Jugendliche in Oldenburg  
vom 04. und 05.07.2008



Primus Verlag GmbH Darmstadt  
2009

Die Tagung und der Tagungsband wurden finanziert mit Mitteln  
des Landes Niedersachsen  
sowie:



gefördert durch



[www.dbu.de](http://www.dbu.de)



Redaktion: Carola Lüdtkke, Carsten Ritzau

Satz und Layout: Ute Eckstein

Bildbearbeitung: Jens Schwanke

Umschlaggestaltung: Elvira Spiller

Umschlagbilder: Gletscher im Zillertal 1905 (oben) bzw. 2009 (unten)  
(Sammlung Gesellschaft für ökologische Forschung)

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der  
Deutschen Nationalbibliografie, detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über  
<<http://dnb.ddb.de>> abrufbar.

© Landesmuseum Natur und Mensch, Damm 38-44, D-26135 Oldenburg

ISBN 978-3-89678-988-4  
[www.primusverlag.de](http://www.primusverlag.de)

Gedruckt bei: Druckhaus Thomas Müntzer GmbH, D-99947 Bad Langensalza/Thüringen –  
ein Unternehmen der Beltz-Gruppe

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>Vorwort</b> Mamoun Fansa, Carsten Ritzau	7
<b>Grußwort</b> Stefanie Heiden	9
<b>Grußwort</b> Niels Kämpny	13
<b>Die Struktur der Herausforderung durch den menschengemachten Klimawandel</b> Hans-Jochen Luhmann	15
<b>Das letzte Jahrtausend – ein historisch-ökologischer Rückblick</b> Josef H. Reichholf	21
<b>Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf Deutschland</b> Stefan Hagemann, Daniela Jacob	33
<b>Globaler Klimawandel: Auswirkungen auf den Mittelmeerraum</b> Elke Hertig	45
<b>Der Klimawandel in Afrika: Beobachtete Indizien und Klimamodellsimulationen</b> Heiko Paeth	57
<b>Tiere und Klima: Folgen und Prioritäten</b> Ragnar K. Kinzelbach	69
<b>Der Klimawandel und seine Auswirkungen auf die Vogelwelt</b> Franz Bairlein	85
<b>Regionale Klimafolgen und Klimaanpassung im Nordwesten Das Projekt NordWest 2050</b> Bernd Siebenhüner	97
<b>Generalplan Küstenschutz Niedersachsen/Bremen – Planungen zum Küstenschutz in Niedersachsen</b> Frank Thorenz	103
<b>Klimawandel – die Folgen für die Unterweser</b> Michael Schirmer	117
<b>Im Schraubstock zwischen Meer und Deich – Die ungewisse Zukunft des Wattenmeeres</b> Burghard W. Flemming	131

<b>Sylt braucht mehr Sand</b> Karsten Reise	139
<b>Gesellschaftliche Herausforderungen durch den Klimawandel – Zur Verletzbarkeit und der Anpassungskapazität unserer Gesellschaft</b> Harald Klimenta	149
<b>Geo-Engineering – Maßnahmen gegen den Klimawandel</b> Valerie Doan Phi van (Kaiserin-Auguste-Viktoria-Gymnasium, Celle)	165
<b>Wie kann man an Schulen etwas zum Klimawandelstopp beitragen?</b> Diederike Lindrum, Lisa Marie Lewandrowski (Jade-Gymnasium, Jaderberg)	169
<b>Projekt zur Energieeinsparung an der Waldschule Schwanewede</b> Benjamin Abdel-Karim, Jan-Henrik Schöne (Waldschule Schwanewede)	173
<b>Die Folgen von Überflutungen bei unterschiedlichen Bodenverhältnissen durch zunehmenden Starkregen</b> Marijke Siemens (Wilhelm-Gymnasium, Braunschweig)	179
<b>Untersuchung zu erosionsverringenden Maßnahmen an einem Unterrichtsmodell</b> Hendrik-Maximilian Schmitt (Gymnasium Ritterhude)	187
<b>Die Kohlenstoffdioxidemission trockengelegter Hochmoore – ein unbekannter Klimakiller?!</b> Justin Müller (Gymnasium Westerstede)	193

# Klimawandel – die Folgen für die Unterweser

Michael Schirmer

## 1 Der Klimawandel: Wir sind mitten drin

Der vierte Sachstandsbericht des Weltklimarates der Vereinten Nationen IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (IPCC 2007) belegt eindrücklich, dass sich das Klimasystem der Erde weltweit in einem heftigen Änderungsprozess befindet. Es ist mittlerweile sicher, dass die Menschheit vor allem durch die Verbrennung von fossilen Brennstoffen wie Kohle, Erdöl und Erdgas und die Abholzung der Wälder den CO<sub>2</sub>-Gehalt der Erde von vorindustriellen 280 auf heute über 380 ppm angehoben hat (ähnliches gilt für die anderen klimarelevanten Gase, vor allem Methan und Stickoxid). Diese Verstärkung des Treibhauseffekts hat dazu geführt, dass die globale bodennahe Mitteltemperatur in den letzten 100 Jahren um etwa 0,8 °C angestiegen ist (vgl. Abb. 1 und 2), in Deutschland sogar um 0,9 °C. Dieser globale Temperaturanstieg beschleunigt sich, so dass 11 der letzten 12 Jahre (1995-2006) zu den wärmsten Jahren seit 1850 gehören (IPCC 2007).

Die neuesten Erkenntnisse über das Verhalten der grönländischen Eismassen und das rapide Verschwinden des arktischen Meereises (aktuelle Daten unter [http://nsidc.org/data/seaice\\_index/images/daily\\_images/N\\_timeseries.png](http://nsidc.org/data/seaice_index/images/daily_images/N_timeseries.png)) bestätigen die Beschleunigung der Erwärmungsrate und signalisieren, dass die vom IPCC erwarteten Werte der Globaltemperaturen und vor allem des Meeresspiegelanstiegs sehr wohl übertroffen werden können. Hier ist von Bedeutung, dass sich die sehr schnelle

globale Erwärmung der unteren Atmosphäre auch noch nach vielen Jahrzehnten bis Jahrhunderten im Anstieg des Meeresspiegels bemerkbar machen wird.

Der zukünftige Verlauf des Klimawandels und des Meeresspiegelanstiegs hängt sehr stark davon ab, wie sich in Zukunft die Emissionsraten der Treibhausgase entwickeln werden. Dieser Blick in die Zukunft kann wissenschaftlich korrekt nur auf der Basis von definierten Annahmen gewagt werden, weshalb das IPCC einen Satz von im Wesentlichen sechs Zukunftsszenarien des Verhaltens der Menschheit entwickelt hat (SRES 2008), mit denen in einer „Wenn-Dann-Beziehung“ Emissionsraten und daraus resultierende Erwärmungsraten berechnet werden können, wie in Abb. 3 dargestellt. Diese Zusammenhänge und die Erkenntnis, dass eine globale Klimakatastrophe nur vermieden werden kann, wenn die Gesamterwärmung der Erde bis 2100 unter 2,5 °C bleibt, sind wissenschaftlich so sicher, dass sie mittlerweile zu mehr oder weniger ernsthaften internationalen Bemühungen um eine Reduktion der Emission von Klimagasen geführt haben. Es ist sicher, dass dieses Ziel nur mit den allergrößten internationalen Anstrengungen erreicht werden kann, entsprechend den optimistischen Emissionsszenarien B1, A1T und B2.

Als kleines Beispiel für die Folgen des Temperaturanstiegs sei auf die Verkürzung des „phänologischen Winters“ (die Winterruhe der Vegetation) in Bremen verwiesen, die im Vergleich 1991-2000 zu 1961-1990 gute 3 Wochen beträgt und aktuell schon etwa 3,5 Wochen erreicht haben dürfte (HEINE-

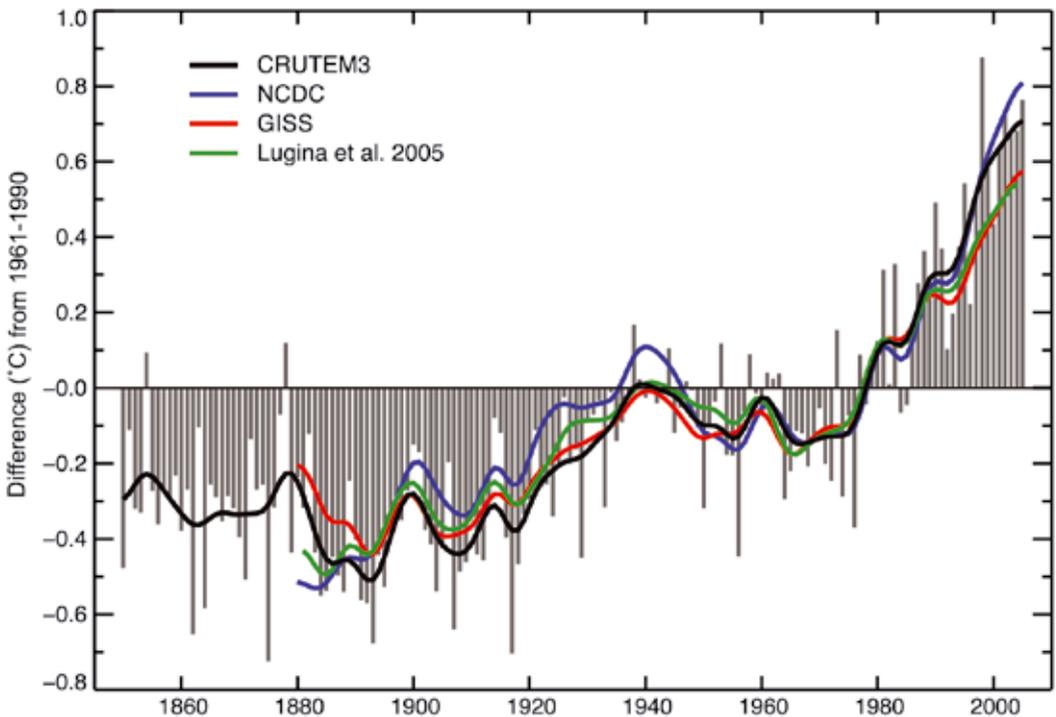


Abb. 1: Jährliche Abweichungen der globalen Landoberflächen-Lufttemperatur (°C), 1850 bis 2005, relativ zu 1961-1990; die Kurven zeigen die zehnjährigen Variationen, gerechnet mit verschiedenen Klimamodellen (aus IPCC 2007, Kap. 3).

MANN 2003). Diese Entwicklung steht in voller Übereinstimmung mit den Berechnungen der Klimaforschung, die, im Ausmaß abhängig von der zukünftigen Emissionsentwicklung, auf jeden Fall aber eine relativ stärkere Erwärmung im Winter- als im Sommerhalbjahr vorhersagen (siehe z. B. die Regionalmodellierungen des Max-Planck-Instituts für Meteorologie, MPI 2008). Dieses Verschwinden des Winters in Norddeutschland mag einige Vorteile haben, z. B. durch die Verlängerung der landwirtschaftlichen Produktionszeit, bringt aber auch erhebliche Probleme für Gesellschaft und Natur mit sich, z. B. durch die Einwanderung Wärme liebender Schädlingsarten. Mit der Erwärmung der Atmosphäre einher geht eine Verlagerung der Niederschläge aus dem Sommer in den Winter hinein, die in Norddeutschland – je nach zukünftiger Treibhausgasemission – 20 bis 30 % weni-

ger Sommer- und 25 bis 35 % mehr Winterniederschläge bringen wird (auch diese Veränderungen zeichnen sich bereits seit vielen Jahren ab (z. B. SCHÖNWIESE, TRÖMMELE 2005).

## 2 Die Unterweser: Klimawandel von oben, vorn und hinten

Die Eigenschaften der Unterweser, wie auch der Mündungen („Ästuar“) von Elbe, Ems und Eider, werden bestimmt durch das Aufeinandertreffen des vom Festland abfließenden Süßwassers („Oberwasser“) und des von der Nordsee her in das Flussbett eindringenden Meerwassers. Durch saisonal wechselnde Abflussmengen und den Einfluss von Gezeiten und Wind verändern sich die Wasserstände und die Lage der Brackwasserzone permanent. Nachdem sich

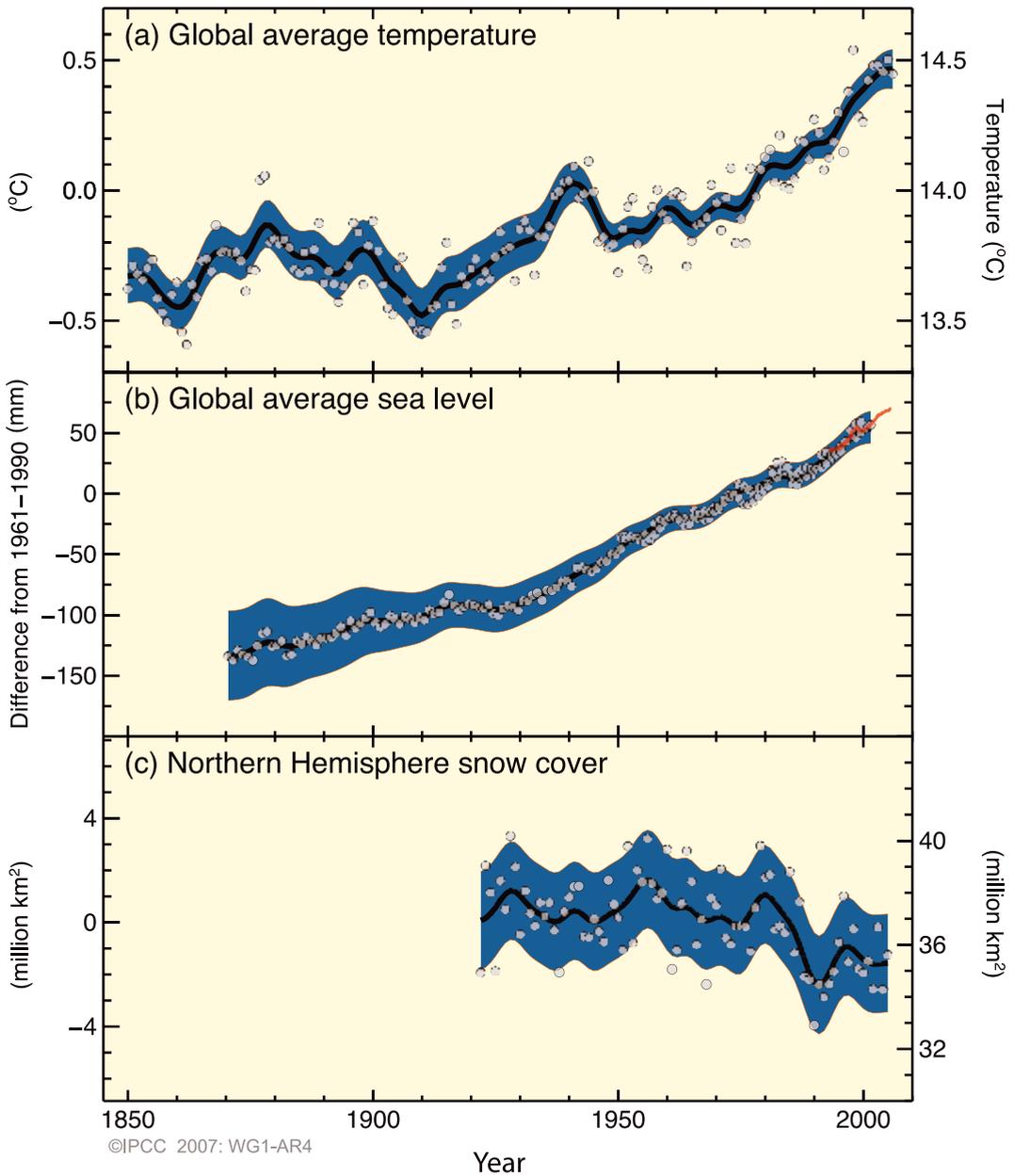


Abb. 2: Beobachtete Änderungen (a) der mittleren globalen Erdoberflächentemperatur; (b) des mittleren globalen Meeresspiegelanstiegs aus Pegelmessungen (blau) und Satellitendaten (rot) und (c) der nordhemisphärischen Schneebedeckung im März und April. Alle Änderungen beziehen sich auf das Mittel des Zeitraums 1961-1990. Die geglätteten Kurven repräsentieren die über ein Jahrzehnt gemittelten Werte, während Kreise die Jahreswerte darstellen. Die schattierten Flächen zeigen die geschätzten Unsicherheitsbereiche aufgrund einer umfangreichen Analyse bekannter Unsicherheiten (a und b) und aus den Zeitreihen (c) (aus IPCC 2007).

Scenarios for GHG emissions from 2000 to 2100 (in the absence of additional climate policies) and projections of surface temperatures

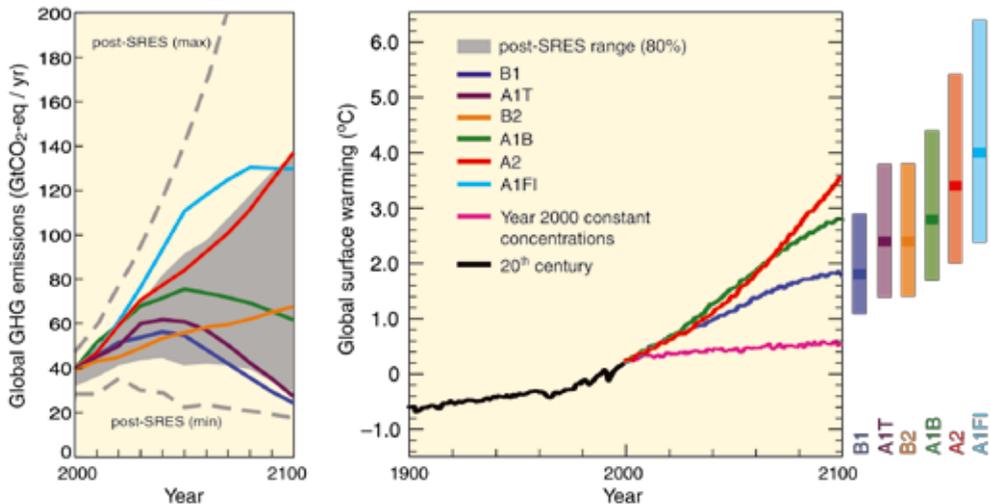


Abb. 3: links: Globale Treibhausgas-Emissionen (CO<sub>2</sub>-Äquivalente) entsprechend sechs Emissions-szenarien; rechts: Projektionen der daraus folgenden globalen Erwärmung bis 2100. Aus IPCC (2007): Synthesis Report, Summary for Policymakers.

8.000 Jahre nach Ende der letzten Eiszeit die Verhältnisse soweit stabilisiert hatten, dass die Küste besiedelt werden konnte (wenn auch seit etwa 1.000 Jahren nur noch im Schutze von Deichen), so kommt seit etwa 60 Jahren wieder erhebliche Dynamik in den Raum, die eindeutig auf die extrem rasche anthropogene Klimaveränderung zurückzuführen ist.

Im Küstenbereich überlagern und verstärken sich nahezu sämtliche bekannten direkten und indirekten Klimafolgen gegenseitig:

- Die Temperaturen des Fluss-, Brack- und des Nordseewassers folgen dem Anstieg der Atmosphärentemperaturen.
- Die Veränderungen der Niederschläge und der Verdunstung verringern die Oberwassermengen im Sommer und erhöhen sie im Winter.
- Der beschleunigte Anstieg des Meeresspiegels erhöht die mittleren und die Gezeitenwasserstände und ihre Schwankungen.
- Der Meeresspiegelanstieg verlagert die Brackwasserzone weiter stromaufwärts.
- Voraussichtlich ab Mitte des Jahrhunderts

werden auch die Stürme stärker und damit die Sturmfluten noch höher auflaufen.

- Die Veränderungen von Niederschlag und Temperatur wirken sich nachteilig auf den Wasserhaushalt in den tief liegenden Fluss- und Küstenmarschen aus, der Meeresspiegelanstieg erschwert die Entwässerung.
- Küstenschutz und wasserwirtschaftliche Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel wirken sich auch im Ästuarbereich aus.
- Auch im Bereich der Ästuarie verändern sich Fauna und Flora, vor allem durch die Einwanderung Wärme liebender Arten.
- Die bereits heutzutage nur mäßige Gewässergüte wird sich insbesondere im Sommer verschlechtern.

Diese Veränderungen der natürlichen Randbedingungen überlagern und verstärken sich meist mit den direkten technischen Eingriffen in die Flussmündungen, zu denen vor allem die Vertiefung, Begradigung und Glättung der Unterläufe von Weser, Elbe und Ems gehören, aber auch Eindeichungen, Hafenbauten und Sperrwerke an den Nebenflüssen.

Noch weitgehend unklar ist die Reaktion des Wattenmeeres auf Klimawandel und Meeresspiegelanstieg. Da z. B. die Außenweser nördlich von Bremerhaven noch weitere 60 km durch das Wattenmeer verläuft, ist es von großer Bedeutung, ob dieses durch die Akkumulation von Sedimenten dem Anstieg des Meeresspiegels folgen kann oder ob es großflächig zu Erosion und Abtrag kommt, was sich wiederum auf Ökologie, Gezeiten und Sturmfluten auswirken würde. Gegenwärtig werden beide Prozesse beobachtet, d. h. sowohl die Erhöhung von Wattflächen, z. B. im nordfriesischen Wattenmeer, aber auch großräumig die Erosion der Vorderkanten der Salzwiesen, sofern sie nicht wasserbaulich gesichert sind (MEYERDIRKS 2008, CPSL 2001).

In den Klimafolgenforschungsprojekten KLIMU und KRIM (SCHUCHARDT, SCHIRMER 2005, 2007) wurden ausführlich die oben genannten, von einem Meeresspiegelanstieg um 40 cm ausgehenden Folgen analysiert (nach heutigem Kenntnisstand würden 40 cm unter dem A1B-Szenario gegen 2100 erreicht, unter dem emissionsintensiven A1FI-Szenario und unter Berücksichtigung der neuesten Erkenntnisse über die Erwärmung der Nordpolregion wahrscheinlich schon in der Mitte dieses Jahrhunderts, vgl. Abb. 2).

### 3 Die Ozeane im Klimawandel

#### 3.1 Der Anstieg des Meeresspiegels früher, heute und in Zukunft

Während der letzten Eiszeit, die vor 10.000 bis 12.000 Jahren zu Ende ging, lag der Meeresspiegel um bis zu 120 m tiefer als heute. Der postglaziale Anstieg verlief anfangs sehr schnell und hatte etwa 7.000 Jahre vor heute -10 m NN erreicht, vor etwa 3.500 Jahren erreichte das mittlere Tidehochwasser zum ersten Mal Normal Null. Seitdem verlief der weitere Anstieg unregelmäßig mit Schwankungen, die an der unbefestigten Küste zu Trans- und Regressionen des Meeres führten (s. dazu BEHRE

2003). Die wesentliche Ursache für diesen Anstieg lag im Abschmelzen der eiszeitlichen Gletschermassen im Übergang von der letzten Eiszeit zur jetzigen Warmzeit und in der entsprechenden Erwärmung der Ozeane und Meere. Parallel zu diesem weltweit zu beobachtenden Phänomen verzeichnen die deutsche und auch die südeuropäische Nordseeküste ein geologisch begründetes Absinken des Festlandes in einer Größenordnung von bis zu 10 cm/Jh., welches durch einen noch andauernden Aufstieg der skandinavischen Landmassen nach der Entlastung von den Gletschermassen der Eiszeit verursacht wird. Bis in die 1950er Jahre addierten sich dadurch 15-18 cm/Jh. globaler Meeresspiegelanstieg (s. Abb. 2, IPCC 2007) und  $\leq 10$  cm tektonisches Absinken der Küste zu einem eustatischen Gesamtanstieg des Meeresspiegels an der deutschen Nordseeküste von insgesamt knapp 25 cm/Jh. Dieser Wert galt lange Zeit als Standard für den vorsorglichen Sicherheitszuschlag bei der Bemessung der Deichhöhen.

Den Anstieg des Mittleren Tidehochwassers an der deutschen Nordseeküste haben u. a. JENSEN, MUDERSBACH (2007) ausgewertet. Abb. 4 zeigt (man folge der roten Mittelwertlinie) ein ähnliches Bild wie für den globalen Verlauf: Die Jahresmittelwerte des Mittleren Tidehochwasser (MThw) von sechs deutschen Küstenpegeln steigen bis in die 1930er Jahre mit knapp unter 25 cm/Jh.  $\pm$  gleichmäßig an, stagnieren dann für etwa 20 Jahre und steigen seitdem mit einer annähernd doppelten Geschwindigkeit von etwa 41 cm/Jh.

Ziehen wir von diesem Wert die geologisch erzeugten 10 cm/Jh. ab, so verbleiben rund 30 cm/Jh. als gegenwärtige Anstiegsrate des Meeresspiegels (hier betrachtet als Mittleres Tidehochwasser), ein Wert, der in guter Übereinstimmung mit den globalen Beobachtungen steht (s. dazu die Tab. 5.3 in Chapter 5 von IPCC 2007). Hierbei ist zu beachten, dass nicht so sehr die absoluten Werte von Bedeutung sind, weil hier die Besonderheiten der relativ flachen Nordsee,

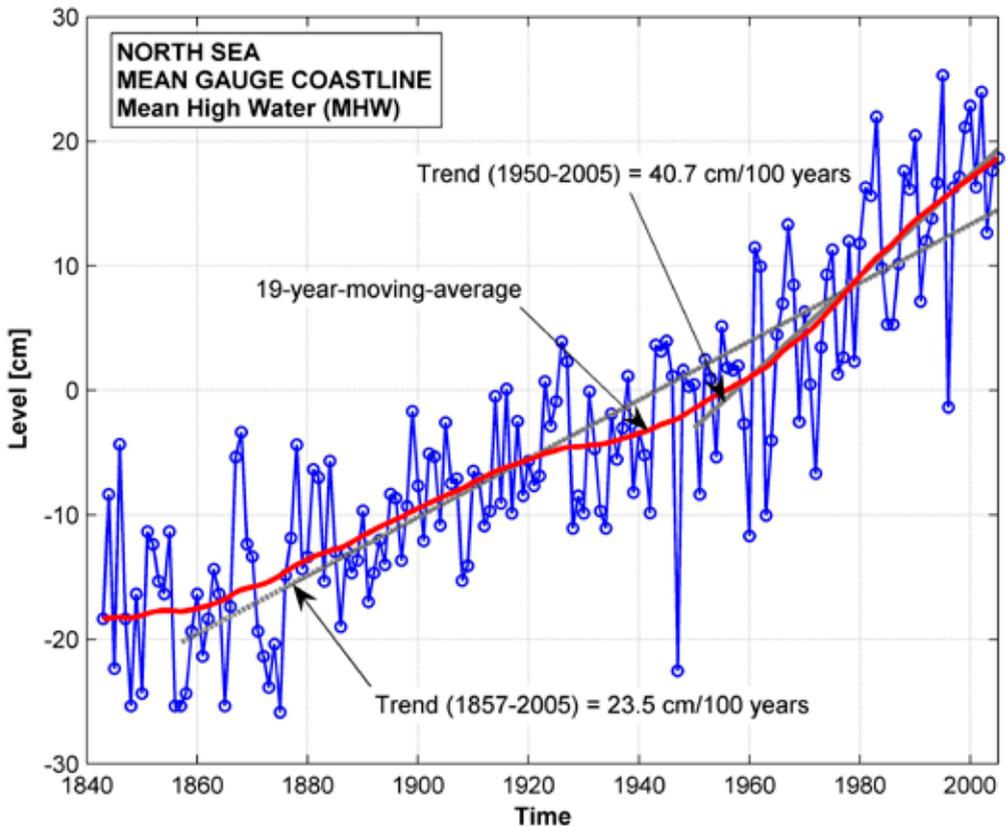


Abb. 4: Normierte mittlere MThw-Zeitreihe (sechs Küstenpegel Deutsche Nordseeküste) mit Ausgleichsfunktionen (aus JENSEN, MUDERSBACH 2007).

der Gezeiten in der Deutschen Bucht und mögliche Einflüsse wasserbaulicher Maßnahmen im Bereich der Flussmündungen einfließen, sondern der generelle Trend einer deutlichen Beschleunigung seit etwa 50 Jahren, den z. B. auch der Pegel Helgoland zeigt. Diese gegenwärtig zu beobachtende Beschleunigung des Meeresspiegelanstiegs um etwa den Faktor 2 (vgl. Abb. 2b) steht in Übereinstimmung mit den Erkenntnissen der Klimaforschung, die den aktuellen Wert von 3,1 mm/Jahr zu 90 % mit klimaabhängigen Prozessen erklären kann (v. a. thermische Ausdehnung der Ozeane und Abschmelzen festländischer Gletscher).

Die zukünftige Fortsetzung des Meeresspiegelanstiegs hängt nach dem heutigen Stand des Wissens vor allem vom weiteren Ausstoß

von Treibhausgasen und der entsprechenden Erwärmung der Atmosphäre ab. Der resultierende Anstieg des Meeresspiegels kann mittels Extrapolation gegenwärtiger Trends, gekoppelter Atmosphären-Ozean-Modelle unter Annahme verschiedener Emissionsszenarien oder aber über Korrelationsanalysen früherer Erdtemperaturen und Meeresspiegellagen errechnet werden.

In Tab. 1 sind die Modellierungen des IPCC und Extrapolationen anderer Autoren aus regionalen Zeitreihen zusammengestellt. 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 bestehenden wissenschaftlichen Erkenntnisdefiziten ergeben.

Tab. 1: Zusammenstellung errechneter Werte (szenariobasiert) und extrapolierter Trends für den zukünftigen Anstieg des Meeresspiegels (MW) und des MThw bis 2100 (nach SCHIRMER, SCHUCHARDT 2008).

Quelle	Szenario/Datensatz	Kenngroße	Anstieg bis 2100 [m]
IPCC 2007	B1 (global)	MW	0,18 – 0,38 + x*
Dies.	A1B (global)	MW	0,21 – 0,48 + x*
Dies.	A1FI (global)	MW	0,26 – 0,59 + x*
Dies.	Extrapolation aus 1990-2003	MW	0,3
UKCIP 2008	Regionalszenario (Süd-England)	MW	!bis 2050: 0,3 – 0,5
RAHMSTORF, RICHARDSON (2007)	3,4 mm/Jahr pro 1°C Temperaturerhöhung (global)	MW	B1: 0,37 – 0,99 A1B: 0,58 – 1,50 A1FI: 0,82 – 2,18
JENSEN, MUDERSBACH (2007)	Zeitreihe sechs deutscher Küstenpegel Nordsee (Extrapolation, Basis 1950-2005)	MW	0,14 - 0,19
Dies.	dito	MThw	0,41

\* x = unbekannter Zuschlag für Gletscherschmelze

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 Vergrößerung des im vergangenen Jahrhundert verwendeten „Säkularanstiegs“ von 25 cm/Jh. 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 geplante Ausbauten.

## Sturmfluten, Extremwerte

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 eine gleich große Sturmflut erzeugender Impuls bei sich stetig erhöhendem Tidehochwasser (s. o.) entsprechend höhere Sturmflutwasserstände bewirkt. WITTIG et al. (2007) errechnen für das Jahr 2050 im KRIM-Klimaszenario (MThw Dt. Bucht + 55 cm, Windgeschwindigkeit im Winter + 6,6 %, 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.

Der Anstieg des MThw an der Küste wird durch die Ausbauten der Ästuar für die Großschifffahrt 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 zwar eine Tendenz zur Zunahme, aber noch keine statistisch abgesicherten Befunde im Bereich der Nordseeküste gibt. Allerdings nimmt die mittlere Wellenhöhe in der Nordsee stetig zu. GROSSMANN et al. (2007) erwarten erst ab Mitte dieses Jahrhunderts einen relevanten, Sturmflut erhöhenden Klimateffekt. Auf Basis der A2- und B2-Szenarien (vgl. Abb. 2) errechnen sie für 2030 eine Erhöhung der Sturmflutspitze z. B. in Hamburg-St. Pauli um  $18 \pm 5$  cm und für 2080 um 63 cm (48-82 cm). Es zeigt sich hierin die weitere Beschleunigung des Meeresspiegelanstiegs und die ab Mitte des Jahrhunderts zu erwartende Erhöhung der Windgeschwindigkeiten.

#### 4 Küstenschutz im Klimawandel

Wie SCHIRMER, SCHUCHARDT (2008) darstellen, beinhalten die Aufgaben des Küstenschutzes sowohl die Sicherung der Küstenlinie vor Erosion, insbesondere im Bereich der Inseln und exponierter Deichabschnitte, als auch den Schutz besiedelter und genutzter Landflächen vor der Überflutung durch Meer-, Brack- und Flusswasser. Letztere Funktion beschränkt sich heutzutage nicht mehr nur auf Hochwasser- oder Sturmflutsituationen, sondern ist eine permanente Aufgabe geworden: Die zu schützenden Flächen der Küsten- und Flussmarschen liegen heute infolge jahrhundertelanger Eindeichung, Trockenlegung und Setzung bei gleichzeitig ansteigendem Meeresspiegel großflächig bis zu mehreren Metern unter dem mittleren Tidehochwasser, welches an der Küste im Bereich von 1,5 m ü. NN und im Inneren der ausgebauten Ästuar bei

2 bis 2,5 m ü. NN liegt. Neben dieser alltäglichen „Grundsicherung“ der norddeutschen Küsten- und Flussmarschen, Dörfer und Städte erfordert der Schutz der Gebiete vor Extremereignissen wie Sturmfluten eine entsprechende Bemessung der Schutzanlagen.

Wesentliche Grundlage der Berücksichtigung von Sturmfluten ist die Analyse historischer Ereignisse. Dies kann mittels probabilistischer Analyse von Wasserstand und Eintrittszeitpunkt geschehen oder deterministisch durch die Analyse des höchsten bis dato eingetretenen Windstaus, also der durch Wind zusätzlich erzeugten Wasserstandserhöhung, die dann dem höchsten bekannten astronomischen Springtidehochwasser hinzuaddiert wird:  $NN + MThw + \Delta HSpThw + \Delta Windstau + \Delta Säkularanstieg = Bemessungswasserstand$  (im Einzelwertverfahren). Für Flussdeiche wird die Bemessung wegen der Interaktion u. a. mit Flusshochwasser auf der Grundlage hydrodynamischer Modelle durchgeführt, ein aktuelles Beispiel für beide Verfahren bietet der „Generalplan Küstenschutz Niedersachsen/Bremen – Festland“ (NLWKN 2007).

Es sei angemerkt, dass für die Festlegung der herzustellenden Deichhöhen („Deichbestick“), ausgehend vom zukünftigen Bemessungswasserstand, der bei Sturmfluten u. U. erhebliche Wellenauflauf errechnet und berücksichtigt wird, so dass die jeweiligen lokalen Besonderheiten (Vorlandeingenschaften, Exposition zur Windrichtung, Fetch/Wellenhöhe, Deich oder Spundwand etc.) zu unterschiedlichen Deichhöhen führen können. Bislang noch nahezu unberücksichtigt bleiben Unterschiede im geschützten Bestand, z. B. Stadt, Industrie, Grünland u. ä. Eine Risikoabschätzung auf der Grundlage der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadensereignisses und den potenziellen Schadenshöhen ist nicht Stand der Küstenschutztechnik in Deutschland. Ansätze dazu sind u. a. von SCHUCHARDT, SCHIRMER (2005, 2007) publiziert worden.

Angesichts der sicher absehbaren, aber keineswegs quantifizierbaren zusätzlichen Erhöhung der Sturmfluten durch den Klimawandel kommt dem „Säkularanstieg“ (s. o.) bei der Bemessung der zukünftigen Deichhöhen eine weitaus bedeutendere Rolle zu als bisher. In Berücksichtigung der aktuellen Erkenntnisse über den akuten Klimawandel und seine bereits deutlichen Auswirkungen auf den Anstieg des Meeresspiegels wurde im Juli 2007 festgesetzt, dass im Generalplan Küstenschutz Niedersachsen/Bremen der Säkularanstieg mit 50 statt 25 cm berücksichtigt wird. Das entspricht, abzüglich der geologischen ca. 10 cm Küstensenkung, dem seit 50 Jahren zu beobachtenden mittleren Anstiegstrend an der deutschen Nordseeküste von etwa 40 cm/Jh. und dürfte zumindest bis zur Mitte dieses Jahrhunderts eine ausreichende Sicherheitsreserve bieten.

Auf Grundlage des Generalplans Küstenschutz Niedersachsen/Bremen werden diese beiden Küstenländer ihre Deiche und alle Schutzeinrichtungen, die der Abwehr von Sturmfluten dienen, im Laufe der kommenden ca. 12 Jahre entsprechend erhöhen und verstärken. Das wird auf der weit überwiegenden Strecke (125 km in Niedersachsen, 55 km in Bremen und Bremerhaven) durch die Ertüchtigung der vorhandenen Infrastruktur im Wesentlichen auf der gegenwärtigen Linie geschehen, einschließlich der Anpassung einiger Sturmflutsperrwerke an den Nebenflüssen von Elbe und Weser. Der sich aus den Neubemessungen einschließlich neuer Berechnungen des Wellenauflaufes ergebende Erhebungsbedarf beträgt z. B. in der Stadt Bremen auf dem rechten Weserufer wegen der dort bei Sturmflut und Nordwestwind höher auflaufenden Wellen durchschnittlich 1 bis 1,2 m gegenüber den jetzigen Höhen von etwa 7 m ü. NN, die aus den 1960er Jahren stammen. Der Mittelbedarf für das Land Bremen wird auf mindestens 135 Mio. € geschätzt. In Bremen/Niedersachsen und Hamburg ist ein zusätzliches Element der Nachhaltigkeit

und Vorsorge in die Berechnungen eingeflossen: In beiden Planwerken ist festgelegt, dass bei der Berechnung von Gründungen, Fundamenten, technischen Gewerken u. ä. vor allem in den städtischen Bereichen von vornherein die Möglichkeit einer späteren, weiteren Erhöhung des Bauwerks um ca. 1 m einzuplanen ist. In Bremen spielt das z. B. aktuell eine Rolle bei der Planung der Verstärkung (Erhöhung und Verbreiterung) der grünen Deiche in Bremen-Farge, vor allem unter eingeeengten Verhältnissen, wie auch in den Bereichen der gerade entstehenden Überseestadt in den ehemaligen Hafenvierteln.

## 5 Langfristige Optionen

Das folgende Kapitel über ausgewählte langfristige Anpassungsoptionen ist SCHIRMER, SCHUCHARDT (2008) entnommen. Wie die Autoren ausführlich darlegen, zeigen die Szenarien und Prognosen des IPCC, dass selbst bei einer Verstärkung der Emissionsraten von Klimagasen der Anstieg des Meeresspiegels fortschreiten wird, weil die betroffenen Systeme der Ozeane und Gletschermassen deutlich träger reagieren als die Atmosphäre und mindestens 100 Jahre zur Erreichung eines Gleichgewichtszustandes brauchen. Diese Aussicht und die neuen, höchst beunruhigenden Erkenntnisse über die Beschleunigung der Gletscherschmelze weltweit machen es dringend erforderlich, über Anpassungsstrategien und Möglichkeiten des Küstenschutzes nachzudenken, mit denen auf deutlich mehr als 1 m Meeresspiegelanstieg reagiert werden kann. Die damit verbundene überproportionale Erhöhung der Extremwasserstände und Sturmfluten kann sehr wohl dazu führen, dass die heutige Strategie der Verteidigung einer – der aktuellen – Schutzlinie nicht durchzuhalten ist. Gründe dafür können mangelnde Tragfähigkeit des Deichuntergrundes sein, fehlender Platz für Verbreiterungen, schlechte Kosten-/Nutzenrelation, negati-

ve morphodynamische Veränderungen wie Erosion der Deichvorländer u. v. m. Den dazu bislang vorliegenden wenigen Studien für die Deutsche Nordseeküste ist gemeinsam, dass sie (noch) nicht von einer Aufgabe bisher geschützter Flächen ausgehen, sondern zunächst Versuche aufzeigen, mit denen die steigenden Risiken auf technisch-strategischer Ebene kompensiert werden können. Die folgenden Beispiele entstammen im Wesentlichen dem Forschungsvorhaben KRIM („Klimawandel und präventives Risiko- und Küstenschutzmanagement an der Deutschen Nordseeküste“), dessen Ergebnisse zusammengefasst von SCHUCHARDT, SCHIRMER (2007) publiziert wurden.

### 5.1 „Verteidigung“: Erhöhung und überproportionale Stabilisierung der Deiche

Die heutige Bemessung der Deichhöhen beinhaltet das Zulassen einer relativ geringen Überlaufmenge von 2 l/s pro lfd. Meter beim Erreichen des Bemessungswasserstandes. Vor allem die Binnenböschung der Seedeiche muss dieser Belastung Stand halten; beispielsweise sind fast alle Deichbrüche bei der Katastrophenflut vom 16./17. Februar 1962 durch Wellenüberlauf und Rückseitenerosion entstanden. Hier liegt eine erste Möglichkeit der Anpassung der vorhandenen Küstenschutz-Infrastruktur: Wenn die weitere Erhöhung der Deichkrone nicht möglich oder gewollt ist („Stabilität statt Höhe“), steigt die bei Erreichen des Bemessungswasserstandes überlaufende Wassermenge und muss im Hinterland bewältigt werden. Voraussetzung für eine solche „kontrollierte“ Überströmung der Deichkrone ist jedoch die Herstellung einer entsprechend flachen und erosionsstabilen Böschung (der Deich muss „unkaputtbar“ stabil sein), was entsprechenden Raum- und Materialbedarf erzeugt. Die statistische Verkürzung der Wiederkehrzeiten für ein solches Ereignis steigert zwangsläufig das Risiko – bei gleich bleibendem oder stei-

gendem Schadenspotenzial im Hinterland. Entsprechende technische Maßnahmen zur Kontrolle des eindringenden Wassers, u. U. Objektschutz im potenziellen Ausbreitungsbereich und evtl. eine zusätzliche Versicherung gegen Sturmflutschäden wären Bestandteile einer solchen Strategie.

### 5.2 „Anpassung“: Zweite und weitere Deichlinien

In Ergänzung zu einer erzwungenen oder kalkulierten Erhöhung der Überlaufwahrscheinlichkeit kann bzw. sollte der davon betroffene Bereich durch eine zweite oder dritte, dahinter liegende Deichlinie gestaffelt abgesichert werden. Damit entwickelt sich der linienhafte Küstenschutz zu einem flächenbezogenen. Die Strategie gestaffelter Deichlinien wird z. B. in den Niederlanden aktiv verfolgt, dort insbesondere wegen der Bedrohung der tief liegenden Areale sowohl durch Rhein-Hochwässer als auch durch Sturmfluten. Auch Schleswig-Holstein besitzt auf großen Flächen eine solche Infrastruktur in Form alter Deichlinien („Schlafdeiche“), die erhalten blieben und heute als funktionstüchtige Bestandteile des Küstenschutzsystems eventuell eindringendes Wasser auffangen. In Niedersachsen sind Altdeiche selten, einer befindet sich im Land Wursten, müsste aber ebenfalls hergerichtet und aktiviert werden. Abb. 5 zeigt eine Konzeptstudie für den Bereich des Weser-Ästuars (SCHIRMER et al. 2007). Die vorhandene und zu erhaltende Deichlinie ist in der Abbildung nicht hervorgehoben, sie verläuft im Wesentlichen entlang der erkennbaren Küsten- bzw. Uferlinie.

Wie MAI et al. (2003) an umfangreichen Fallbeispielen aus dem Bereich der Weser-Jadeküsten zeigen konnten, können durch zweite Deichlinien Überflutungsschäden im Hinterland u. U. erheblich gesenkt werden, insbesondere in dichter besiedelten Gebieten. Zu berücksichtigen ist dabei, dass die Errichtung neuer zweiter Deichlinien, auch wenn sie nur 3-4 m Höhe haben müssen, in

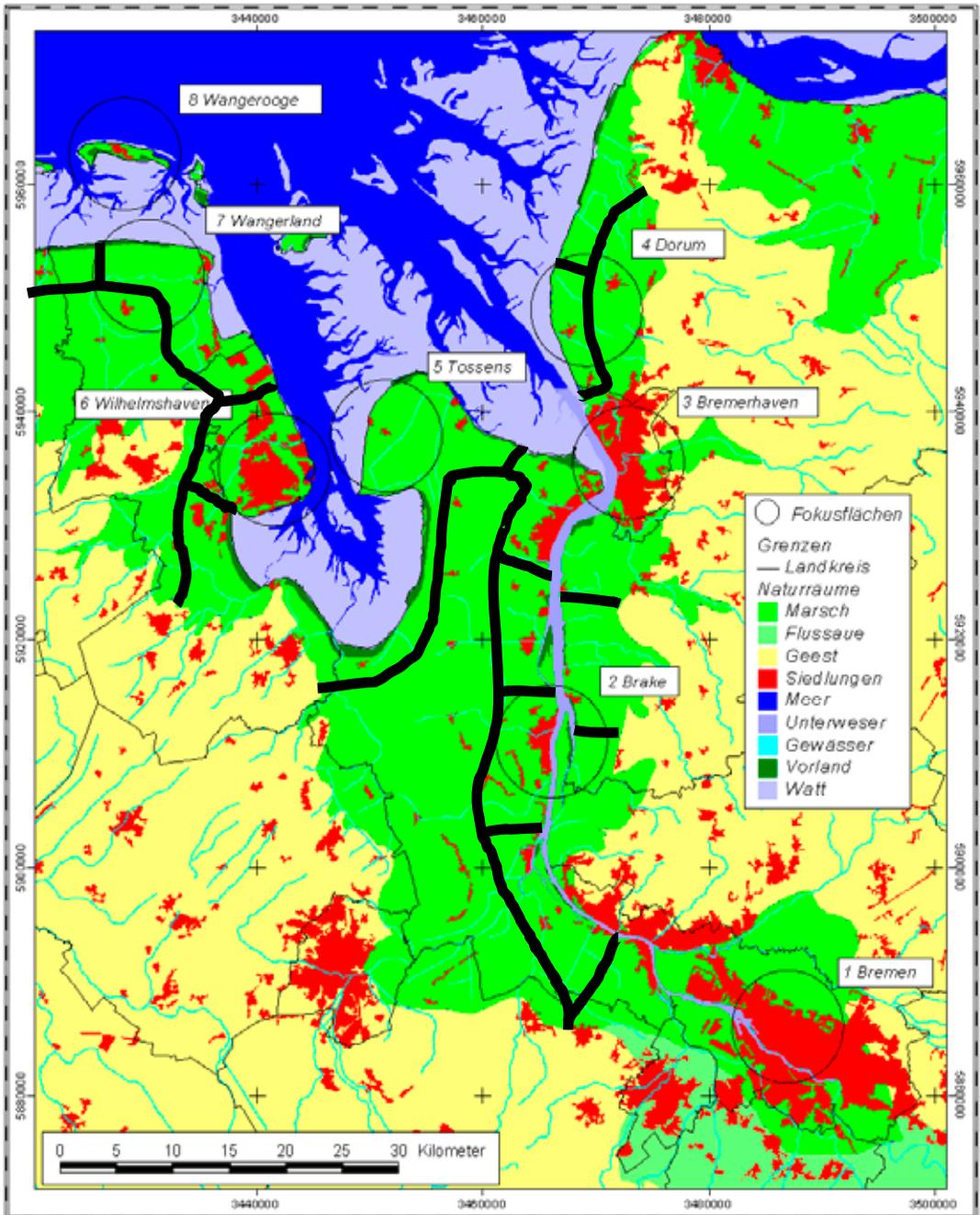


Abb. 5: Fokusflächen des Forschungsprojekts KRIM und mögliche Anordnung zweiter Deichlinien in der Jade/Wesermarsch. Vorhandene, bleibende Hauptdeichlinie nicht dargestellt (nach MAI et al. 2003).

der mittlerweile sehr dicht besiedelten und mit Infrastruktur durchsetzten Landschaft erhebliche Kosten verursacht und es zu-

dem in der Fläche direkt hinter dem Hauptdeich durch Rückstau zu höheren Schäden kommt als ohne zweite Deichlinie.

Ein noch weiter differenziertes Konzept für einen raumbezogenen Küstenschutz legte KUNZ (2004) vor. Es beinhaltet gestaffelte Deichlinien, ggf. „Objektschutz“ für Siedlungen und andere stationäre Infrastruktur sowie eine Anpassung der Landnutzung an gestaffelte Risiken.

Eine Variante zur Strategie der zweiten Deichlinie ist die Anlage von Sturmflutentlastungspoldern im Bereich der inneren Ästuar, die sich bei Erreichen eines bestimmten Sturmflutwasserstandes durch Deichüberlauf füllen. Wie VON LIEBERMAN et al. (2005) zeigen, könnte damit bei entsprechender Auslegung eine schwere Bemessungssturmflut in Bremen um bis zu 70 cm abgesenkt werden. Die wesentlichen Probleme bilden der Raumbedarf, die Kosten und die schnelle Entleerung der Polder im Falle einer Kettentide.

### 5.3 „Vordringen“: Mündungssperrwerke

Langfristig kann eine Situation eintreten, in der die Strategien der Verteidigung und der Anpassung auch im Bereich der Mündungen von Elbe und Weser aus Gründen physischer und/oder technischer Restriktionen oder aus Kosten-/Nutzenerwägungen nicht weiter verfolgt werden können. In diesem Falle kann die Küstenschutzvariante „Vordringen“ an Bedeutung gewinnen. Der Bau von Flussmündungssperrwerken entspricht einer „Vorwärtsverteidigung“, weil in großen Abschnitten der Küste deren Schutz weiterhin auf der vorhandenen Linie geschieht, jedoch durch eine Verkürzung der Deichlinie quer durch die Mündung, z. B. der Weser, die dahinter liegende Deichlinie entlastet und diese quasi zur zweiten Deichlinie wird. Im Forschungsvorhaben KRIM (SCHUCHARDT, SCHIRMER 2007) haben SCHIRMER et al. (2007), aufbauend auf den Ergebnissen von MAI et al. (2003), diese Variante näher betrachtet. Ähnlich den Mündungssperrwerken in der Ems, der Themse und im Rhein oder den vielen Sperrwerken im Bereich der Nebenflüsse von Unterelbe und -weser wäre eine

Struktur zu schaffen, die bei normalen Wasserständen den Oberwasserabfluss und die Gezeiten nicht behindert, sondern erst bei Überschreitung festgelegter Wasserstände geschlossen wird und damit die dahinter liegenden Flussdeiche entlastet. Ein solches Bauwerk darf natürlich den Schiffsbetrieb außer im Schließungsfall nicht behindern und muss daher mit einer entsprechend großen Durchfahrtsöffnung oder Schleuse versehen sein (mind. Post-Panmax-fähig für die großen Containerschiffe). Ein derartiges Sperrwerk müsste die Stadt Bremerhaven in seinen Schutz einbeziehen und wäre somit quer durch die Außenweser zu planen. Ein solches Bauwerk würde gegenwärtig 2-4 Mrd. € kosten, zuzüglich der Kosten für die zusätzlich erforderlich werdende Erhöhung der Seedeiche im Jade-Weser-Dreieck, die infolge von Reflektion und Rückstau der Sturmfluten nochmals bis zu 1 m beträgt. Überdies läge es nahe, die z. T. sehr schwierige Situation der Deiche am Jadebusen durch ein weiteres Sperrwerk in der Zufahrt bei Wilhelmshaven abzufangen.

Festzuhalten bleibt, dass diese Lösung zu einer Umverteilung von Risiken aus dem Bereich der geschützten Flussmündung in den offenen Küsten- und Inselbereich führt und andere Strategien der flexiblen Anpassung langfristig blockiert.

## 6 Fazit

Weil Küstenschutz eine hoch komplexe und langwierige Aufgabe ist, ist trotz der unausweichlich bleibenden Unsicherheit über den weiteren Fortgang von Klimawandel und Meeresspiegelanstieg die Zeit zum Handeln gekommen. Die aktuellen Anpassungsmaßnahmen in den Küstländern und der Generalplan Küstenschutz Niedersachsen/Bremen sind Schritte in die richtige Richtung. Sie scheinen geeignet, für einen überschaubaren Zeitraum die gewohnten Sicherheiten zu bewahren, jedoch fehlen ihnen noch die strategischen, langfristigen Komponenten. Die oben genann-

ten Beispiele dürften deutlich machen, dass der eines u. U. nicht gar so fernen Tages notwendige Umstieg vom linien- zum raumbezogenen Küstenschutz neue Instrumente der Planung, komplexere Entscheidungsabläufe, längere Vorlaufzeiten sowie letztlich ein neues Bewusstsein von Küstenschutz und dem Umgang mit Risiko erzwingt.

Klimawandel und beschleunigter Anstieg des Meeresspiegels erfordern ab heute eine kontinuierliche gesellschaftliche Auseinandersetzung mit dieser Problematik und die Sicherung zukünftiger Anpassungsoptionen. Die Komplexität der Aufgabe und des Raums, seine sozio-ökonomische und naturschutzfachliche Bedeutung und die stetig voranschreitende Entwicklung erfordern dringend die Etablierung tragender Strukturen des Integrierten Küstenzonenmanagements (IKZM), wie sie z. B. in den von der Bundesregierung veröffentlichten Leitlinien empfohlen wird (BMU 2007). Die Bundesregierung unterstützt darüber hinaus mit der Bildung des „Kompetenzzentrums Klimafolgen und Anpassung“ (KomPass) (UBA 2008) die Entwicklung regionaler Anpassungsstrategien u. a. methodisch und durch die Bereitstellung spezifischer Klimadaten und -prognosen. Spätestens in der nächsten Generation wird der Klimawandel die Bedeutung des Küstenschutzes als gesamtgesellschaftliche Aufgabe deutlich in den Vordergrund rücken. Deshalb und auch wegen der nicht auszuschließenden Möglichkeit eines deutlich schnelleren Meeresspiegelanstiegs ist es geboten, diese Problematik und auch die unvermeidlichen Restrisiken aktiv öffentlich zu kommunizieren. Oberstes Ziel bleibt jedoch, durch einen effektiven Schutz des Klimas die sich abzeichnenden Risiken zu mindern.

## 8 Zusammenfassung

Der vom Menschen verursachte rapide Wandel des Klimas hat die Umweltbedingungen auch an der deutschen Nordseeküste bereits erheblich verändert. Lufttem-

peraturen, Niederschläge, Wasserführung der Flüsse und vor allem der beschleunigte Anstieg des Meeresspiegels erfordern nachhaltige Anpassungsmaßnahmen. Trotz Unsicherheit über den weiteren Fortgang des Klimawandels und des Meeresspiegelanstiegs muss der Küstenschutz auf die bereits absehbare Zunahme des Sturmflutrisikos reagieren. Der aktuelle Generalplan Küstenschutz Niedersachsen/Bremen hat dementsprechend bei der Neubemessung der Deiche den zukünftigen Anstieg des Meeresspiegels mit 50 statt der früher üblichen 25 cm/Jh. berücksichtigt. Langfristig ist jedoch ein wahrscheinlich deutlich stärkerer Anstieg des Meeresspiegels und der Sturmfluthöhen zu erwarten, auf die der Küstenschutz mit anderen Strategien antworten muss. Als Beispiele werden u. a. zweite und weitere Deichlinien und der Bau eines Sturmflutsperrwerks in der Wesermündung diskutiert.

## Literatur

- BEHRE, K.-E. 2003: Eine neue Meeresspiegelkurve für die südliche Nordsee – Transgressionen und Regressionen in den letzten 10.000 Jahren. Probleme der Küstenforschung im südlichen Nordseegebiet 28, 2003, 9-63.
- BMU 2007: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger: „Wissenschaftliche Grundlagen“: <http://www.bmu.de/klimaschutz/downloads/doc/39255.php> (07/2008).
- 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.
- GROSSMANN, I., WOTH, K., VON STORCH, H. 2007: Localization of global climate change: Storm surge scenarios for Hamburg in 2030 and 2085. Die Küste 71, 2007, 169-182.
- HEINEMANN, H.-J. 2003: Ein Beitrag zur Entwicklung des Klimas von Bremen in den letzten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts. – Abhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereins zu Bremen 45, 2003, 191-210.

- IPCC 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.-B. Averyt, M. Tignor, H. L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp. (<http://www.ipcc.ch/ipcc-reports/ar4-wg1.htm>) (03/2008).
- JENSEN, J., MUDERSBACH, C. 2007: Zeitliche Änderungen in den Wasserstandszeitreihen an den Deutschen Küsten. Berichte zur deutschen Landeskunde 81 H. 2, 2007, 99-112.
- KUNZ, H. 2004: Sicherheitsphilosophie für den Küstenschutz. Jahrbuch HTG 54, 2004, 253-287.
- MAI, S., ZIMMERMANN, C., ELSNER, A. 2003: Mögliche Reaktionsvarianten des Küstenschutzes: ein Einstieg in die Diskussion. 6. KRIM-Workshop, 28. April 2003, unveröffentlicht.
- MEYERDIRKS, J. 2008: Analyse der Klimasensitivität von Gebieten mit besonderer Bedeutung für Natur und Landschaft im Bereich der deutschen Nordseeküste. Waabs 2008.
- MPI 2008: Max-Planck-Institut für Meteorologie: Regionale Klimamodellierungen: (<http://www.mpimet.mpg.de/wissenschaft/ueberblick/atmosphaere-im-erdsystem/regionale-klimamodellierung/remo-uba/aktualisierte-abbildungen.html>) (07/2008).
- NLWKN 2007: Generalplan Küstenschutz Niedersachsen/Bremen – Festland. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (Hrsg.), Norden. 41 S. + Anlagen. ([http://www.umwelt.bremen.de/buisy05/sixcms/media.php/13/C36180448\\_L20.pdf](http://www.umwelt.bremen.de/buisy05/sixcms/media.php/13/C36180448_L20.pdf)) (03/2008)
- RAHMSTORF, S., RICHARDSON, K. 2007: Wie bedroht sind die Ozeane? Frankfurt 2007.
- SCHIRMER, M., ELSNER, W., GRABEMANN, I., HEINRICHS, H., LANGE, H., MAI, S., PETERS, H. P., SCHUCHARDT, B., WITTIG, S., ZIMMERMANN, C. 2007: Reaktionsvarianten des Küstenschutzes zur Anpassung an den Klimawandel. In: B. Schuchardt, M. Schirmer (Hrsg.), Land unter? Klimawandel, Küstenschutz und Risikomanagement in Nordwestdeutschland: die Perspektive 2050. München 2007, 167-192.
- SCHIRMER, M., SCHUCHARDT, B. 2008: Küstenschutz im Klimawandel: Herausforderungen und Anpassungsoptionen. In: H.-B. Kleeberg (Hrsg.), Klimaänderung – Was kann die Wasserwirtschaft tun? Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung H. 24.08 2008, 121-135.
- SCHÖNWIESE, C.-D., TRÖMEL, S. 2005: Langzeitänderungen des Niederschlages in Deutschland. In: J. L. Lozan, H. Graßl, P. Hupfer, L. Menzel, C.-D. Schönwiese (Hrsg.), Warnsignal Klima: Genug Wasser für alle? Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg 2005, 182-187.
- SCHUCHARDT, B., SCHIRMER, M. (Hrsg.) 2005: Klimawandel und Küste: Die Zukunft der Unterweserregion. Berlin 2005.
- SCHUCHARDT, B., SCHIRMER, M. (Hrsg.) 2007: Land unter? Klimawandel, Küstenschutz und Risikomanagement: Die Perspektive 2050. München 2007.
- Risikomanagement in Nordwestdeutschland: die Perspektive 2050. München 2007, 1-243.
- SRES 2008: <http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/index.htm> (03/2008).
- UBA 2008: Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung KompPass: ([http://www.anpassung.net/cln\\_047/DE/Home/homepage\\_node.html?\\_\\_nnn=true](http://www.anpassung.net/cln_047/DE/Home/homepage_node.html?__nnn=true)) (03/2008)
- UKCIP 2008: [http://www.ukcip.org.uk/scenarios/ukcip02\\_extras/images/UKCIP02Extras\\_SLC\\_map\\_final.gif](http://www.ukcip.org.uk/scenarios/ukcip02_extras/images/UKCIP02Extras_SLC_map_final.gif) (03/2008).
- VON LIEBERMAN, N., GABEMANN, I., MÜLLER, A., OSTERKAMP, S. 2005: Vergleichende Abschätzung von Effektivität und Nebenwirkungen verschiedener Reaktionsvarianten des Küstenschutzes an der Unterweser gegenüber einer Klimaänderung. In: Schuchardt, B., Schirmer, M. (Hrsg.), Klimawandel und Küste: Die Zukunft der Unterweserregion. Berlin 2005, 243-254.
- WITTIG, S., ELSNER, A., ELSNER, W., EPEL, D. P., GRABEMANN, I., GRABEMANN, H. J., KRAFT, D., MAI, S., MEYER, V., OTTE, C., SCHIRMER, M., SCHUCHARDT, B., YU, I., ZIMMERMANN, C. 2007: Der beschleunigte Meeresspiegelanstieg und die Küstenschutzsysteme: Ergebnisse der erweiterten Risikoanalyse. In: B. Schuchardt, M. Schirmer (Hrsg.), Land unter? Klimawandel, Küstenschutz und Risikomanagement in Nordwestdeutschland: die Perspektive 2050. München 2007, 93-113.

#### Anschrift des Verfassers

Dr. Michael Schirmer  
 Borgfelder Landstraße 40  
 D-28357 Bremen  
 E-Mail: [schi@uni-bremen.de](mailto:schi@uni-bremen.de)