

# KLIMAWANDEL IN NORDDEUTSCHLAND

MEERESSPIEGELANSTIEG UND MEHR:  
WAS KOMMT AUF UNS ZU?

Sönke Kref



## Zusammenfassung

Ausgehend vom aktuellen wissenschaftlichen Sachstand beleuchtet das vorliegende Hintergrundpapier die momentanen und zukünftigen Auswirkungen des Klimawandels auf den norddeutschen Küstenraum. Es entwickelt dabei eine Risikobewertung für verschiedene wichtige Sektoren und zeigt Handlungsnotwendigkeiten auf, um einen Ausgangspunkt für Diskussionen von Entscheidungsträgern und betroffenen Akteuren zu bieten. Es möchte dadurch einen Beitrag zum Anstoßen von Prozessen leisten, die im gesamten norddeutschen Küstenraum die notwendige Umsetzung von Klimaschutz und Klimaanpassung erreichen.

## Impressum

**Autor:**

Sönke Kreft

**Redaktion:**

Linde Griebhaber, Lena Reuter, Stefan Rostock, Sven Harmeling, Gerold Kier

**Herausgeber:**

Germanwatch e.V.

Büro Bonn

Dr. Werner-Schuster-Haus

Kaiserstr. 201

D-53113 Bonn

Telefon +49 (0)228/60492-0, Fax -19

Büro Berlin

Voßstr. 1

D-10117 Berlin

Telefon +49 (0)30/288 8356-0, Fax -1

Internet: [www.germanwatch.org](http://www.germanwatch.org)

E-mail: [info@germanwatch.org](mailto:info@germanwatch.org)

September 2009

Bestellnr.: 09-2-09

ISBN 978-3-939846-51-2

Diese Publikation kann im Internet abgerufen werden unter:

**[www.germanwatch.org/klima/nord09.htm](http://www.germanwatch.org/klima/nord09.htm)**



## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung: Küstenraum im Wandel</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Klimatreiber: Wachsende Emissionen in der Vergangenheit, steigender Ausstoß in der Zukunft?</b> .....	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Direkte Klimafolgen: Das Klimasystem ändert sich</b> .....	<b>7</b>
3.1	Langfristiger Wandel in Norddeutschland.....	7
3.2	Hitzewellen, Starkregen, Winterstürme, Sturmflut.....	14
<b>4</b>	<b>Indirekte Klimafolgen: Die lokale Umwelt ändert sich</b> .....	<b>18</b>
4.1	Biosphäre: Längere Vegetationszeit, "Neue Arten" zu Land und zu Wasser .....	18
4.2	Geosphäre: Veränderte Flusstände, Küstenerosion und Landverluste .....	19
<b>5</b>	<b>Auswirkungen des Klimawandels auf ausgewählte Sektoren</b> .....	<b>20</b>
5.1	Küstenschutz: Neue Strategien gegen neue Gefahren?.....	20
5.2	Wirtschaftliche Auswirkungen des Klimawandels .....	22
5.3	Normalbürger: Von Zecken und Malaria.....	25
<b>6</b>	<b>Fazit und Ausblick</b> .....	<b>27</b>
<b>7</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>28</b>

# 1 Einleitung: Küstenraum im Wandel

*„Wir haben Gott mit jedem Tag zu danken, daß er uns trotz unserer Trägheit das kostbare Stück Vorland gegen Sturm und Wasserdrang erhalten hat; jetzt aber ist es wohl die elfte Stunde, in der wir selbst die Hand anlegen müssen, es auch nach all unserm Wissen und Können selber uns zu wahren und auf Gottes Langmut weiter nicht zu trotzen.“*

Jewe Manners in „Der Schimmelreiter“ von Theodor Storm

Die Menschen an der norddeutschen Küste waren den Naturgewalten von jeher in besonderem Maße ausgesetzt. Vor allem Sturmfluten waren wiederholt eine Ursache für menschliches Leid und enorme wirtschaftliche Schäden. Der Mensch ist nun dabei, die Intensität und Auswirkungen vieler Naturphänomene durch den Ausstoß von Treibhausgasen und den dadurch verursachten globalen Klimawandel zu verändern. Die Ergebnisse der weltweiten Klimaforschung, zuletzt im Jahre 2007 vom UN-Weltklimarat IPCC zusammengefasst, lassen hieran wenig Zweifel.

Hiervon ausgehend zeigt das vorliegende Hintergrundpapier die momentanen und zukünftigen Auswirkungen des Klimawandels auf den norddeutschen Küstenraum und bietet einen Ausgangspunkt für Diskussionen von Entscheidungsträgern und Betroffenen. Der drohende Meeresspiegelanstieg ist wohl die offensichtlichste Folge für die Küste. Doch der Klimawandel hat mehr Facetten und wirkt in Rückkopplungen mit anderen ökologischen, geologischen, aber auch soziopolitischen Wandelprozessen. Um diese Vielschichtigkeit des Themas Klimawandel und seine Auswirkungen auf die norddeutsche Küste aufzuarbeiten, baut die Struktur dieses Hintergrundpapiers auf dem Konzept einer Einflusskaskade auf (siehe Abbildung 1). Eine Betrachtung des Klimawandels, seiner Treiber und seiner großflächigen Auswirkungen bedingt unweigerlich eine von der globalen Perspektive ausgehende Untersuchung. Je weiter man in der Einflusskaskade fortschreitet, desto mehr lokale Bezüge nimmt man in seinen Überlegungen auf. Dies geht jedoch mit einer steigenden Komplexität und mehr Unsicherheiten in den Projektionen<sup>1</sup> der Wissenschaft zu den Konsequenzen einher.

Die Auswirkungen der verschiedenen Kaskadenstufen werden für exemplarisch ausgewählte Sektoren herausgestellt, um Handlungsnotwendigkeiten aufzuzeigen und ein Problemverständnis für die nötigen Anpassungs- und Klimaschutzmaßnahmen zu schaffen.

---

<sup>1</sup> In diesem Zusammenhang wird von "Projektionen" und nicht von "Vorhersagen" gesprochen, da die Aussagen von verschiedenen nicht vorhersehbaren Parametern abhängig sind (u.a. davon, für welches Ausmaß an Klimaschutzmaßnahmen die Menschheit sich entscheidet). Für verschiedene Parameterwerte versuchen Wissenschaftler verschiedene Projektionsergebnisse zu liefern, wie im nächsten Kapitel für die SRES-Szenarien erläutert wird.

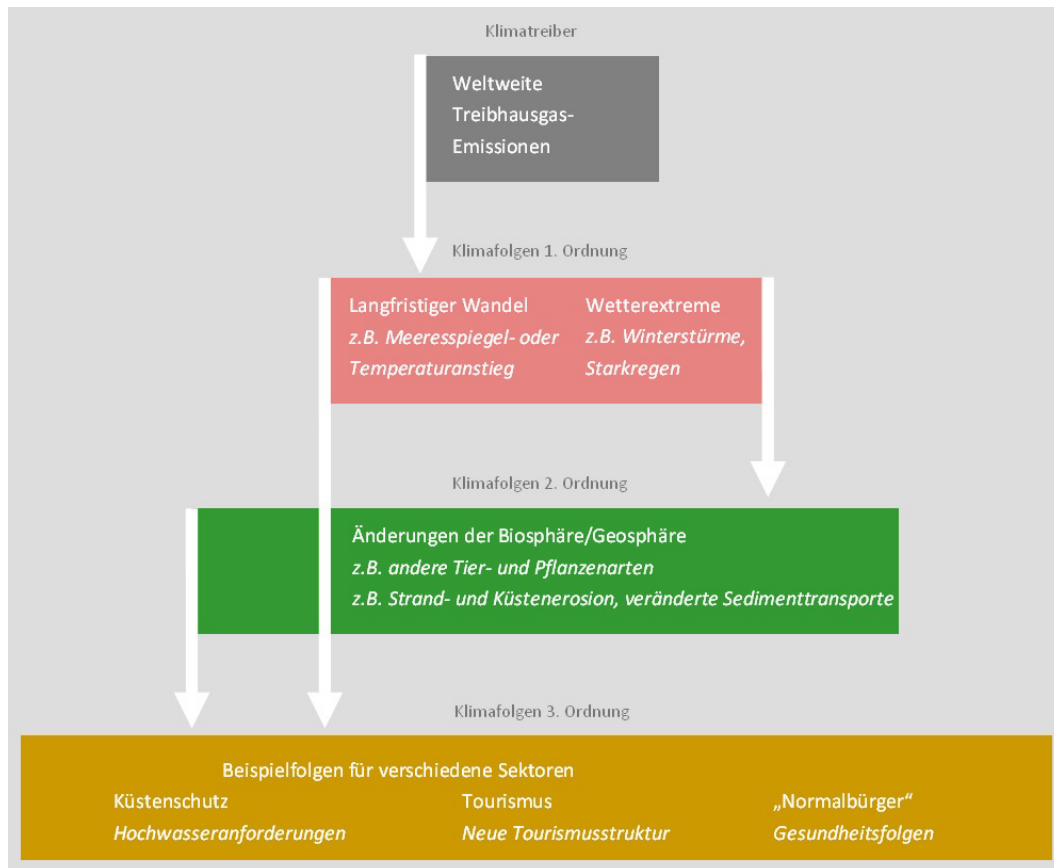


Abbildung 1: Einflusskaskade des Klimawandels auf Norddeutschland (Eigene Abbildung)

## 2 Klimatreiber: Wachsende Emissionen in der Vergangenheit, steigender Ausstoß in der Zukunft?

Der Klimawandel ist ein globales Problem. Kohlendioxid und weitere Treibhausgase sammeln sich vermehrt in der Erdatmosphäre. Dies ist eine Folge der weltweiten Verbrennung fossiler Brennstoffe, der Zerstörung von (Regen)wäldern sowie intensivierter, großräumiger landwirtschaftlicher Produktion. In Folge funktionieren Treibhausgase wie eine immer dicker werdende Decke, in die man den Erdball hüllt, und erhöhen das Energieniveau, das unser Klimasystem bestimmt. Die Konzentration von CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre ist von 280 ppm zu Beginn der industriellen Entwicklung (IPCC, 2007) auf 387 ppm im Jahr 2009 (NOAA, 2009) gestiegen.<sup>2</sup> Haupttreiber sind dabei neben dem Bevölkerungswachstum das Wirtschaftswachstum und einhergehend eine Änderung des Lebensstils: ein Wachstum der CO<sub>2</sub>-Emissionen folgt hieraus unweigerlich, solange es nicht gelingt, den CO<sub>2</sub>-Ausstoß pro produzierter Einheit der Wirtschaftsleistung stärker zu senken, als die Bevölkerung und ihr Pro-Kopf-Konsum steigt.

<sup>2</sup> ppm = parts per million = Teilchen CO<sub>2</sub> pro Million Luftteilchen

Die Zunahme von Treibhausgasen führt zu einer weltweiten Erhöhung der Durchschnittstemperaturen. Beobachtet wurde bisher eine Erwärmung von  $0,74^{\circ}\text{C} \pm 0,18$  weltweit (IPCC, 2007). Allerdings führt die Trägheit der Erwärmung der Ozeane zu einer Verzögerung des Temperatursignals. Der IPCC<sup>3</sup> (2007) geht davon aus, dass schon die heutige  $\text{CO}_2$ -Konzentration zu einem weiteren Anstieg von  $0,6^{\circ}\text{C}$  bis zum Ende des 21. Jahrhunderts führt. Die zukünftige Erwärmung hängt sehr stark von der weiteren sozioökonomischen Entwicklung einschließlich des Ausmaßes von Klimaschutzanstrengungen ab. Wissenschaftler bedienen sich verschiedener Szenarien, die plausible Zukunftswelten beschreiben. In die Szenariobeschreibung fließen mögliche Zukunftspfade wichtiger Rahmenbedingungen, etwa Bevölkerungswachstum, ökonomische und soziale Entwicklung, Einsatz neuer Technologien und Ressourcenintensität, ein. Klimamodelle sowie sämtliche aufbauende Vulnerabilitäts- und Anpassungsstudien nutzen hierfür die sogenannten SRES<sup>4</sup>-Szenarien, die im Jahr 2000 vom IPCC entwickelt wurden (siehe Nakicenovic et al., 2000) und die vier Szenarienfamilien beschreiben. Abbildung 2 zeigt die  $\text{CO}_2$ -Konzentration und die resultierenden Temperaturerhöhen aus verschiedenen Szenarioannahmen.

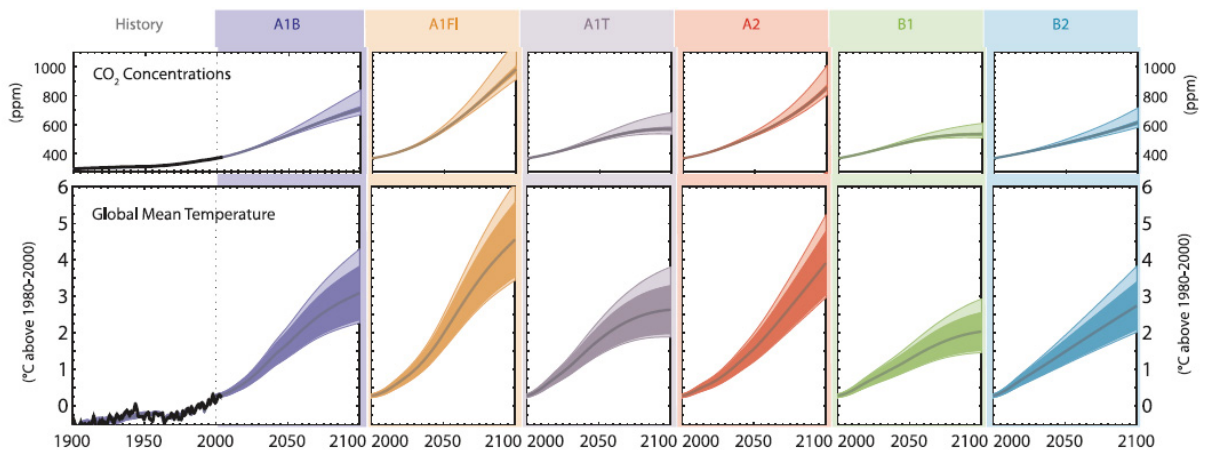


Abbildung 2:  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen und Temperaturentwicklung in der Vergangenheit und in der Zukunft nach möglichen Szenarien (Quelle: Meehl et al., 2007)

Während der letzten Jahre hat sich leider gezeigt, dass die Annahmen sämtlicher Szenarienfamilien zu optimistisch insbesondere im Hinblick auf die angenommene Ressourceneffizienz waren (Raupach et al., 2007; Pielke et al. 2008) und dass dadurch die tatsächlichen Emissionen der vergangenen Jahre höher lagen als durch die Bandbreite der Szenarien abgedeckt (siehe Abbildung 3). Geht man von einer (großzügig gerechneten) fünfprozentigen Reduktion der Emissionen für den Zeitraum 2008-2009 aus, kehrt der Emissionspfad wieder in die Bandbreite der Szenarien zurück. Jedoch befindet er sich dann immer noch im Bereich der pessimistischsten Szenarien und droht - sobald die größ-

<sup>3</sup>Der IPCC (deutsch Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen) ist ein Gremium, das in regelmäßigen Abständen wissenschaftliche Veröffentlichungen zu Klimawandel, Anpassung und Klimaschutz in sog. Sachstandsberichten zusammenfasst. Der vierte Sachstandsbericht wurde 2007 veröffentlicht. Da der IPCC nur „wissenschaftlich gesetzte“ Informationen verwendet, stammen die im letzten IPCC-Sachstandsbericht verwendeten Erkenntnisse nur aus der Zeit bis zum Jahr 2006. Seitdem sind viele neuere Forschungsergebnisse erschienen, welche die wichtigsten Aussagen des IPCC-Berichts nochmals verstärken.

<sup>4</sup>SRES steht für „Special Report on Emissions Scenarios“ - ein Bericht, der für den IPCC im Jahr 2000 verschiedene Emissionsszenarien entwickelt hat.

te Wirtschaftskrise der letzten 70 Jahre wieder überwunden ist - wieder darüber hinausgehen, wenn der Konjunkturaufschwung nicht mit massiven Anstrengungen zum Klimaschutz verbunden wird. Diese Feststellung ist insofern dramatisch, als bisherige regionale Projektionen von Klimaauswirkungen und -vulnerabilitäten aus Kapazitätsgründen auf wenige Szenarienkäufe aufbauen und dabei oft relativ milde Annahmen wie etwa das B1- oder das A1B-Szenario benutzen (siehe Abb. 2).

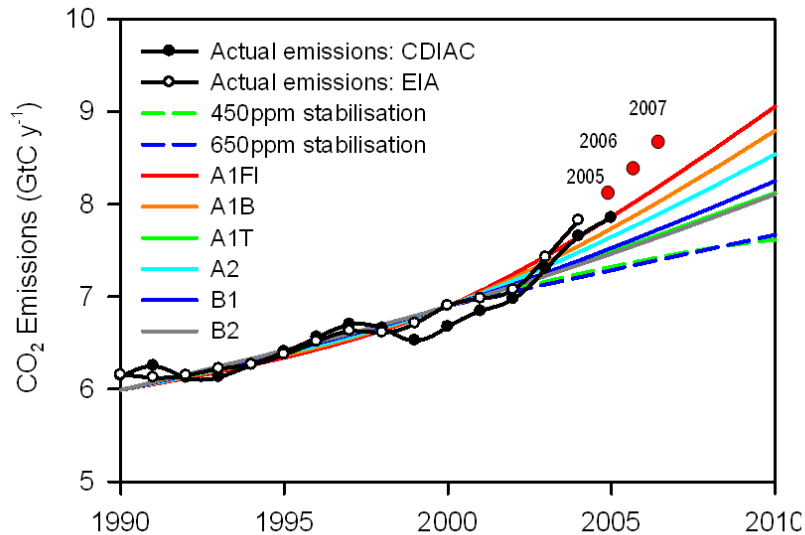


Abbildung 3: Angenommener Verlauf der CO<sub>2</sub>-Entwicklung nach IPCC-Szenarien und tatsächlicher Verlauf der Emissionen (aus Raupach et al, 2007; neue Zahlen von Global Carbon Project, 2009)

## 3 Direkte Klimafolgen: Das Klimasystem ändert sich

### 3.1 Langfristiger Wandel in Norddeutschland

#### Wärmer im Sommer, noch wärmer im Winter

Klimawandel und Erwärmung sind ein beobachteter Trend, der sich auch in Norddeutschland manifestiert. So sind die Durchschnittstemperaturen im vergangenen Jahrhundert um ca. 1°C und damit etwas höher als im globalen Durchschnitt gestiegen. Im Gegensatz zum Süden Deutschlands bildet sich auf Grund des maritimen Einflusses der Anstieg gleichmäßiger über das Jahr ab (Endlicher & Gerstengarbe, 2007).

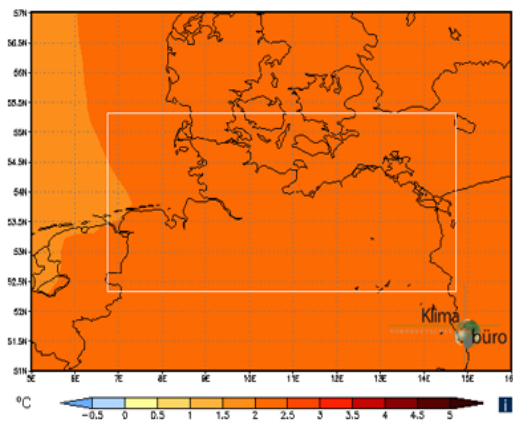
Die Frage bleibt jedoch, wie sich das weitere Klima im nächsten Jahrhundert verändert. Der IPCC (2007) antizipiert basierend auf den vorgestellten SRES Szenarien einen weltweiten Anstieg der Durchschnittstemperaturen von 1,6 bis 4 °C zu Ende des 21. Jahrhunderts im Vergleich zum Zeitraum 1980-1999, d.h. um rund 2,3 - 4,7 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau, einschließlich der "wahrscheinlichen Bandbreite" sogar um 3,1 - 7,1 °C. Die Temperaturerhöhung ist jedoch nicht gleichmäßig verteilt. Das Temperatursignal ist stärker über Landflächen und der Arktis. Um regionale Entwicklungen aufzuzeigen, reicht die Auflösung globaler Klimamodelle (auf deren Synthese sich der IPCC

stützt) nicht aus. Aus diesem Grund werden feiner aufgelöste regionale Modelle betrieben.

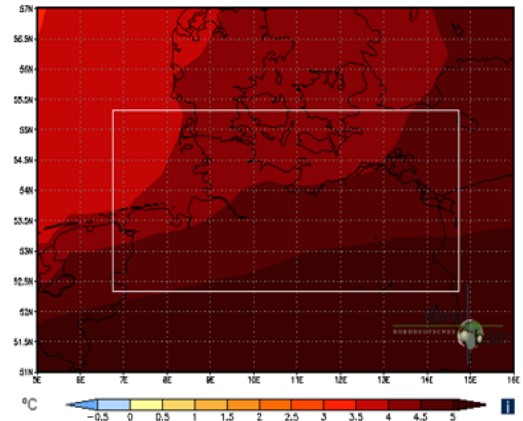
Das norddeutsche Klimabüro, ansässig am GKSS-Forschungszentrum, arbeitet die gewonnenen Erkenntnisse für die deutschen Küstenanrainer auf.

Nimmt man ein mittleres Emissionsszenario (A1B), so ergibt sich für den norddeutschen Raum ein mittlerer Temperaturanstieg von  $1,8^{\circ}\text{C}$ , wobei die Erwärmung im Winter deutlich ausgeprägter ist als im Sommer, und einen weiteren mittleren Anstieg auf  $3,1^{\circ}\text{C}$  zum Ende des Jahrhunderts. Nimmt man ein stärkeres Szenario, beispielsweise das Szenario A2, zeigt sich ein Anstieg von  $2,2^{\circ}\text{C}$  in der Mitte des Jahrhunderts und ein weiterer Sprung auf  $4,7^{\circ}\text{C}$  Ende dieses Jahrhunderts. Dabei fällt die projizierte Temperaturerhöhung im Landesinneren etwas höher aus als an der Küste (siehe Abbildung 4).

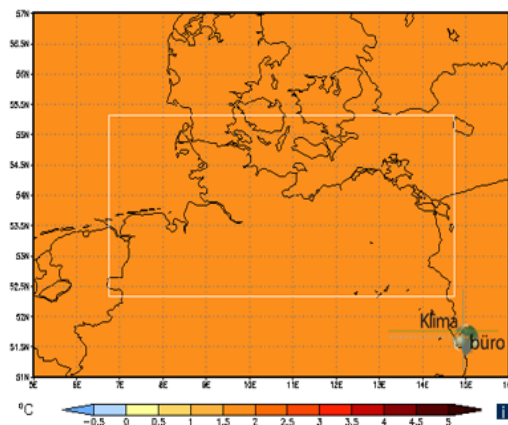
Norddeutschland: Mögliche größte Zunahme der durchschnittlichen Temperatur im Jahresmittel bis Mitte des 21. Jahrhunderts (2041-2070) im Vergleich zu heute (1961-1990)



Norddeutschland: Mögliche größte Zunahme der durchschnittlichen Temperatur im Jahresmittel bis Ende des 21. Jahrhunderts (2071-2100) im Vergleich zu heute (1961-1990)



Norddeutschland: Mögliche mittlere Änderung der durchschnittlichen Temperatur im Jahresmittel bis Mitte des 21. Jahrhunderts (2041-2070) im Vergleich zu heute (1961-1990)



Norddeutschland: Mögliche mittlere Änderung der durchschnittlichen Temperatur im Jahresmittel bis Ende des 21. Jahrhunderts (2071-2100) im Vergleich zu heute (1961-1990)

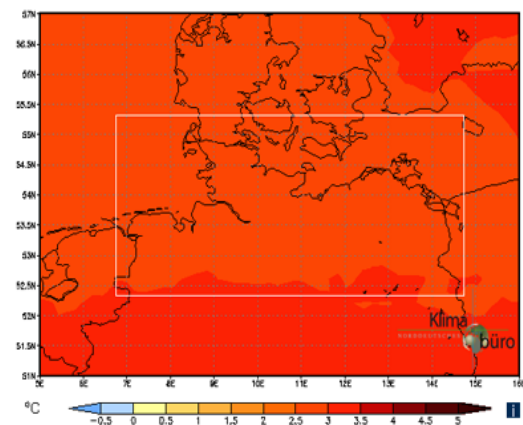


Abbildung 4: Temperaturprojektionen bis Mitte (links) und bis Ende des Jahrhunderts (rechts) basierend auf dem REMO-Modell und der Szenariowahl A2 (oben) und A1B (unten) (Norddeutsches Klimabüro, 2009).



### Trockene Sommer, nasse Winter

Generell erhöht sich durch die Erhöhung der Lufttemperatur auch die Wasserverdunstung und die Wasseraufnahmefähigkeit der Atmosphäre (Clausius-Clapeyron-Gesetz), was zu veränderten Niederschlagsmustern weltweit führt.

Im allgemeinen sind Projektionen zum Niederschlag mit höheren Unsicherheiten behaftet als Temperaturmodellierungen, da sie oft von mikro- und mesoskaligen Bestimmgrößen abhängen. Trotzdem lassen sich schon heute einige Trends erkennen. Für Norddeutschland errechnete das REMO-Modell im Jahresdurchschnitt ähnliche Niederschlagsmengen für das Ende des jetzigen Jahrhunderts im Vergleich zu heute. Direkt an der Küste kann es sogar zu einem Anstieg um 20% kommen. Es zeigt sich jedoch, dass die Sommer im Durchschnitt trockener werden und dass dieses Minus durch feuchte Winter kompensiert oder sogar überkompensiert wird (UBA, 2008). Die Niederschläge im Sommer werden sich jedoch zunehmend als Starkregenereignisse manifestieren, was zu der paradoxen Situation führt, dass trotz gleicher oder sogar erhöhter jährlicher Niederschlagsmengen die Dürrefahr zunimmt.

### Meeresspiegelanstieg

Das Meer ist ein launischer Geselle für die Bewohner der Küste. Durch Meeresspiegelanstieg haben sich die Küstenlinien in den letzten 8000 Jahren über Hunderte von Kilometern verschoben. Wo sich heute Scholle und Seezunge wohlfühlen, z.B. auf der Doggerbank, waren früher Siedlungsgebiete verschiedener neolithischer Kulturen.

Dazu ist Norddeutschland durch sein flaches Relief sehr anfällig für stetigen Meeresspiegelanstieg und Sturmfluten (vgl. Abbildung 5). Hinzu kommt der Effekt einer kontinuierlichen Landsenkung (vgl. Infobox). Deswegen ist die Erhöhung des Meeresspiegels sicherlich eine der langfristigen Klimafolgen, die besonders schwerwiegend für die Küstenbewohner ist.

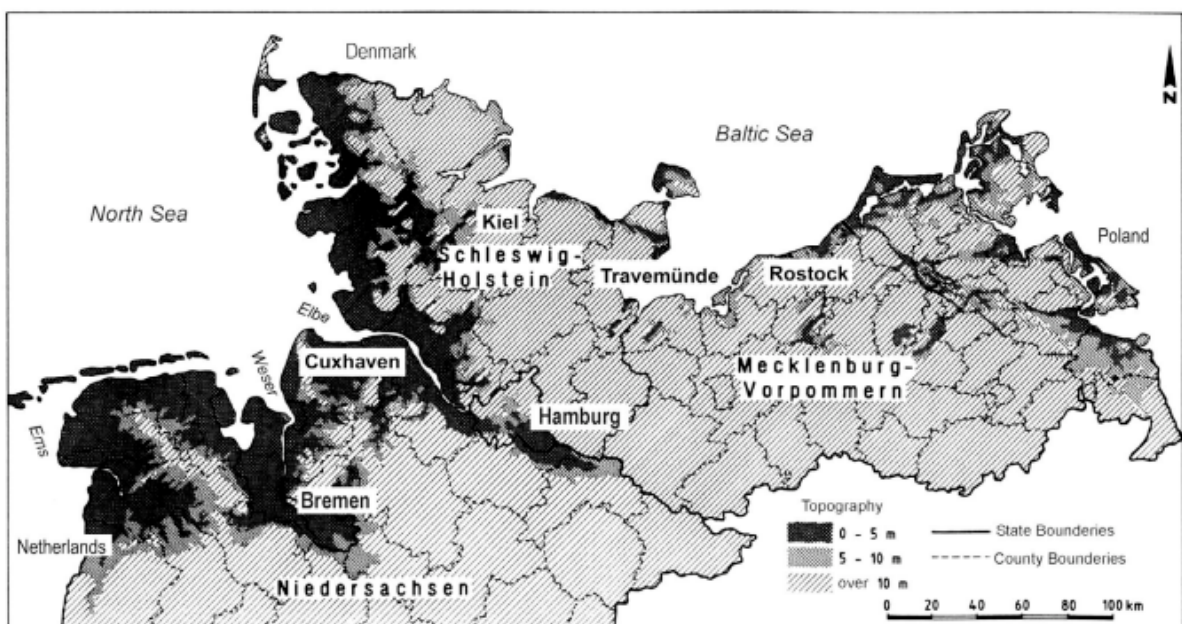


Abbildung 5: Bereiche, die anfällig gegenüber Meeresspiegelanstieg sind (aus Sterr, 2008)

Die globale Erwärmung erzeugt einen Anstieg des Meeresspiegels über zwei Wirkmechanismen. Zum einen bewirkt die globale Erwärmung eine Ausdehnung des Volumens der Ozeane. Zum anderen führt der Abbruch und das Schmelzen von Landgletschern zu einem erhöhten Süßwasserzufluss in die Ozeane. Da sich die Durchschnittstemperaturen schon während des letzten Jahrhunderts um  $0,74^{\circ}\text{C}$  erhöht haben, ist auch mit einem entsprechenden Signal beim Meeresspiegel zu rechnen.

Church & White (2006) haben einen weltweiten Anstieg von 1,7mm pro Jahr im vergangenen Jahrhundert nachgewiesen, wobei sich dieser Anstieg um 0,013mm pro Jahr beschleunigt hat. Dieser Trend ist jedoch nicht homogen über den Erdball verteilt. Vielmehr hängt der Meeresspiegelanstieg von vielen weiteren Faktoren, etwa Salzgehalt des Wassers, Meeresströmung sowie Wind und teilweise auch geologischen Faktoren ab. In Cuxhaven wurde seit 1890 ein Anstieg von 22cm (2,2mm pro Jahr) des mittleren Tidehochwassers registriert (Voigt, 1997).

#### **Infobox: Meeresspiegelanstieg - Die Nordseeküste trifft es doppelt schlimm**

Mehr Wasser durch thermische Ausdehnung und Gletscherschmelze als Treiber des Meeresspiegels ist nur ein Teil der Medaille. Gleichzeitig wirkt nämlich auch ein Absenken der Landfläche als relativer Meeresspiegelanstieg.

Die Nordseeküste ist eine solche Region, die von erhöhten Wasserständen betroffen ist und sich gleichzeitig absenkt. Dies ist der Grund, weswegen Pegelmessungen in Cuxhaven einen höheren Anstieg feststellen als der weltweite Durchschnitt.

Gründe für diesen Absenkungsvorgang sind vielfältig: Die südliche Nordsee liegt im Bereich einer Landsenkung. Da die eiszeitlichen Gletscher Skandinaviens in die Tiefe gestaut haben, hebt sich Nordeuropa noch immer. Die Wattenmeerküste taucht im Gegenzug ab (so wie sich der Bodensee im Gegenzug zur Auffaltung der Alpen einsenkte) (vgl. Daschkeit & Sterr, 2003). Ein weiterer Absenkungsvorgang entsteht durch die Verdichtung von Torf, der weiträumig im Untergrund des Küstenraumes vorhanden ist und sich durch Auflastung durch darüber gespülte Sedimentschichten setzt (Streif, 2003). Auch Änderungen des Wassermanagements (z.B. die Einrichtung von Reservoirs oder vermehrtes Abpumpen von Wasser) kann zu Landsenkung führen (Daschkeit & Sterr, 2003).

Neue Messungen, basierend auf Satellitentechnik, zeigen in den letzten Jahren einen weiteren weltweiten Anstieg um 3,1mm pro Jahr (Church & White, 2006), wobei der Anstieg in den letzten 5 Jahren wieder leicht abgenommen hat (auf 2,5mm p.a.) (Cazenave, 2009).

Die entscheidende Frage ist, wie sich der Meeresspiegel in den kommenden Jahrzehnten entwickeln wird. Basierend auf Computermodellen schätzt der IPCC (2007) den Meeresspiegelanstieg je nach gewähltem Emissionsszenario auf 17-59cm bis 2100. Diese Bewertung schließt jedoch nicht dynamische Eisprozesse in der Westantarktis und Grönland mit ein, da der wissenschaftliche Sachstand zur Zeit der Veröffentlichung des IPCC diese noch nicht deutlich einschätzen konnte.

Ausgehend von der Feststellung, dass die tatsächlich beobachteten Pegel- und Satellitendaten in den letzten Jahren den zuvor projizierten Daten des IPCC widersprechen (Abbildung 6, Rahmstorf et al., 2007), hat Rahmstorf (2007) einen semiempirischen Ansatz gewählt, der aufbauend auf dem statistischen Zusammenhang zwischen Temperaturanstieg

und Meeresspiegelanstieg diesen anhand der projizierten Temperaturwerte in die Zukunft fortschreibt (Abbildung 7). Rahmstorf schließt je nach gewähltem Emissionsszenario auf Meeresspiegelanstiege von 50cm bis 1,4m zum Jahr 2100.

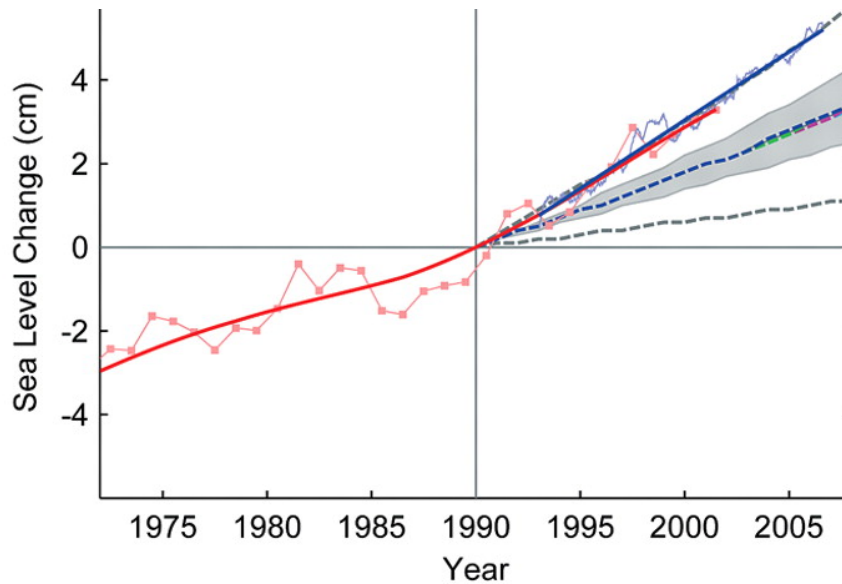


Abbildung 6: Beobachtete Meeresspiegelanstiege aus Pegelmessung (rote Punkte: Messwerte; rote Linie: Trend) und Satellitenmessung (dünne blaue Linie: Messwerte; dicke blaue Linie: Trend) im Vergleich zu den IPCC-Schätzungen von 2001 (grauer Bereich und graue gestrichelte Linien), aus Rahmstorf et al. (2007). Die Schätzungen des IPCC-Berichts von 2007 sind in derselben Größenordnung, lediglich die Spannweite der Schätzungen ist kleiner.

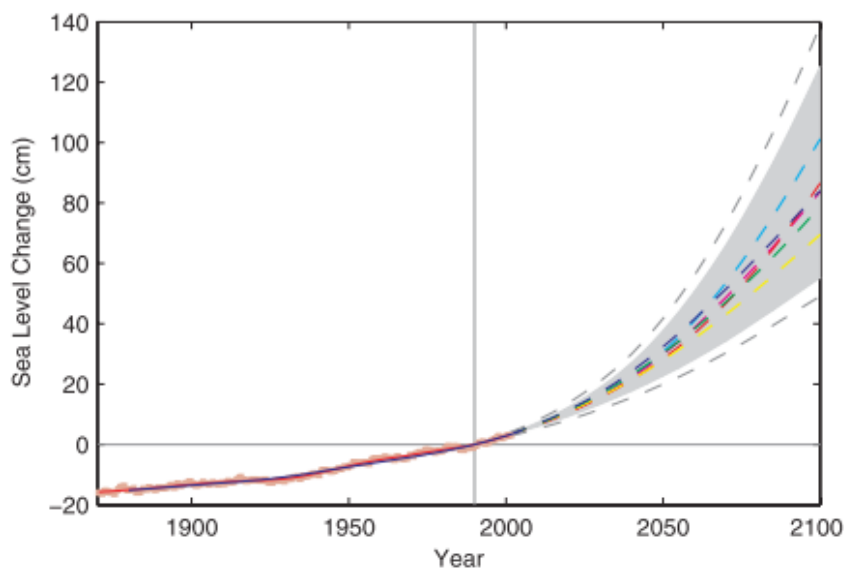


Abbildung 7: Projektionen des Meeresspiegelanstiegs bis 2100, nach Rahmstorf (2007): Die bunten gestrichelten Linien entsprechen den verschiedenen IPCC-Emissionsszenarien, der graue Bereich gibt die Unsicherheit in den Temperaturmodellierungen für das nächste Jahrhundert an, die graue gestrichelte Linie addiert die Unsicherheit des statistischen Verfahrens hinzu.

Dieses Verfahren bezieht jedoch ebenfalls nicht den abrupten Verlust von Landeismassen mit ein. Es besteht jedoch die begründete Sorge, dass eben diese für den größten Teil kommender Meeresspiegelerhöhung verantwortlich sein werden. Ein komplettes Abschmelzen Grönlands, der Westantarktis oder der Ostantarktis würde zu 7m, 5m bzw. 52m Meeresspiegelanstieg führen. Domingues et al. (2008) haben festgestellt, dass die Wärmeausdehnung der Ozeane den größten Teil des Meeresspiegelanstiegs von 1061-2003 verursacht hat, wobei diese stark schwankt (abhängig von Vulkanausbrüchen und La-Nina-Effekten). Cazenave et al. (2008) wiederum zeigen, dass zwischen 2003 und 2008 der Anstieg (2,5mm p.a.) zum überwiegenden Teil aus Eisverlusten von Landgletschern und von den grönländischen und westantarktischen Eispanzern stammt, während die Wärmeausdehnung geringer ist (möglicherweise wegen einmaliger Effekte, wie der La-Nina-Kaltphase in 2006).

Die Frage ist, ob diese Beschleunigung in der Zukunft anhält, wieder abebbt oder sich gar weiter beschleunigt. Es wird angenommen, dass sich Elemente des Klimasystems wie (Um)Kippelemente verhalten können, die, wenn das Temperatursignal einen bestimmten Wert überschreitet, ihre Systemänderungen beibehalten, auch wenn der ursprüngliche Treiber wegfällt (vgl. Lenton et al., 2008). Ein Beispiel ist Grönland, dessen lineares Abschmelzverhalten in ein abruptes Abrutschen übergehen werden könnte (Hansen et al., 2007). Hierfür verantwortlich sind vor allem zwei Prozesse: Erstens wirkt angesammeltes Schmelzwasser unterhalb der Eismassen als Gleitmittel. Zweitens wird die Oberfläche des Eises beim Abschmelzen dunkler und absorbiert dadurch mehr Energie des Sonnenlichts - was wiederum das Abschmelzen beschleunigt.

Weitere relevante mögliche Kippelemente, die einen raschen Anstieg des Meeresspiegels auslösen können, sind das westantarktische Eis, ein Kollaps des Nordatlantikstroms<sup>5</sup> sowie Methanvorkommen im Permafrost, die, so wird befürchtet, beim Auftauen des Permafrost eine noch stärkere Erwärmung induzieren können (Lovelock, 2005). Ein Report unter Mitarbeit des renommierten NASA-Klimaforschers James Hansen (2007) schließt, dass Grönland durch die Erwärmungswirkung der jetzigen CO<sub>2</sub>-Konzentration bereits vollkommen abschmelzen könnte. Die Frage ist jedoch in welchem Zeitraum. Paleoklimatische Vergleiche zeigen, dass in der Erdgeschichte Temperatursenkungen und -erhöhungen von nur wenigen Grad zu Meeresspiegeländerungen von über 80m geführt haben (siehe Abbildung 8). Man rufe sich in Erinnerung, dass dies im Bereich der projizierten möglichen Temperaturen im 21. Jahrhundert liegt, wenn wirksamer Klimaschutz unterbleibt. Zwar zeigen wissenschaftliche Erkenntnisse, dass Grönlands Eisverluste maximal 2m zu einem Meeresspiegelanstieg bis 2100 beitragen könnten (Pfeffer et al., 2008), trotzdem bedeuten heutige Emissionen einen vielfachen Meeresspiegelanstieg für die kommenden Jahrhunderte (vgl. Abbildung 8), der wahrscheinlich weite Teile der

---

<sup>5</sup> Der uns Wärme bringende Nordatlantikstrom (Ausläufer des Golfstroms) wird durch Absenkungsvorgänge von salzhaltigen Wasser im Nordatlantik angetrieben. Forscher befürchten, dass wie in der Vergangenheit schon passiert (sog. Heinrich-Ereignis), der rasche Zufluss von Süßwasser (etwa durch ein Abschmelzen der Grönlandgletscher) diesen Motor stoppen würde (vgl. Lenton et al., 2007). Weniger bekannt ist, dass durch den Wegfall/Reduktion des Stromes, es zu einem Meeresspiegelanstieg in Europa von 50-100cm in Europa führen würde. Hierbei würde der Meeresspiegelanstieg auch nicht langsam voranschreiten, sondern sich sehr schnell ändern (Levermann et al., 2005). Neueste Erkenntnissen nach, konnte zwar bisher kein Abschwächungsvorgang des Nordatlantikstromes erkannt werden, jedoch starke jährliche Schwankungen (vgl. Schiermeier, 2007).

Landschaften und Kulturgüter Norddeutschlands zerstören würde. Aus diesem Grund schlägt der WBGU<sup>6</sup> (2006) sogenannte Leitplanken vor, die den Klimaschutz daran messen, einen Meeresspiegelanstieg auf 1m zu begrenzen, wobei die Anstiegsgeschwindigkeit nicht über 5cm pro Dekade liegen sollte.

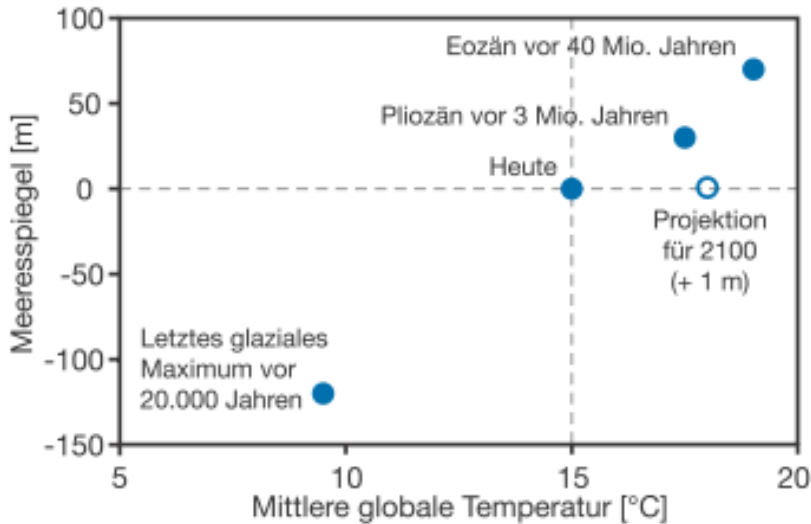


Abbildung 8: Mittlere Globaltemperatur und jeweilige Meeresspiegelstände aus der Erdgeschichte (aus WBGU, 2006).

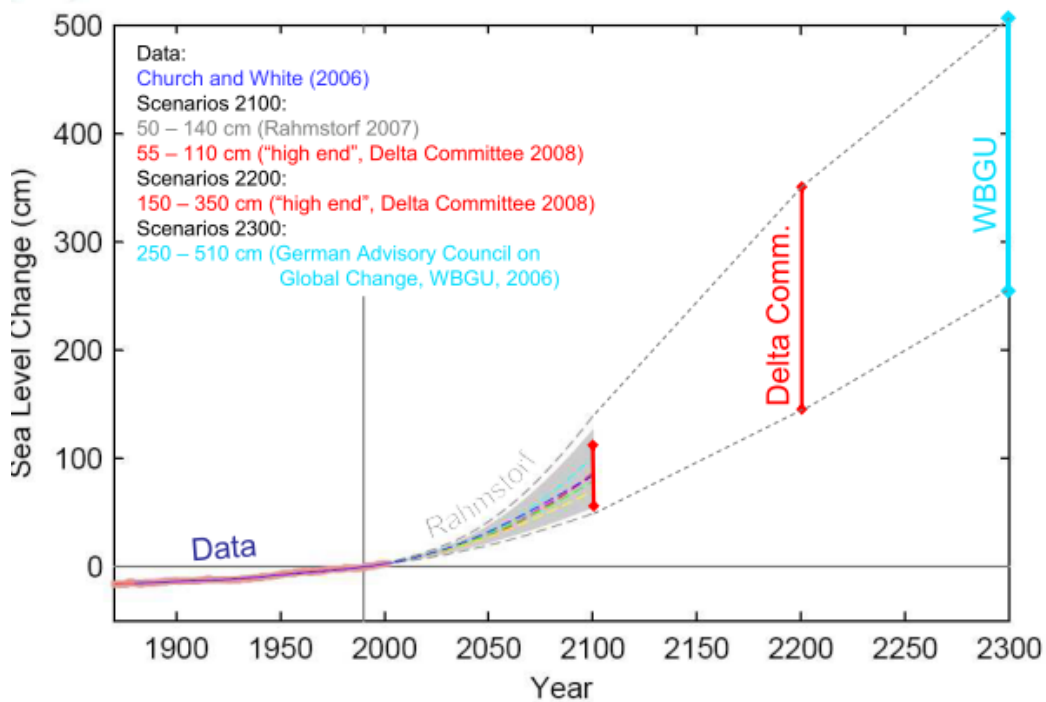


Abbildung 9: Meeresspiegelanstieg nach 2100 nach Rahmstorf (2007), Deltacomissie (2008) und WBGU (2006). Grafik: Rahmstorf (2009)

<sup>6</sup>Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen

### 3.2 Hitzewellen, Starkregen, Winterstürme, Sturmflut

Neben stetigen Wandelprozessen wirkt sich der Klimawandel auch auf die Frequenz, Intensität und das Verbreitungsmuster von Extremwetterereignissen aus. Abbildung 10 zeigt schematisch, wie sich prinzipiell eine Änderung des Klimas auf die Häufigkeitsverteilung von Wetterphänomenen auswirken kann. Es zeigt sich, dass bereits kleine Änderungen des Mittelwertes oder der Streuung zu einem überproportionalen Anstieg von Extremwerten führen.

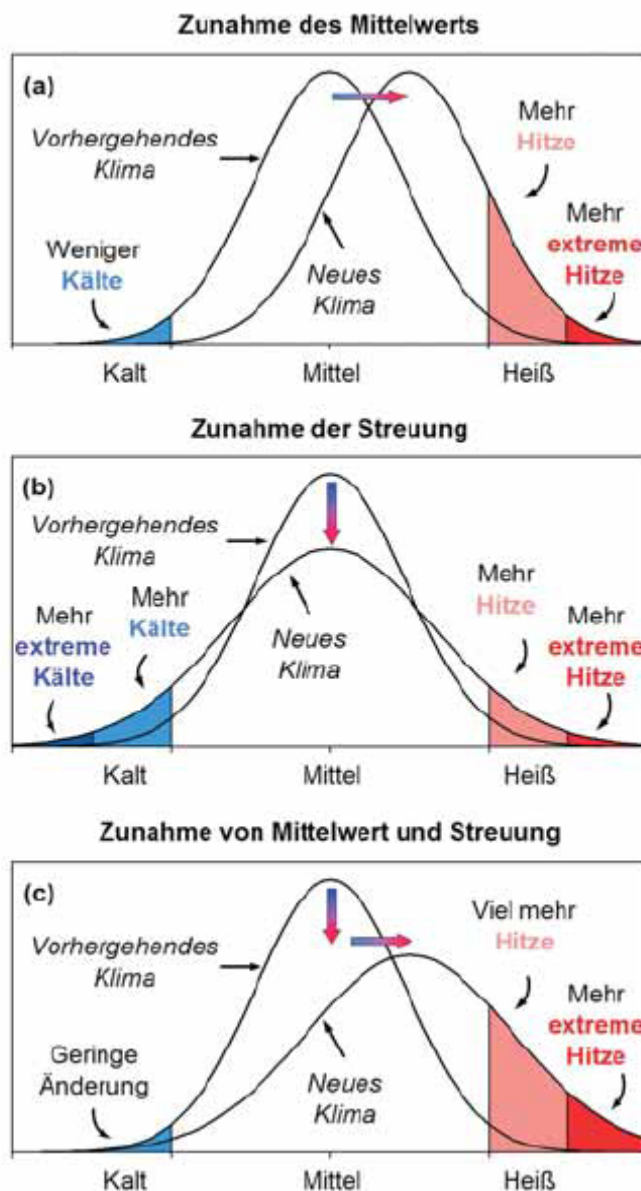


Abbildung 10: Möglichkeit der Änderung der Häufigkeitsverteilung durch den Klimawandel. Kleine Änderung des Mittelwertes und/oder der Streuung führen zu großen Änderungen bei den Extremen (UBA, 2005a)

Man kann jedoch nicht aus einem einzelnen Ereignis auf den Klimawandel schließen. Vielmehr kann man sich den Klimawandeleinfluss als ein Zinken des Wetterwürfels vorstellen, dessen Wahrscheinlichkeit ein Extremereignis zu erspielen erhöht ist (Allen & Lord, 2004).

Der IPCC (2007) zeigt auf, dass bereits im 20. Jahrhundert die Verteilung mehrerer Wetterextreme zu einem Teil vom Klimawandel beeinflusst war und dass sich dieser Trend im 21. Jahrhundert mit hoher Wahrscheinlichkeit fortsetzen wird.

Im folgenden wird auf eine Auswahl möglicher Extremereignisse, die besonders relevant für Norddeutschland sind, eingegangen.

### **Hitzewellen**

Bei Hitzewellen, wie etwa 2003 in Mitteleuropa, die nach neusten Erkenntnissen etwa 70.000 Todesopfer gefordert hat (Robine et al. 2008), sind sich Forscher sehr sicher, dass der Klimawandel bereits erheblich zu ihrer Häufung beigetragen hat (vgl. Schar et al., 2004 oder Stott et al., 2004). Ebenso haben Untersuchungen gezeigt, dass Hitzesommer, wie der im Jahr 2003, durchaus den Normsommer zu Ende des 21. Jahrhunderts darstellen können (Beniston & Diaz, 2004). Zwar ist aufgrund des maritimen Einflusses die unmittelbare Sensitivität des Küstenraumes gegenüber Hitzewellen im Vergleich zu Inlandsbereichen reduziert (vgl. UBA, 2005b). Jedoch wirken sich zum Beispiel reduzierte Flusspegel auch auf die Mündungsbereiche der Flüsse aus. Ebenfalls erhöhte Wassertemperaturen der Ästuare führen immer wieder zu Leistungsdrosselungen der kühlwasserentnehmenden (Kern)Kraftwerke. So musste im Hitzesommer 2003 etwa das Atomkraftwerk Unterweser seine Leistung um 70% reduzieren (Handelsblatt, 11.08.2003). Für Deutschland projiziert das REMO-Modell eine Verdoppelung der Sommertage<sup>7</sup> sowie eine Verdreifachung heißer Tage<sup>8</sup> (UBA, 2008).

### **Starkregenereignisse**

Global werden Starkregenereignisse absolut bzw. relativ im Verhältnis zum Gesamtniederschlag mit einer hohen Wahrscheinlichkeit zunehmen (IPCC, 2007). In Norddeutschland ist solch ein Trend schon im vergangenen Jahrhundert nachzuweisen. So konnten in den Niederschlagszeitreihen von Heide, Jever, und Wyk/Föhr anteilige Zunahmen von 50-60%, 30-40% bzw. bis zu 10% beobachtet werden. Einzig für Sylt ist der Anteil von Starkregen am Gesamtniederschlag um bis zu 10% zurückgegangen (Grieser & Beck, 2002).

Das Klimamodell REMO zeigt für Deutschland zwar keine höhere Anzahl solcher Ereignisse, sehr wohl aber kann mit einer weiter erhöhten Intensität gerechnet werden (UBA, 2008).

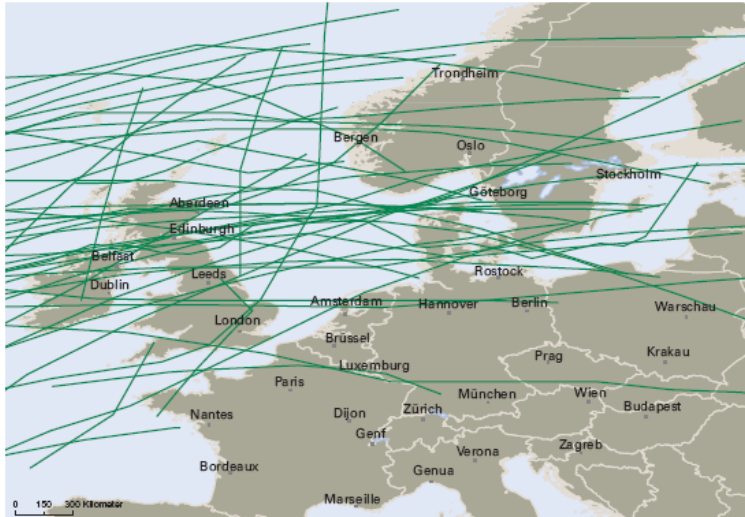
---

<sup>7</sup>Ein Sommertag liegt dann vor, wenn die Temperatur mind. einmal am Tag 25 °C übersteigt

<sup>8</sup>Beim heißen Tag steigt die Temperatur mind. einmal am Tag über 30 °C

## Winterstürme

In Deutschland erzeugen Winterstürme die größten volkswirtschaftlichen Kosten aller Naturextreme. Die meisten Winterstürme in Europa ziehen über die Nordsee und verursachen Schäden im nördlichen Mitteleuropa (vgl. Abb. 11). Der norddeutsche Küstenraum weist daher die größte Wintersturmexposition in Deutschland auf.



Während die meisten Stürme über die Nordsee ziehen und in den nördlichen Teilen Mitteleuropas Schäden verursachen, ziehen sie gelegentlich weiter südwärts, sodass sie auch Schäden im südlichen und südöstlichen Mitteleuropa anrichten können. Beispiele: Lothar und Martin 1999 sowie Wiebke 1990.

Abbildung 11: Zugbahnen historischer Winterstürme über Europa seit 1967 (Quelle: Münchener Rückversicherung, 2007)

Der Einfluss des Klimawandels auf die Anzahl, Intensität und Zugbahnen von Winterstürmen ist Gegenstand aktueller Forschung. Erkenntnisse aus globalen Klimamodellen, basierend auf verschiedenen Emissionsszenarien, deuten an, dass der Klimawandel die Laufbahnen außertropischer Stürme generell weiter polwärts verlagert (Bengtsson et al., 2006). Zwar, so zeigen Klimamodelle, wird die Anzahl leichter und mittlerer Sturmereignisse zurückgehen, die Zahl starker Wintersturmereignisse jedoch zunehmen (Lambert & Fyfe, 2006). Einen besonders deutlichen Anstieg solcher starken Sturmereignisse bilden die analysierten Klimamodelle im Ostatlantik und über den britischen Inseln ab (Ulbrich et al., 2009).

Ausgehend von der Erkenntnis, dass schwere Winterstürme langfristig den dreifachen Schaden mittlerer und leichter Sturmereignisse auslösen (Rauch, 2005), ergibt der mögliche Anstieg von starken Winterstürmen durch den Klimawandel (bei gleichzeitiger Abnahme der mittleren und leichten) ein erhöhtes Sturmschadenrisiko für den norddeutschen Küstenraum durch den Klimawandel.

## Sturmfluten

Der norddeutsche Küstenraum ist immer wieder von Sturmfluten betroffen. Ein Beispiel ist die „Große Manndränke“ vom 16. Januar 1332, die Überlieferungen zufolge mehr als 100.000 Todesopfer gefordert haben soll und die die Küste Nordfrieslands großräumig veränderte (Rauch, 2005).

Sturmfluten verbinden zwei Elemente von Klimaauswirkungen, die wir hier schon beschrieben haben: Sturmereignisse und Meeresspiegelanstieg. Abbildung 12 zeigt die si-



mulierte Höhe einer Sturmflut mit einer Wiederkehrperiode von 50 Jahren. Man kann erkennen, dass die Sturmflut in der Deutschen Bucht besonders hoch aufläuft.

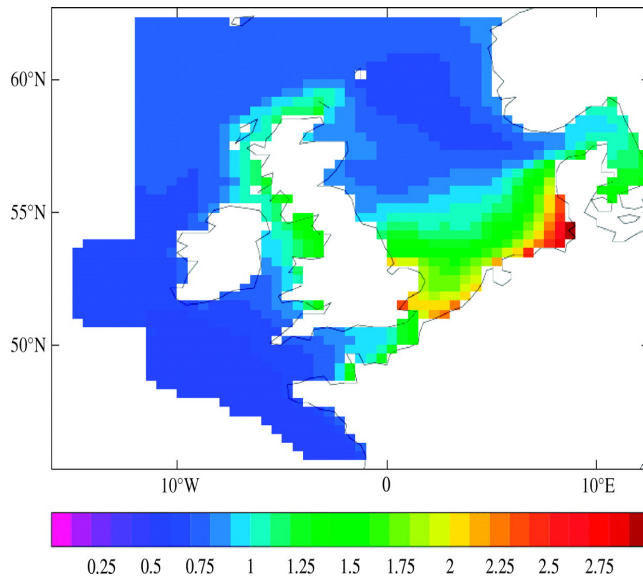


Abbildung 12: Sturmfluthöhe eines 1 in 50 Jahren Ereignisses in Metern (Quelle: Lowe & Gregory, 2005)

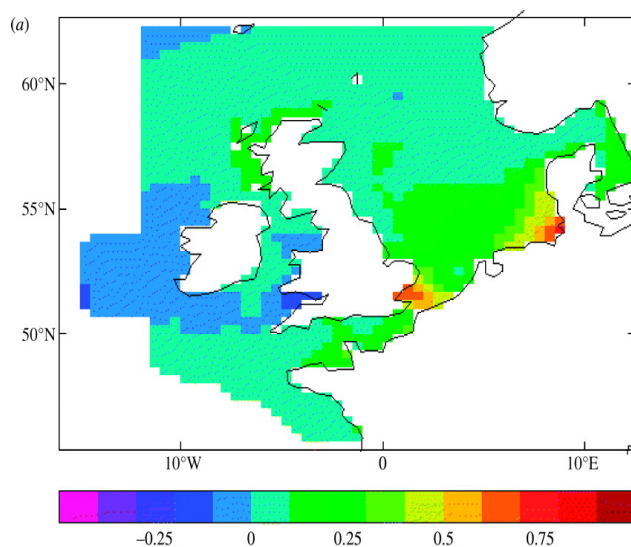


Abbildung 13: Mögliche Erhöhung der Sturmflut im A2-Klimaszenario (in den 2080er Jahren) allein durch erhöhte Sturmaktivität (in Metern). Dies bezieht nicht eine Änderung des Meeresspiegelanstiegs mit ein (Quelle: Lowe & Gregory, ibid.).

Wie zuvor erläutert, ermitteln verschiedene Klimamodelle einen Anstieg der heftigen Stürme über dem Nordostatlantik. Abbildung 13 zeigt, wie sich eine geänderte Sturmaktivität auf die Höhe der Sturmflut auswirkt. Für die Deutsche Bucht ermitteln Lowe & Gregory (2005) Werte im Bereich von 60cm. Ähnliche Untersuchungen in Deutschland schließen auf einen Wert von 30cm (Von Storch et al., 2005). Zu diesen Werten muss noch der zu erwartende Meeresspiegelanstieg hinzuaddiert werden. Plausiblen Annahmen zufolge (Meeresspiegelanstieg nach Rahmstorf, 2007, Emissionsszenario A2) bedeutet dies erhöhte Sturmflutenszenarien zum Ende des jetzigen Jahrhunderts von bis zu 2m im Vergleich zum heutigen Niveau.

## 4 Indirekte Klimafolgen: Die lokale Umwelt ändert sich

### 4.1 Biosphäre: Längere Vegetationszeit, "Neue Arten" zu Land und zu Wasser

Die Biosphäre ändert sich zunehmend. Mildere Winter und Frühlinge sowie längere Sommer führen zu einer Verlängerung der Vegetationsperiode. So beginnt der Frühling in Deutschland etwa 8 Tage eher als noch vor 50 Jahren (Menzel, 2003). Dies geht einher mit Arealverschiebungen von Tier- und Pflanzenarten. Zugvögel überwintern zunehmend in unseren Breiten. Ein Beispiel ist der Knutt, der immer häufiger im norddeutschen Watt überwintert anstatt weiter zur afrikanischen Westküste zu ziehen (Maclean et al., 2008). Allerdings wäre es zu einfach, von einer einfachen Süd-Nord-Verschiebung der Arten und einer höheren heimischen Überwinterungsrate auszugehen. Ökologen warnen vor einem so genannten „Mismatch“: Both et al. (2006) zeigen beispielsweise, dass einige Vogelarten zu gleicher Zeit im Jahr aus den Überwinterungsgebieten zurückkehren, ihre Beute sich jedoch früher entwickelt und die Vögel sprichwörtlich zu spät kommen. Als Folge gehen z.B. die Populationen des Trauerschnäppers in einigen Regionen um 90% zurück. Ein weiterer negativer Einfluss ist die Änderung von Lebensräumen durch den Klimawandel, etwa wenn zunehmend Feuchtgebiete im Sommer austrocknen oder Watt- und Salzwiesenflächen durch den Meeresspiegelanstieg verloren gehen. Auch die Sturmflutgefahr, besonders so genannter „Heufluten“<sup>9</sup>, gefährdet Brutpopulationen im Vorland (Baerlein & Hüppopp, 2004).

Mit zunehmenden Lufttemperaturen steigen auch die Wassertemperaturen der Nordsee. So weist die Langzeitmessung „Helgoländer Reede“ einen Temperaturanstieg von 1,5° C seit 1963 aus. Im Schnitt sind die europäischen Gewässer um 0,8° C wärmer geworden (UBA, 2009). Als Folge wandern zunehmend wärmeliebende Arten in die Nordsee ein, etwa die Streifenbarbe, Sardellen oder der Wolfsbarsch. Der heimische Kabeljau scheint zu den Verlierern zu gehören, benötigt er doch kaltes Wasser zum Laichen und kleine Ruderkrebse als Nahrung für seine Brut, beides hat signifikant abgenommen durch wärmere Winter (UBA, *ibid.*)

Eine weitere Auswirkung von Erwärmung ist möglicherweise das Auftreten von Algenblüten. Peperzak (2003) hat gezeigt, dass einige giftbildende Arten sich unter einem Klimawandelszenario in der Nordsee wesentlich stärker vermehren könnten, jedoch hängt dieses auch von vielen anderen Faktoren ab (etwa die Verschmutzung der Nordsee mit Abwässern).

Ebenso ist ein Massenauftreten von Quallen zu befürchten. Schon heute haben Massenvermehrungen von Quallen erhebliche wirtschaftliche Auswirkungen. Die Rippenqualle etwa wird immer häufiger in der Nordsee nachgewiesen - sie ernährt sich von Fischbrut und führt möglicherweise zu Verlusten in der Fischerei. Andere Folgen sind Strände, die von Feuerquallen heimgesucht werden, was zu Ausfällen für den Tourismus führt (UBA, *ibid.*)

Zusammenfassend kann man sagen, dass viele Beispiele zeigen, dass die Biosphäre sich durch den Klimawandel ändert. Jedoch macht die Komplexität der Ökosysteme und die Vielzahl möglicher anthropogener Einflüsse eine Prognose zur zukünftigen Entwicklung sehr schwierig.

## **4.2 Geosphäre: Veränderte Flusstände, Küstenerosion und Landverluste**

Eine Änderung der Geosphäre des Küstenraums unter dem Einfluss der Klimawandelauswirkungen ist wahrscheinlich. Ein Beispiel sind verringerte Flusstände. Zur Erläuterung: Im Raum Berlin fallen ca. 600 mm Niederschlag, wovon 500 mm durch die Vegetation verbraucht werden. Der Rest wird Richtung Nordsee entwässert. Verringert sich der Niederschlag um 50 mm (also um nur ca. 8%), so bedeutet dies einen Verlust von 50% der abfließenden Menge. Dies bedeutet auch weniger binnenseitigen Wasserdruck und ist schon heute ein Problem, das zur Verschlickung z.B. in den Hamburger Häfen beiträgt (Tideelbeprojekt, 2009).

Der Meeresspiegelanstieg hat ebenfalls enorme Auswirkungen auf die Küste. So entspricht ein Meeresspiegelanstieg von 1cm etwa einem Strandverlust von 50cm bis 2m (Bruun, 1962). Allerdings warnen Nicholls et al. (2007), dass die Wirkzusammenhänge im Sedimenttransport oftmals noch größere Abtragungsmengen erwarten lassen. Daschkeit & Sterr (2003) gehen davon aus, dass ein Meeresspiegelanstieg von 50-100cm mit einem 40-50%igen Verlust der Außendeichfläche einhergeht. Auch die Wattflächen sind vom Meeresspiegelanstieg betroffen. So können diese einen gewissen Meeresspiegelanstieg durch verstärktes Höhenwachstum kompensieren (das Wasser steht in Folge des Meeresspiegelanstiegs länger im Wattenmeer, dadurch können sich mehr Sedimente setzen). Jenseits eines Punktes jedoch kollabiert das Watt und ändert seinen Zustand zu einer permanenten Küstenlagune, d.h. Wattflächen sind permanent überspült, was mit einer drastischen Änderung des Artenspektrums einhergeht. Dieses scheint bei einem Meeresspiegelanstieg von 50cm möglich zu sein (CPSL, 2005).

Der Meeresspiegelanstieg bedeutet ebenfalls, dass für die binnenseitige Entwässerung mehr Energie beim Pumpvorgang aufgewandt werden muss. Der Anpassungsdruck auf Entwässerungsanlagen steigt außerdem, da vermehrt Wasser aus Starkregenereignissen kurzfristig abgeführt werden muss. Außerdem führt der Meeresspiegelanstieg zu einem erweiterten Eindringen von Salzwasser in Grundwasser und Böden und verschiebt die Brackwassergrenze weiter flussaufwärts (Sterr, 2008). Einhergehende Folge ist außerdem, dass die Sedimentierung ebenfalls weiter flussaufwärts verschoben wird (Tideelbeprojekt, 2009).

Allgemein lässt sich schlussfolgern, dass Treibhausgasemissionen und ihre langfristigen (z.B. Meeresspiegelanstieg, sommerlicher Wassermangel im Binnenland) und kurzfristigen (z.B. Sturmfluten) Folgen auch in der näheren Zukunft erheblichen Druck auf Vorküsten, Inseln, Strände sowie Flussästuare ausüben wird. Schon heute unterliegen diese Bereiche einer hohen Nutzungskonkurrenz (etwa zwischen Naturschutz und Landwirt-

---

<sup>9</sup> Erhöhte Flut im Sommer.

schaft, Naturschutz und Tourismus, oder Naturschutz und Transportwesen), die in Zukunft voraussichtlich um ein Vielfaches verstärkt wird. Daher gilt es für alle beteiligten Sektoren (Küstenschutz, Tourismus, lokale Wirtschaft und Naturschutz) bisherige Nutzungskonzepte zu überdenken und neue integrative Strategien zu entwickeln. Die Verantwortung hier Lösungen zu schaffen, die den Küstenraum langfristig erhalten, wurde kürzlich deutlich, als die UNESCO das Wattenmeer zum Weltkulturerbe ausgerufen hat.

## **5 Auswirkungen des Klimawandels auf ausgewählte Sektoren**

Dieser Abschnitt soll dazu dienen, exemplarisch aufzuzeigen, wie der Klimawandel auf einzelne Sektoren wirken kann. Gleichzeitig soll abgeglichen werden, inwiefern bisherige Strategien und Handlungsmuster für die neuen und zukünftigen Einflüsse angemessen sind oder geändert werden müssen.

### **5.1 Küstenschutz: Neue Strategien gegen neue Gefahren?**

#### **Status Quo**

Küstenschutz ist ein Dauerbrenner. Alleine das Land Niedersachsen hat seit den 1950er Jahren 2,2 Mrd. € für die Erhöhung von Deichen, für neue Sperrwerke und für Küstenerhalt und Sandaufspülung ausgegeben.

Die zukünftigen Maßnahmen des Küstenschutzes in Niedersachsen und Bremen sind enthalten im „Generalplan Küstenschutz“, der im Jahr 2009 veröffentlicht wurde. Ähnliches gilt für Schleswig-Holstein, welches ebenfalls einen Generalplan Küste im Jahr 2001 entwickelt hat.

Ziel der Maßnahmen ist, das Schutzniveau der Küstenschutzanlagen zu erhöhen. Referenzwerte sind dabei die 1962er Sturmflut sowie die Sturmflut 1994, die höher auflief als vorher erwartet. Zusätzlich wird noch ein Sicherheitszuschlag vorgesehen. Dieser beinhaltet in Niedersachsen eine Höhe von 25cm für den historisch beobachteten Meeresspiegelanstieg, sowie seit 2007 einen weiteren Zuschlag von 25cm für zukünftige Erhöhungen des Meeresspiegels durch den Klimawandel (NLWKN, 2009). Schleswig-Holstein sieht einen Sicherheitszuschlag von 50cm (historisch und zukünftiger Meeresspiegelanstieg) seit 2001 vor (Ministerium für ländliche Räume, Landesplanung, Landwirtschaft und Tourismus des Landes Schleswig-Holstein, 2001).

Es wird geschätzt, dass die deutschen Deiche vor Ereignissen mit einer Wiederkehrperiode von ca. 350 Jahren schützen (BBR, 2007). Damit ist das Schutzniveau entlang der deutschen Küsten deutlich unter dem niederländischen, das zum Teil auf Sturmfluten mit Wiederkehrintervallen von 4.000 bis zu 10.000 Jahren ausgelegt ist (Kabat et al., 2009).

#### **Berücksichtigt der Küstenschutz ausreichend die Gefahren des Klimawandels?**

Ein Vergleich der Sicherheitszuschläge mit plausiblen Szenarien von Sturmfluterhöhungen von 2m bis zum Ende dieses Jahrhunderts (vgl. Abb. 12) zeigt, dass die derzeitigen

Sicherheitsaufschläge keinesfalls ausreichen, um die Küste ausreichend auf den kommenden Meeresspiegelanstieg vorzubereiten.

Es stellt sich außerdem die Frage, ob die derzeitige Art Küstenschutz zu betreiben, selbst wenn Sicherheitsaufschläge von 2m eingerechnet werden würden, überhaupt die nötigen Anpassungsprozesse leisten kann und es nicht zu erhöhten Nutzungskonflikten mit anderen Sektoren kommt oder ob vielmehr ein Umdenken in vielerlei Hinsicht stattfinden muss.

Eine Analyse der Generalpläne zum Küstenschutz zeigt, dass vor allem bauingenieurliche Lösungen bevorzugt werden und dass diese zumindest zwischen den Bundesländern nur mangelhaft koordiniert scheinen.

Lange & Garrelts (2008) haben gezeigt, dass Entscheidungsträger und Planer im Küsten- und Hochwasserschutz oft einen strukturkonservativen Diskurs zum Thema Klimawandel und Küstenschutz vertreten. Klimawandel würde zwar als Problem anerkannt, jedoch sei man zunächst beschäftigt, durch technische Maßnahmen das heutige Schutzniveau zu erhöhen. Szenarien zum Meeresspiegelanstieg würden stark variieren und letztendlich wüsste niemand genau, wie sich die Meeresspiegelerhöhung tatsächlich entwickeln werde. Küstenschutz sei letztendlich eine Daueraufgabe und in 20-30 Jahre könnte gegebenenfalls nachgesteuert werden.

### **"Out of the box thinking": Neue Konzepte für den Küstenschutz**

Schon ein einfaches Fortschreiben der bisherigen Trends lässt die mangelhafte Nachhaltigkeit des heutigen Küstenschutzes erkennen. So geht eine Erhöhung des Deiches mit einer vielfachen Verbreiterung einher. Für städtische Flächen bedeutet dies, dass der Schutz irgendwann nicht mehr zu bezahlen ist, da die Deiche in bewohnte Bereiche hinein verbreitert werden müssten.

Die Vorländer und Salzwiesen werden zukünftig von zwei Seiten bedroht. Zum einen erodieren sie durch den zunehmenden Meeresspiegelanstieg und können sich aufgrund der Deichlinie nicht weiter landeinwärts verlagern. Zum anderen findet die Deicherweiterung in den meisten Fällen zur Seeseite statt. Ein Verlust weiterer Salzwiesenfläche hat nicht nur desaströse Konsequenzen für Artenvielfalt und die Naturfunktionen des Wattenmeers, sondern stellt ebenfalls einen Verlust von Wellenpuffern für die Deiche selber dar. Weniger Adsorptionskörper, aber auch die generellen erhöhten Wasserstände, bedeutet, dass mehr Wellen direkt auf die Deiche treffen und diese als Folge kollabieren (WBGU, 2006). Daher müssten Deiche in Zukunft überproportional zum antizipierten Meeresspiegelanstieg verstärkt werden.

Es geht aber auch anders. Unsere Nachbarn in den Niederlanden können hier als Vorbild dienen. Aufbauend auf einer ehrlichen und weitreichenden Analyse der Delta-Kommission ist das niederländische Küstenschutz- und Hochwasserprogramm aufgesetzt worden. Das Konzept fußt auf zwei Eckpfeilern: Einmal ein Aufbauen und Unterstützen der natürlichen Dynamik der Fluss- und Sedimentsysteme (etwa durch die Aufspülung von Sandflächen statt Deicherhöhungen) sowie die Schaffung von Überflutungsflächen um Hochwasserspitzen zu kappen. Außerdem erfolgt der Ausbau schrittweise und stets so, dass eine spätere Erweiterung möglich ist (Kabat et al., 2009).

## 5.2 *Wirtschaftliche Auswirkungen des Klimawandels*

Klimawandel kostet Geld, viel Geld, wenn wir ihn nicht deutlich abbremsen. Dies ist eine simple Zusammenfassung der Ergebnisse des Stern Report aus dem Jahr 2006. Diese Kosten sind jedoch nicht gleich verteilt. Einige Regionen und Sektoren werden stärker betroffen als andere.

Das folgende Kapitel nimmt sich der Frage an, welche wirtschaftlichen Auswirkungen sich für den norddeutschen Küstenraum durch den Klimawandel und die folgenden Änderungen des Naturraums ergeben. Germanwatch führt mit Partnern aus Finanzindustrie und Hochschulen zur Zeit ein Forschungsprojekt zum Thema "Mainstreaming von Klimarisiken und -chancen im Finanzmarkt" durch. Dabei zeichnet sich ab, dass neben den physischen Auswirkungen (ergo Änderung von klimatischen Extremereignissen, langfristige Änderungen der Klimaparameter und daraus resultierende Änderungen der Bio- und Geospähre) die gesellschaftlichen Reaktionen auf den Klimawandel und die Änderungen der politischen Rahmenbedingung („Regulationsrisiken“) unmittelbar am stärksten Akteure der Wirtschaft beeinflussen (Bals et al., 2009). Daher sollen auch die Auswirkungen der gesellschaftlichen „Antwort“ auf den Klimawandel in die folgenden Überlegungen mit aufgenommen werden.

### **Tourismus: Alles nur (neuer) schöner Sonnenschein?**

Der Klimawandel wird sich auf verschiedene Weisen auf den Tourismussektor an der deutschen Nordseeküste auswirken. Amelung & Viner (2006) haben einen Wohlfühlindex (bestehend aus Temperatur, Niederschlag und Sonnendauer) für Touristen berechnet und dessen Entwicklung in der Zukunft fortgeschrieben (siehe Abbildung 14). Zurzeit sind demnach optimale Bedingungen für den Badeurlaub im Mittelmeerraum und weniger gute an der Nordseeküste zu finden. Unter starken Erwärmungsszenarien jedoch dreht sich dieses Verhältnis um. Mehr Touristen, die ihren Strandurlaub in St. Peter-Ording anstelle Mallorcas verbringen, sind daher zu erwarten.

Allerdings wurde schon zuvor zu möglichen negativen Folgen ausgelöst durch Klimawandelprozesse auf den Küstenraum geschrieben. Auch der Tourismussektor ist hiervon nicht ausgenommen. So wäre der Tourismusbereich direkt von einem Rückgang von Strandflächen betroffen. Auch wäre ein Rückgang der landschaftlichen Attraktivität (Rückgang von Wattflächen, Rückgang Naturschutzflächen etc.) nachteilig für den Tourismus. Des Weiteren können Algenblüten und Quallenvermehrungen abschreckend auf Badegäste wirken.

Einen weit größeren Effekt auf die Übernachtungszahlen an der norddeutschen Küste wird ein wahrscheinliches Klimaschutzbewusstsein, zunehmende Klimaschutzpolitik und die Preisentwicklung der Transportmittel haben. So konnte Tol (2007) zeigen, dass erhöhte Flugpreise sich nachteilig auf außereuropäische Destinationen auswirken, der heimische Tourismussektor würde davon profitieren.

Anpassung an den Klimawandel heißt für den Tourismussektor, dass er die langfristigen Wandelprozesse aktiv mitgestalten muss. Ein Beispiel ist, auf eine klimafreundlichere Gestaltung von Urlaub und Anreise hinzuwirken - nicht nur über Werbung und verbrau-

cherorientierte Information, sondern auch über das Anstoßen und Mitgestalten entsprechender (infra)struktureller Veränderungen.

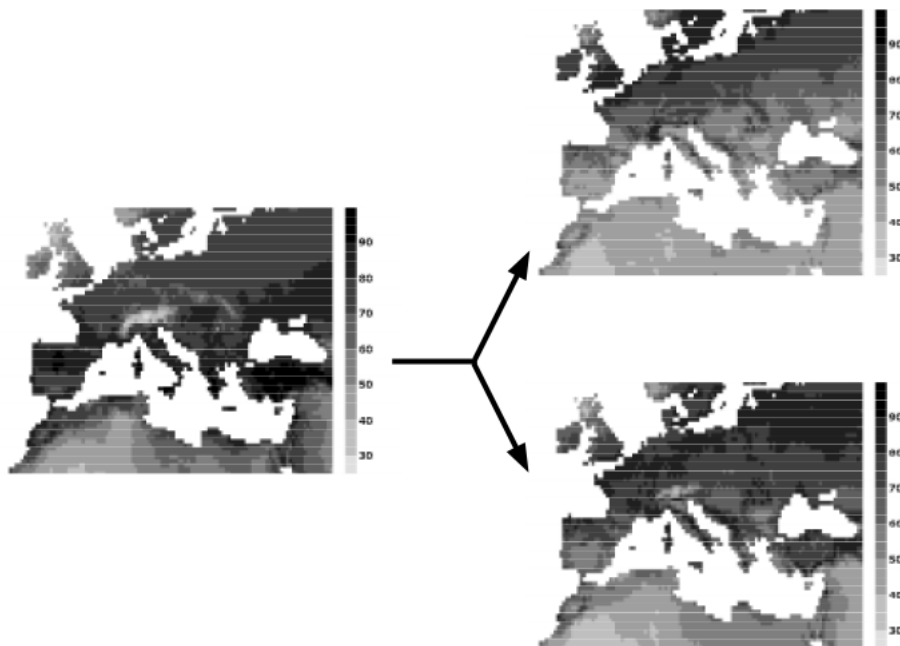


Abbildung 14: "Mean Tourism Climatic Index" für die Sommersaison in Europa (ein "Wohlfühlindex" bestehend aus Temperatur, Niederschlag und Sonnendauer) . Links 1970, rechts oben 2080 A1F-Szenario, unten 2080 B1-Szenario (aus Amelung & Viner, 2006)

### Landwirtschaft unter Anpassungsdruck

Bedingt durch die fruchtbaren Marschböden hat im norddeutschen Küstenraum die Landwirtschaft eine große Bedeutung.

Die Landwirtschaft wird durch die Änderungen der Klimaparameter wie Temperatur im Jahresverlauf und -durchschnitt, Niederschlagshöhe und -verteilung, Sonnenscheindauer und CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre beeinflusst. Positive Folgen sind etwa ein möglicher CO<sub>2</sub>-Düngeeffekt oder verlängerte Vegetationsperioden. Negative Auswirkungen sind z.B. die erhöhten frühjährlichen Grundwasserstände, die ein frühes Befahren der Acker- und Grünlandflächen erschweren (Schirmer&Wittig, 2007). In der Summe werden sich die meisten dieser Klimaänderungen eher negativ auf die Produktionsbedingungen der Landwirtschaft auswirken (Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz, 2009).

Besonders negativ wirken sich meteorologische Extremereignisse auf die Landwirtschaft aus. Neben den hier beschriebenen Hitzewellen und Starkregenereignissen sind vor allem Hagelereignisse und Spätfröste eine große Belastung für die Landwirtschaft (Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz, *ibid.*).

Insgesamt ist durch den Klimawandel die Ertragssicherheit der norddeutschen Landwirtschaft betroffen. Diese Unsicherheit wird noch verstärkt, da der Klimawandel weltweit wirkt und daher vermehrt Preissprünge an den internationalen Agrarmärkten zu erwarten

sind. Neben einer optimalen Ausnutzung der neuen klimatischen Bedingungen (frühere Aussaattermine, neue Pflanzsorten und -arten, sowie ein verbessertes Wassermanagement) muss daher eine erfolgreiche Anpassungsstrategie der norddeutschen Landwirtschaft vor allem auf einer Diversifizierung der Produktion (diversifizierte Fruchtfolgen, erweiterter Zwischenfruchtanbau, insgesamt eine strukturreiche landwirtschaftliche Produktion) und des betrieblichen Einkommens (neue Betriebsformen, Energiegewinnung aus Wind, Sonne und Biomasse) aufbauen.

Auch sollte eine Anpassungsstrategie der Landwirtschaft Klimaschutz mit einbeziehen. So ist nicht davon auszugehen, dass auch in der Zukunft der Ausstoß von landwirtschaftlichen Treibhausgasen (Lachgasemissionen aus Düngemittelanwendungen, Methan aus Tierhaltung, organischen Düngern sowie Biogasanlagen und CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Entwässerung moorigen Grünland- und Ackerstandorte) unreguliert bleiben. Diese Entwicklung muss jedoch nicht zwangsläufig schlecht für die norddeutschen Landwirte sein: So kann man davon ausgehen, dass Klimaschutzmaßnahmen sowie die Teuerung fossiler Brennstoffe zu einer Regionalisierung der Landwirtschaft und ihres Absatzes führt.

### **Auswirkungen auf Hafenwirtschaft und angesiedelte Industrien**

Schiffe und Häfen sind ein identitätsstiftender Bestandteil des norddeutschen Wesens. Sie sind auch immer noch das ökonomische Rückgrat der Region. So haben die Unterweser und die Unterelbe und ihre Rollen als Transportweg eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung der wirtschaftlichen Zentren Bremen und Hamburg gespielt. Die Frage ist, wie sich der Klimawandel auf diesen Sektor auswirkt.

Auf der Binnenwasserseite geht das UBA (2005b) davon aus, dass der Klimawandel zwar Beeinträchtigungen der Flussschifffahrt durch Eisgang vermindert, dieses wird jedoch voraussichtlich durch vermehrte Störungen wegen Hoch- und Niedrigwasserständen der Flüsse überkompensiert werden. Auch die Hochseeschifffahrt ist vom Klimawandel betroffen. Eine mögliche Auswirkung des dramatischen Schmelzens des arktischen Meereseises ist die wirtschaftliche Nutzung der Nordwest- und der Nordostpassage, die im Sommer 2007 erstmals gleichzeitig eisfrei waren. So will die Beluga-Reederei aus Bremen erstmalig den 7000km kürzeren Weg durch die Nordostpassage statt durch den Suezkanal nach Japan wählen (Weserkurier, 18 Februar 2009).

Doch die negativen Auswirkungen für die Schifffahrt, für Häfen und für angesiedelte Industrien durch den Klimawandel sind erheblich. So sind die Werte in Häfen extrem hoch (z.B. in der Autoverladung in Bremerhaven) und gleichzeitig auch die Risikoexposition durch z.B. Sturm, Sturmflut und Hagel erhöht.

Die Wirtschaftsstruktur der Region ist, neben der in der Fläche dominierenden Landwirtschaft, durch das verarbeitende Gewerbe gekennzeichnet. Dieses hat sich vornehmlich in verkehrsgünstigen Lagen zum Teil in unmittelbarer Nähe zu Häfen an Weser und Elbe angesiedelt. Da Hochwasserschutz öffentlich bereitgestellt ist, die Belieferung mit Gütern durch die Flüsse einfach ist und die Flüsse oftmals als Kühlwasserquelle genutzt werden, können diese Standorte aktuell als Wettbewerbsvorteil gelten. Sollten die Unternehmen jedoch am Hochwasserschutz beteiligt werden, die Belieferung wegen Hochwasser stocken oder sommerliche Extremtemperaturen eine Kühlwasserentnahme und Rückgabe



unmöglich machen, so ist dieser Wettbewerbsvorteil gefährdet, was mit dem möglichen Verlust tausender Arbeitsplätze einhergehen könnte (König & Wittig, 2005).

### **Neue Perspektiven: Energy Coast**

Klimaschutz ist nicht nur eine unmittelbare Notwendigkeit, um mittelbare Schäden von der norddeutschen Küste abzuwenden, Klimaschutz kann auch ein Wohlstandsmotor für die Region sein.

So geht man davon aus, dass bis 2030 zwei Drittel des deutschen Kraftwerkparcs erneuert werden müssen (Scheele, 2009). Klimapolitische Rahmenbedingungen, z.B. eine mögliche Verpflichtung der Industriestaaten, ihre Treibhausgasemissionen um 80% bis 2050 zu reduzieren, verhindern dabei, dass konventionelle Kohlekraftwerke eingesetzt werden können.

Deswegen werden die erneuerbaren Energien in der Zukunft eine immer größere Rolle spielen. Schon heute ist Niedersachsen mit einer installierten Windenergieleistung von 5800MW führend in Deutschland (Scheele, *ibid.*). Auch in der Zukunft wird ein hohes Maß an Wachstum von einem weiteren Aus- und Umbau von Windenergieanlagen vor allem Offshore ausgehen. So ist bei neuesten innovativen Konzepten der zukünftigen Energieversorgung, etwa das SuperSmartGrid<sup>10</sup>, norddeutscher Windstrom ein wichtiger Bestandteil der Stromproduktion Europas.

Ein Ausbau der (Offshore)Windkraft braucht KnowHow, was die Technik betrifft, aber auch die Minimierung möglicher negativer Effekte auf die Umwelt. Norddeutsche Standorte, z.B. Emden, haben hier schon erste Erfahrungen gesammelt. Es ist daher sehr wahrscheinlich, dass bei entsprechender politischer Rahmensetzung nicht nur die Produktion von Erneuerbaren-Strom sondern auch die Entwicklung, Erprobung und Produktion der Schlüsseltechnologien selber an der norddeutschen Küste erfolgt.

## **5.3 Normalbürger: Von Zecken und Malaria**

Auch auf den "Normalbürger" in Norddeutschland werden sich Auswirkungen durch den Klimawandel ergeben. Ein Beispiel hierfür können mögliche Auswirkungen auf die Gesundheit sein. So geht das Umweltbundesamt (2009b) von schädlichen Einwirkungen aus. Speziell ältere Menschen werden u.a. durch Hitzewellen und ihre Auswirkungen betroffen sein. Heuschnupfengeplagte leiden durch früheren und längeren Pollenflug sowie durch neue Allergene eingewanderter Pflanzenarten. Generell besteht die Gefahr vermehrter vektorbasierter Krankheitsfälle. Solche Vektoren sind z.B. Zecken. So ist von einer Zunahme der Borreliosefälle auszugehen. Entscheidende Faktoren scheinen hier milde Winter und verkürzte Ruhephasen der Zecken zu sein. Ein weiteres Beispiel ist die Auwaldzecke, die sich momentan stark in Deutschland ausbreitet und wohl bald auch an

---

<sup>10</sup> SuperSmartGrid ist ein Konzept, das die Vorteile eines Super Grid (die europaweite Vernetzung großräumiger Erneuerbare-Energien-Projekte) mit dem eines Smart Grid verbindet (dezentrale Energieerzeugung mit intelligenter Nachfragesteuerung)

der Küste zu finden sein wird. Sie ist die Überträgerin der für Hunde oft tödlichen Hundebabesiose (Dautel et al., 2006).

Eine Krankheit, die man gemeinhin mit Subsahara-Afrika verbindet, könnte auch in Friesland zum Problem werden: die Malaria. Die für die Übertragung notwendige Anopheles-Mücke wurde schon mehrmals im Gebiet nachgewiesen (siehe Abbildung 15). Auch Malariafälle gab es immer wieder. Bewohner gaben den Fieberausbrüchen die Namen Marschfieber oder Sumpffieber.

Seit dem zweiten Weltkrieg ist die Malaria auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland ausgerottet. Analysen basierend auf Klimawandelszenarien zeigen jedoch, dass der Klimawandel bessere Bedingungen für die Anopheles-Mücke und auch für eine Übertragung der Malaria bedeutet (Schröder et al., 2007). Daher ist ein Wiederauftreten der Malaria durch den Klimawandel kein unwahrscheinliches Szenario.

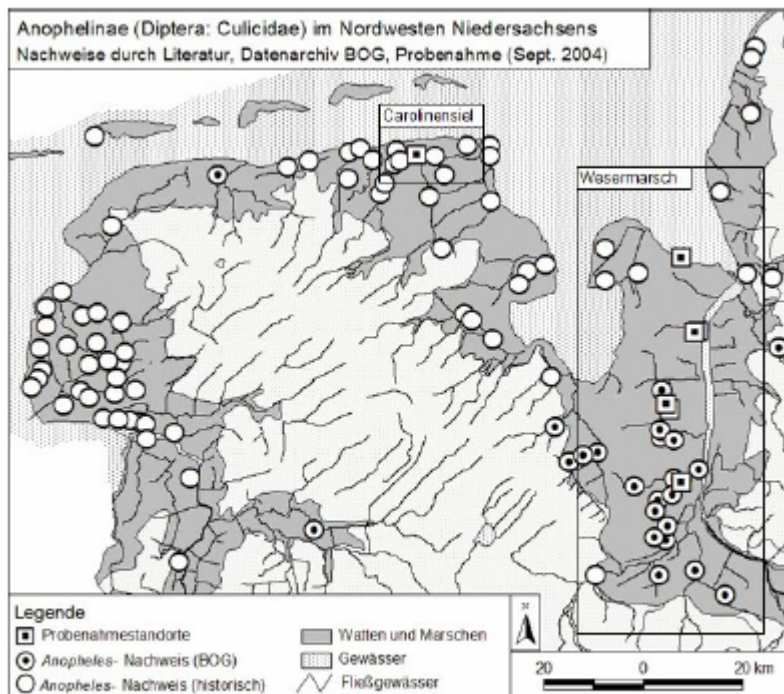


Abb. 1: Darstellung der Nachweise von *Anopheles*-Arten in Nordwest Niedersachsen (Stand: September 2004). Datenbasis der historischen *Anopheles*-Nachweise: KÖHLHORN 1954, MARTINI 1920, MITCHELNS 1908, SCHUBERG 1927, WEYER 1933, 1938, 1951, 1956

Abbildung 15: Historische Vorkommen der Anophelesmücke in Ostfriesland (aus Wilke et al., 2006)

## 6 Fazit und Ausblick

Nicht nur am Beispiel möglicher Krankheitsgefahren für uns Normalbürger wird deutlich, dass die Auswirkungen des Klimawandels auf die norddeutsche Küstenregion erheblich sind. Leider ist eine Abschätzung aller indirekten Folgen für Natur und Mensch nicht möglich. Trotzdem sollte die Konsequenz nicht sein, in eine Angststarre zu verfallen und alle Dinge auf die norddeutsche Küste zurollen zu lassen. Vielmehr ist es ein guter Grund zunächst dafür Sorge zu tragen, dass eine der größten Quellen der Unsicherheit – der Verlauf der zukünftigen Emissionen von Treibhausgasen – durch individuellen und gemeinsamen Klimaschutz verringert wird. Dies beinhaltet alle Sektoren, aber auch jeder einzelne Bürger ist gefragt. Diesem "Mainstreaming" von Klimaschutzmaßnahmen sollte auch eine breite Umsetzung der Anpassung folgen, um Gefahren durch den Klimawandel zu minimieren und Möglichkeiten zu nutzen. Abbildung 16 zeigt die Komponenten, welche einer gelungenen Anpassungsumsetzung vorangehen. Dieses Hintergrundpapier bietet durch die Zusammenfassung von wissenschaftlichen Erkenntnissen sowie einer Risikobewertung möglicher Auswirkungen des Klimawandels auf die norddeutsche Küste zwei Vorbedingungen um Anpassung erfolgreich zu gestalten.

Anschließend an dieses Hintergrundpapier wird im Rahmen des von der Barthel-Stiftung geförderten und von Germanwatch durchgeführten Projektes "Klimawandel und Meeresspiegelanstieg: Was tun?" als nächstes ein Baustein zum Schaffen von Bewusstsein erarbeitet, um dem Ziel eines umfassenden Mainstreamings des Themenkomplex Klimawandel in politische Strategien zu erreichen um der Umsetzung der Doppelstrategie Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel für die norddeutsche Küste näher zu kommen.

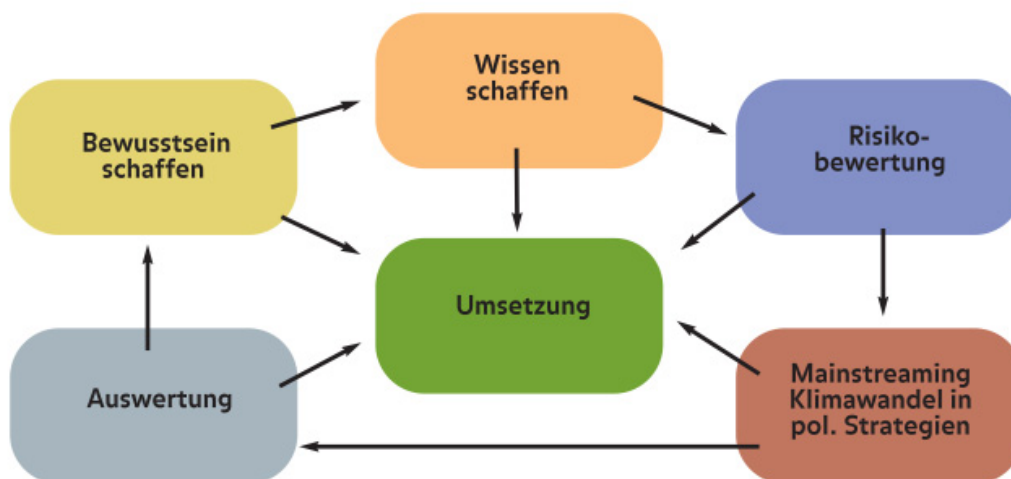


Abbildung 16: Ganzheitlicher Anpassungsprozess an den Klimawandel (aus Germanwatch, 2007)

## 7 Literatur

- Allen, M. R. und R. Lord (2004): The blame game. *Nature* 432, no. 7017 (Dezember 2): 551-552. doi:10.1038/432551a.
- Amelung, B., und D. Viner (2006): Mediterranean tourism: exploring the future with the tourism climatic index. *Journal of Sustainable Tourism* 14, no. 4: 349–366.
- Bairlein, F., und O. Hüppop (2004): Migratory fuelling and global climate change. *Advances in Ecological Research* 35: 33–47.
- Bals, C., D. Eskelson, M. Fucik, K. Gerber, A. Haas, C. C. Jaeger, C. Kemfert, J. Krause, J. Kremers, K. Kristof, K. Milke u.a. (2009): Mainstreaming von Klimarisiken und-chancen im Finanzsektor, *Zwischenergebnisse des Projekts bis Mai 2009*, <http://www.climate-mainstreaming.net/erg09.pdf>.
- BBR – Bundeamt für Bauwesen und Raumordnung (2007): Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel. Dokumentation der Fachtagung am 30. Oktober 2007 im Umweltforum Berlin. BBR-Online-Publikation, Nr. 11/2008
- Bengtsson, L., K. I. Hodges, und E. Roeckner (2006): Storm tracks and climate change. *Journal of Climate* 19, no. 15: 3518–3543.
- Beniston, M. und H. F. Diaz (2004): The 2003 heat wave as an example of summers in a greenhouse climate? Observations and climate model simulations for Basel, Switzerland. *Global and Planetary Change* 44, no. 1-4 (Dezember): 73-81. doi:10.1016/j.gloplacha.2004.06.006.
- Both, C., S. Bouwhuis, C. M. Lessells, und M. E. Visser (2006). Climate change and population declines in a long-distance migratory bird. *Nature* 441, no. 7089 (Mai 4): 81-83. doi:10.1038/nature04539.
- Bruun, P. (1962): Sea-level rise as a cause of shore erosion. *Journal of the Waterways and Harbors Division*, no. 88, 117-130.
- Cazenave, A., K. Dominh, S. Guinehut, E. Berthier, W. Llovel, G. Ramillien, M. Ablain, und G. Larnicol (2009): Sea level budget over 2003-2008: A reevaluation from GRACE space gravimetry, satellite altimetry and Argo. *Global and Planetary Change* 65, no. 1-2 (Januar): 83-88. doi:10.1016/j.gloplacha.2008.10.004.
- Church, J. A, und N. J White (2006): A 20th century acceleration in global sea-level rise. *Geophysical Research Letters* 33, no. 1: L01602.
- CPSL – Arbeitsgruppe für Coastal Protection and Sea Level Rise (2005): *Coastal Protection and Sea Level Rise. Solutions for Sustainable Coastal Protection in the Wadden Sea Region. Wadden Sea Ecosystem No. 21*. Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven.
- Daschkeit, A. und H. Sterr. 2003. Klimawandel in Küstenzonen. *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung* 15, no. 3 (Mai 1): 199-207. doi:10.1065/uwfs2003.07.063.
- Dautel, H., C. Dippel, R. Oehme, K. Hartelt und E. Schettler (2006): Evidence for an increased geographical distribution of *Dermacentor reticulatus* in Germany and detection of *Rickettsia* sp. RpA4. *International Journal of Medical Microbiology* 296, no. Supplement 1 (Mai 22): 149-156. doi:10.1016/j.ijmm.2006.01.013.
- Deltacommissie (2008) Working together with water. A living land builds for its future. Findings of the Deltacommissie
- Domingues, C. M., J. A. Church, N. J. White, P. J. Gleckler, S. E. Wijffels, P. M. Barker und J. R. Dunn (2008): Improved estimates of upper-ocean warming and multi-decadal sea-level rise. *Nature* 453, no. 7198 (Juni 19): 1090-1093. doi:10.1038/nature07080.
- Endlicher, W., und F.W. Gerstengarbe (2007): *Der Klimawandel*. Potsdam-Inst. für Klimafolgenforschung, Potsdam.
- Germanwatch (2007): *Auswirkungen des Klimawandel auf Deutschland–Mit Exkurs NRW*, Berlin.
- Global Carbon Budget (2009). *Carbon Budget*. <http://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/07/index.htm>.
- Grieser, J., und C. Beck. 2002. Extremniederschläge in Deutschland-Zufall oder Zeichen. *DWD Klimastatusbericht*. Frankfurt
- Handelsblatt (11.08.2003): *Hitze beeinträchtigt die Stromversorgung*.

- Hansen, J., M. Sato, R. Ruedy, P. Kharecha, A. Lacis, R. Miller, L. Nazarenko, u. a. (2007): Dangerous human-made interference with climate: a GISS model study. *Atmospheric Chemistry and Physics* 7, no. 9: 2287–2312.
- IPCC (2007): Synthesis Report. Summary for Policymakers. *Assessment of Working Groups I, II, and III to the Fourth Assessment Report of the IPCC*, Cambridge University Press, New York, NY (US); Version Deutsche Übersetzung unter <http://www8.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umwelthemen/klima/ipcc-studie/IPCC2007-FullDocument.pdf>.
- Kabat, P., L. O. Fresco, M. J. F. Stive, C. P. Veerman, J. S. L. J. van Alphen, B. W. A. H. Parmet, W. Hazeleger, und C. A. Katsman (2009): Dutch coasts in transition. *Nature Geosci* 2, no. 7 (Juli): 450-452. doi:10.1038/ngeo572.
- König G. und S. Wittig (2005): *Die Unterweser als Natur-, Lebens- und Wirtschaftsraum*. In: Schuchardt, B. und M. Schirmer (2005): *Klimawandel und Küste: die Zukunft der Unterweserregion*. Springer, Berlin
- Lambert, S. und J. Fyfe (2006): Changes in winter cyclone frequencies and strengths simulated in enhanced greenhouse warming experiments: results from the models participating in the IPCC diagnostic exercise. *Climate Dynamics* 26, no. 7 (Juni 12): 713-728. doi:10.1007/s00382-006-0110-3.
- Lange, H., und H. Garrelts (2008): *Integration und Informationsplattform*. Endbericht des Teilprojekts 5 im BMBF-Projekt „Integriertes Hochwasserrisikomanagement in einer individualisierten Gesellschaft“ (INNIG), FKZ 0330693E: 119.
- Lenton, T. M., H. Held, E. Kriegler, J. W. Hall, W. Lucht, S. Rahmstorf, und H. J. Schellnhuber (2008): Tipping elements in the Earth's climate system. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105, no. 6: 1786.
- Levermann, A., A. Griesel, M. Hofmann, M. Montoya und S. Rahmstorf (2005): Dynamic sea level changes following changes in the thermohaline circulation. *Climate Dynamics* 24, no. 4 (März 1): 347-354. doi:10.1007/s00382-004-0505-y.
- Lovelock, James, und Crispin (FRW) Tickell. 2007. *The Revenge of Gaia*. Westview Press, Boulder.
- Lowe, J. A., und J. M. Gregory (2005): The effects of climate change on storm surges around the United Kingdom. *Philosophical Transactions A* 363, no. 1831: 1313.
- Maclean, I. M. D., G. Austin, M. M. Rehfish, J. Blew, O. Crowe, S. Delany, K. Devos, u. a. (2008): Climate change causes rapid changes in the distribution and site abundance of birds in winter. *Global Change Biology* 14, no. 11: 2489-2500. doi:10.1111/j.1365-2486.2008.01666.x.
- Meehl, G. A., T. F. Stocker, W. D. Collins, A. T. Friedlingstein, A. T. Gaye, J. M. Gregory, A. Kitoh, u. a. (2007): Global climate projections. *Working Groups I, the Fourth Assessment Report of the IPCC*, Cambridge University Press, New York, NY (US)
- Menzel, A. (2003): Plant Phenological Anomalies in Germany and their Relation to Air Temperature and NAO. *Climatic Change* 57, no. 3 (April 1): 243-263. doi:10.1023/A:1022880418362.
- Ministerium für ländliche Räume, Landesplanung, Landwirtschaft und Tourismus des Landes Schleswig-Holstein (2001): *Generalplan Küstenschutz*. [http://www.schleswig-holstein.de/UmweltLandwirtschaft/DE/WasserMeer/09\\_KuestenschutzHaefen/PDF/Kuestenschutz\\_Generalplan,templateId=raw,property=publicationFile.pdf](http://www.schleswig-holstein.de/UmweltLandwirtschaft/DE/WasserMeer/09_KuestenschutzHaefen/PDF/Kuestenschutz_Generalplan,templateId=raw,property=publicationFile.pdf).
- Nakicenovic, N., J. Alcamo, G. Davis, B. de Vries, J. Fenhann, S. Gaffin, K. Gregory, u. a. (2000): *Special Report on Emissions Scenarios : a special report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, New York, NY (US).
- Nicholls, R. J., P. P. Wong, V. R. Burkett, J. O. Codignotto, J. E. Hay, R. F. McLean, S. Ragoonaden, und C. D. Woodroffe. (2007): Coastal systems and low-lying areas. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, ML Parry, OF Canziani, JP Palutikof, PJ van der Linden and CE Hanson, Eds. *Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*: 315–356.
- NLWKN – Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten und Naturschutz (2009): *Generalplan Küstenschutz - Niedersachsen und Bremen -*. [http://cdl.niedersachsen.de/blob/images/C36632099\\_L20.pdf](http://cdl.niedersachsen.de/blob/images/C36632099_L20.pdf).
- NOAA -National Oceanic and Atmospheric Administration (2009): *Trends in Atmospheric Carbon Dioxide - Mauna Loa*. [ftp://ftp.cmdl.noaa.gov/-ccg/co2/trends/co2\\_mm\\_mlo.txt](ftp://ftp.cmdl.noaa.gov/-ccg/co2/trends/co2_mm_mlo.txt).

- Norddeutsches Klimabüro (2009): Norddeutscher Klimaatlas. <http://www.norddeutscher-klimaatlas.de/>.
- Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz (2009): *Der Klimawandel als Herausforderung für Staat und Gesellschaft -Struktur für eine Anpassungsstrategie*. Hannover. <http://www.umwelt.niedersachsen.de/servlets/download?C=50378819&L=20>.
- Peperzak, L. (2003): Climate change and harmful algal blooms in the North Sea. *Acta Oecologica* 24, no. Supplement 1 (Mai): S139-S144. doi:10.1016/S1146-609X(03)00009-2.
- Pielke, R., T. Wigley und C. Green (2008): Dangerous assumptions. *Nature* 452, no. 7187 (April 3): 531-532. doi:10.1038/452531a.
- Pfeffer, W. T., J. T. Harper, und S. O'Neel (2008): Kinematic Constraints on Glacier Contributions to 21st-Century Sea-Level Rise. *Science* 321, no. 5894 (September 5): 1340-1343. doi:10.1126/science.1159099.
- Ramanathan, V., und Y. Feng (2008): On avoiding dangerous anthropogenic interference with the climate system: Formidable challenges ahead. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105, no. 38: 14245-14250. doi:10.1073/pnas.0803838105.
- Rahmstorf, S. (2007): A Semi-Empirical Approach to Projecting Future Sea-Level Rise. *Science* 315, no. 5810 (Januar 19): 368-370. doi:10.1126/science.1135456.
- Rahmstorf, S., A. Cazenave, J. A. Church, J. E. Hansen, R. F. Keeling, D. E. Parker, und R. C. J. Somerville (2007): Recent Climate Observations Compared to Projections. *Science* 316, no. 5825 (Mai 4): 709. doi:10.1126/science.1136843.
- Rahmstorf, S. (2009): Summary Slide Sea Level Rise, <http://www.pik-potsdam.de/~stefan/>.
- Rauch, E. (2005): Winds and storms. *Weather catastrophes and climate change, The state of science*, Munich Re, München.
- Raupach, M. R., G. Marland, P. Ciais, C. Le Quéré, J. G. Canadell, G. Klepper, und C. B. Field. (2007): Global and regional drivers of accelerating CO<sub>2</sub> emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104, no. 24 (Juni 12): 10288-10293. doi:10.1073/pnas.0700609104.
- Robine, J., S. K. Cheung, S. Le Roy, H. Van Oyen, C. Griffiths, J. Michel, und F. R. Herrmann. (2008): Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Comptes Rendus Biologies* 331, no. 2 (Februar): 171-178. doi:10.1016/j.crvi.2007.12.001.
- Schar, C., P. L. Vidale, D. Luthi, C. Frei, C. Haberli, M. A. Liniger, und C. Appenzeller (2004): The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature* 427, no. 6972 (Januar 22): 332-336. doi:10.1038/nature02300.
- Scheele, U.(2009): Der Nordwesten als "energy coast"? Die Bedeutung des Energiesektors für die regionale Entwicklung. *POSITIONEN*, no. 24.
- Schellnhuber, H. J. (2008): Global warming: Stop worrying, start panicking? *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105, no. 38: 14239-14240. doi:10.1073/pnas.0807331105.
- Schiermeier, Q. (2007): Ocean circulation noisy, not stalling. *Nature* 448, no. 7156: 844-845. doi:10.1038/448844b.
- Schirmer M. und S. Wittig(2007): Auswirkungen des Klimawandels auf Natur und Gesellschaft in der Unterweserregion. *SCB WERKSTATTBERICHTE*, no. 1
- Schröder, W., H. Bast, R. Pesch, G. Schmidt und E. Kiel (2007): Klima wandel und Malaria. *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung* 19, no. 2 (April 1): 115-122. doi:10.1065/uwsf2006.11.154.
- Stern, N., u.a. (2006):. *Stern review: the economics of climate change*. HM Treasury, London.
- Sterr, H. (2008): Assessment of vulnerability and adaptation to sea-level rise for the coastal zone of Germany. *Journal of Coastal Research* 24, no. 2: 380-393.
- von Storch, H., M. Montoya, F. Gonzales-Rouco, und K. Woth (2005): Changing coastal and marine conditions. *Weather catastrophes and climate change, The state of science*, Munich Re, München.
- Streif, H. (2004): Sedimentary record of Pleistocene and Holocene marine inundations along the North Sea coast of Lower Saxony, Germany. *Quaternary International* 112, no. 1: 3-28. doi:10.1016/S1040-6182(03)00062-4.
- Stott, P. A., D. A. Stone, und M. R. Allen (2004): Human contribution to the European heatwave of 2003. *Nature* 432, no. 7017 (Dezember 2): 610-614. doi:10.1038/nature03089.

- Tideelbeprojekt (2009) Was bedeuten die Auswirkungen des Klimawandels für die Tideelbe?  
<http://www.tideelbe.de/200-0-20Was-bedeuten-die-Auswirkungen-des-Klimawandels-fuer-die-Tideelbe.html>.
- Tol, R. (2007): The impact of a carbon tax on international tourism. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 12, no. 2 (März): 129-142. doi:10.1016/j.trd.2007.01.004.
- UBA – Umweltbundesamt (2005a): *Berechnung der Wahrscheinlichkeit für das Eintreten von Extremereignissen durch Klimaänderungen - Schwerpunkt Deutschland*.  
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2946.pdf>.
- UBA – Umweltbundesamt (2005b): *Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme*. Dessau. <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2947.pdf>.
- UBA – Umweltbundesamt (2008): *Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland - Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland*. <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3513.pdf>.
- UBA – Umweltbundesamt (2009a): *Klimawandel und marine Ökosysteme*.  
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/35.pdf>.
- UBA – Umweltbundesamt (2009b): *Gesundheitliche Anpassung an den Klimawandel*.  
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3753.pdf>.
- Ulbrich, U., G. Leckebusch, und J. Pinto (2009): Extra-tropical cyclones in the present and future climate: a review. *Theoretical and Applied Climatology* 96, no. 1 (April 1): 117-131. doi:10.1007/s00704-008-0083-8.
- Voigt, M. (1997): *Die Nutzung des Wassers*. Springer, Berlin.
- WBGU - Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung zu Globalen Umweltveränderungen (2006): *Die Zukunft der Meere – zu hoch, zu warm, zu sauer. Sondergutachten*, Berlin, WBGU.
- Weserkurier (18.02.2009): *Beluga geht auf Eisfahrt. Im zweiten Anlauf soll Nordostpassage bezwungen werden / Bilanz 2008: Umsatz wächst erneut um gut 50 Prozent*.
- Wilke, A., E. Kiel, W. Schröder, und H. Kampen (2006): Anophelinae (Diptera: Culicidae) in ausgewählten Marschgebieten Niedersachsens: Bestandserfassung, Habitatbindung und Interpolation. *Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Allgemeine und Angewandte Entomologie* 15: 357–362.

**... Sie fanden diese Publikation interessant und hilfreich?**

Wir stellen unsere Veröffentlichungen zum Selbstkostenpreis zur Verfügung, zum Teil auch unentgeltlich. Für unsere weitere Arbeit sind wir jedoch auf Spenden und Mitgliedsbeiträge angewiesen.

Spendenkonto: 32 123 00, Bank für Sozialwirtschaft AG, BLZ 10020500

Informationen zur Mitgliedschaft finden Sie auf der Rückseite dieses Hefts. Vielen Dank für Ihre Unterstützung!

## Germanwatch

"Hinsehen, Analysieren, Einmischen" – unter diesem Motto engagiert sich Germanwatch für Nord-Süd-Gerechtigkeit sowie den Erhalt der Lebensgrundlagen und konzentriert sich dabei auf die Politik und Wirtschaft des Nordens mit ihren weltweiten Auswirkungen. Die Lage der besonders benachteiligten Menschen im Süden bildet den Ausgangspunkt des Einsatzes von Germanwatch für eine nachhaltige Entwicklung.

Unseren Zielen wollen wir näher kommen, indem wir uns für die Vermeidung eines gefährlichen Klimawandels, faire Handelsbeziehungen, einen verantwortlich agierenden Finanzmarkt und die Einhaltung der Menschenrechte stark machen. Germanwatch finanziert sich aus Mitgliedsbeiträgen, Spenden und Zuschüssen der Stiftung Zukunftsfähigkeit sowie aus Projektmitteln öffentlicher und privater Zuschussgeber.

Möchten Sie die Arbeit von Germanwatch unterstützen? Wir sind hierfür auf Spenden und Beiträge von Mitgliedern und Förderern angewiesen. Spenden und Mitgliedsbeiträge sind steuerlich absetzbar.

Weitere Informationen erhalten Sie unter [www.germanwatch.org](http://www.germanwatch.org) oder bei einem unserer beiden Büros:

Germanwatch Büro Bonn  
Dr. Werner-Schuster-Haus  
Kaiserstr. 201, D-53113 Bonn  
Telefon +49 (0)228 / 60492-0, Fax -19

Germanwatch Büro Berlin  
Voßstr. 1, D-10117 Berlin  
Telefon +49 (0)30 / 288 8356-0, Fax -1

E-Mail: [info@germanwatch.org](mailto:info@germanwatch.org)  
Internet: [www.germanwatch.org](http://www.germanwatch.org)

Bankverbindung / Spendenkonto:  
Konto Nr. 32 123 00, BLZ 100 205 00,  
Bank für Sozialwirtschaft AG



Per Fax an:

+49 (0)30 / 2888 356-1

Oder per Post:

Germanwatch e.V.  
Büro Berlin  
Voßstr. 1  
D-10117 Berlin

### Ja, ich unterstütze die Arbeit von Germanwatch

Ich werde Fördermitglied zum Monatsbeitrag von €..... (ab 5 €)  
Zahlungsweise:  jährlich  vierteljährlich  monatlich

Ich unterstütze die Arbeit von Germanwatch durch eine Spende von  
€..... jährlich €..... vierteljährlich €..... monatlich €..... einmalig

Name .....

Straße .....

PLZ/Ort .....

Telefon .....

E-Mail .....

Bitte buchen Sie die obige Summe von meinem Konto ab:

Geldinstitut .....

BLZ .....

Kontonummer .....

Unterschrift .....