

Was wissen wir über den regionalen Klimawandel?

Hans von Storch
Institut für Küstenforschung, GKSS Forschungszentrum
Geesthacht, Schleswig-Holstein
und
Exzellenzzentrum „CliSAP“ / KlimaCampus der Universität Hamburg

Vorbemerkung

Diese Frage „Was wissen wir über den regionalen Klimawandel?“ war vom Veranstalter vorgeschlagen worden – sicher eine gute Frage, deren Inhalt man allerdings sehr verschieden verstehen kann. Man kann das Gewicht legen auf „Wir“ – wer, mit was für Eigenschaften und Interessen fragt? „Wissen“ – was für ein Wissen ist gemeint? „Was?“ – welche Aussagen können wir zuverlässigerweise machen? „Regionaler Klimawandel“ – welche Aspekte des Klimawandels, menschengemacht oder natürlich, heute und hier oder in 100 Jahren weit weg, oder während der Eiszeit, als die Nordsee trocken lag? Im Folgenden werde ich anhand dieser Sichtweisen die Frage versuchen abzuarbeiten.

„Wir?“

Die Fragen nach dem Klimawandel und seinen Ursachen und Folgen werden von Menschen mit sozialem Hintergrund gestellt. „Wir“ sind daher ganz verschiedene Leute, mit Interessen, Vorbildung und kulturellen Konditionierung, mit Werten. Akademisch gebildete Menschen, Menschen mit wirtschaftlichen Existenzängsten; Menschen, die von Informationen abgeschnitten sind; die kulturell gegebene Deutungsrahmen haben, etwa wonach es geboten ist, sich die Welt Untertan zu machen und sich zu vermehren, die Schöpfung zu vollenden, während andere sich in der Aufgabe sehen, eben die Schöpfung zu bewahren. Für einige ist das Klima eine Zeigestock Gottes, für andere die Thematisierung des Klimas ein Versuch, eine allgegenwärtige soziale Kontrolle zu etablieren. Diese Kakophonie der Zugänge ist natürlich nichts Besonderes Weise bei allen Themen, die eine gewisse öffentliche Aufmerksamkeit genießen.

„Wir“ sind ziemlich verschieden, sind meist wertegetrieben, haben politische Agenda, und Eigeninteressen. Klima ist Gegenstand von Parteilichkeit. Klimawandel wird gedeutet, erklärt, verstanden, wahrgenommen. Oder in anderen Worten: in verschiedenen Wissensformen interpretiert. Es gibt im Prinzip zwei verschiedene Wissensformen, die natürlich nie in strikt getrennter Form vorkommen, nämlich das wissenschaftliche Konstrukt und das kulturelle Konstrukt (von Storch, 2009). Wir Wissenschaftler finden das wissenschaftliche Konstrukt dem kulturellen Konstrukt selbstverständlich überlegen, aber in der täglichen Notwendigkeit der praktischen Entscheidungen, und nicht nur in diesen sondern auch in strategischen Fragen der

internationalen Politik, erweist sich oft das kulturelle Konstrukt als mächtiger, praktisch verwertbare Deutung zu erlauben und handlungsrelevante Folgerungen zu ziehen.



Abbildung 1: Eine Darstellung des kulturellen Konstrukts des menschengemachten Klimawandels – mit Starkregen, Stürme (vermutlich), Dürren, vektorübertragenen Krankheiten und Meeresspiegelanstieg – und bewertet von einem Wissenschaftler (im weißen Kittel).

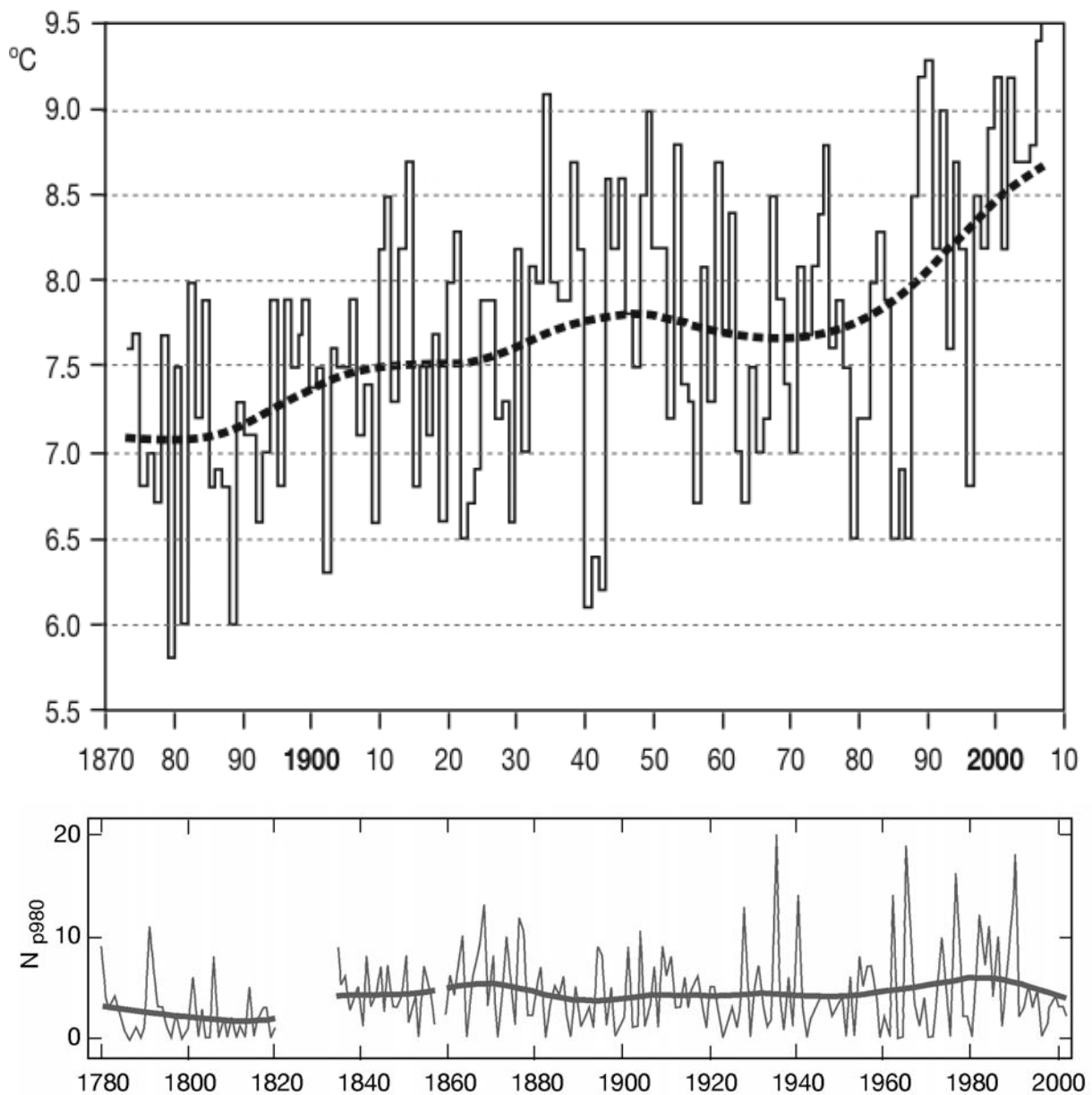


Abbildung 2: Veränderung der Jahresmitteltemperatur in Dänemark seit Beginn regelmäßiger Thermometermessungen (oben) und Veränderung der jährlichen Häufigkeit von Luftdrücken von 980 hPa und weniger in Südschweden (Lund).

Die Charakterisierung des kulturellen Konstrukts, seinen zahlreichen Varianten, historischen Hintergründen ist eine umfangreiche Aufgabe, die hier nicht geleistet werden kann; einige Elemente werden von von Storch (2009) angesprochen; an dieser Stelle soll der Hinweis auf Abbildung 1 ausreichen, der in einer für die meisten Leser sprachlich nicht verständlich sein wird und dennoch bildlich klar das uns allen bekannte Motiv der „Klimakatastrophe“ beschreibt.

Demgegenüber beschreibt das wissenschaftliche Konstrukt, einschl. seiner diversen Spielarten, eine weniger dramatische und erheblich weniger sicher vorgetragene Situation. Demnach beeinflussen vom Menschen ausgehende Prozesse das Klima. Das Klima, das ist die Statistik des Wetters. Die Häufigkeitsverteilungen der Temperatur verschieben sich derzeit und in der absehbaren Zukunft fortgesetzt an fast allen Orten hin zu größeren Werten; der Meeresspiegel steigt; die Regenmengen verändern sich. Einige Extreme, wie etwa Starkniederschläge im

Westwindgürtel der mittleren Breiten, werden sich verändern. Der Antrieb hinter diesen Veränderungen sind vor allem die Freisetzung von Treibhausgasen, also insbesondere Kohlendioxid und Methan. Durch Verminderung der Emissionen von Treibhausgasen, oder zumindest der Verminderung der Zuwächse der Emissionen, kann der Klimawandel verlangsamt werden, langfristig sogar deutlich – aber kaum kurzfristig beendet werden.

Abbildung 2 illustriert einen Aspekt des wissenschaftlichen Konstrukts, nämlich der stetige Anstieg der Temperaturen, mit einem beschleunigten Anstieg in den letzten Jahrzehnten, während derer die Treibhausgaskonzentrationen massiv anstiegen – und die gleichzeitige stationäre Variabilität der regionalen Sturmtätigkeit. In Dänemark sind die Temperaturen seit Beginn der qualitätsgesicherten instrumentellen Daten um 1,5 Grad gestiegen, wovon fast 1 Grad seit ca. 1970. Gleichzeitig zeigt ein Indikator für Sturmtätigkeit – hier die jährliche Häufigkeit des Unterschreitens des 980 hPa Druckniveaus in Südschweden, keine entsprechende Veränderung sondern vielmehr unveränderte Werte seit dem Ende des 18ten Jahrhunderts. Dies Beispiel wird hier gebracht, weil die gegenwärtige und zukünftige Verschärfung des Sturmklimas fester Bestandteil des kulturellen Konstrukts zu sein scheint.

Die beiden Konstrukte werden auch illustriert durch die beiden Graphiken in Abbildung 3, die oben die mit Hurrikanen verbundenen berichteten Schäden längs der US-amerikanischen Küsten seit 1900 darstellt. Die Schäden nehmen enorm zu, was interpretiert wird, gerade in den Medien und durch Versicherungen, als Beleg dafür, dass die Stürme stärker und/oder häufiger werden. In der zweiten Graphik werden die gleichen Zahlen gezeigt, allerdings nach einer Neuberechnung unter der Annahme, dass im ganzen 20ten Jahrhundert die sozio-ökonomische Nutzung der US-Küste so wie im Jahr 2005 war – dass der Great Miami Sturm von 1926 auf ein modernes Miami mit einer viel höheren Bevölkerungs- und Wertedichte als damals in 1926 traf. Dieser Sturm verursachte in 1926 vor allem in Florida und Alabama Schäden; bei einer modernen Nutzung hätten diese Schäden ca. 140 b\$ betragen – im Vergleich dazu ging Katrina mit Schäden von „nur“ 80 b\$ einher (Pielke jr., 2008). Die angebliche Verschärfung der Statistik atlantischer Hurrikane – zumindest im Hinblick auf solche Stürme, die die US Küste erreichen – ist also vor allem eine Frage der betroffenen Werte in der Küstenzone. Dennoch ist der Hinweis auf Katrina regelmäßig als Beleg auf die Zunahme der schweren Hurrikan-Ereignisse zu finden – wann immer das kulturellen Konstrukt dargestellt wird.

Diese beiden Konstrukte sind Konkurrenten in der Deutung einer komplexen Umwelt; zwei „Akteure“ auf dem Markt des Wissens. Natürlich wird die naturwissenschaftliche Praxis (und damit ihre Theoriebildung) ohnehin durch das kulturelle Konstrukt beeinflusst, weil die Naturwissenschaftler ja nicht frei von ihrer Kultur sein können. Ihre Kultur konditioniert sie in ihrer Sichtweise, leitet uns in ihren Fragestellungen, in ihrer Bereitschaft, Antworten als argumentativ ausreichend anzusehen.

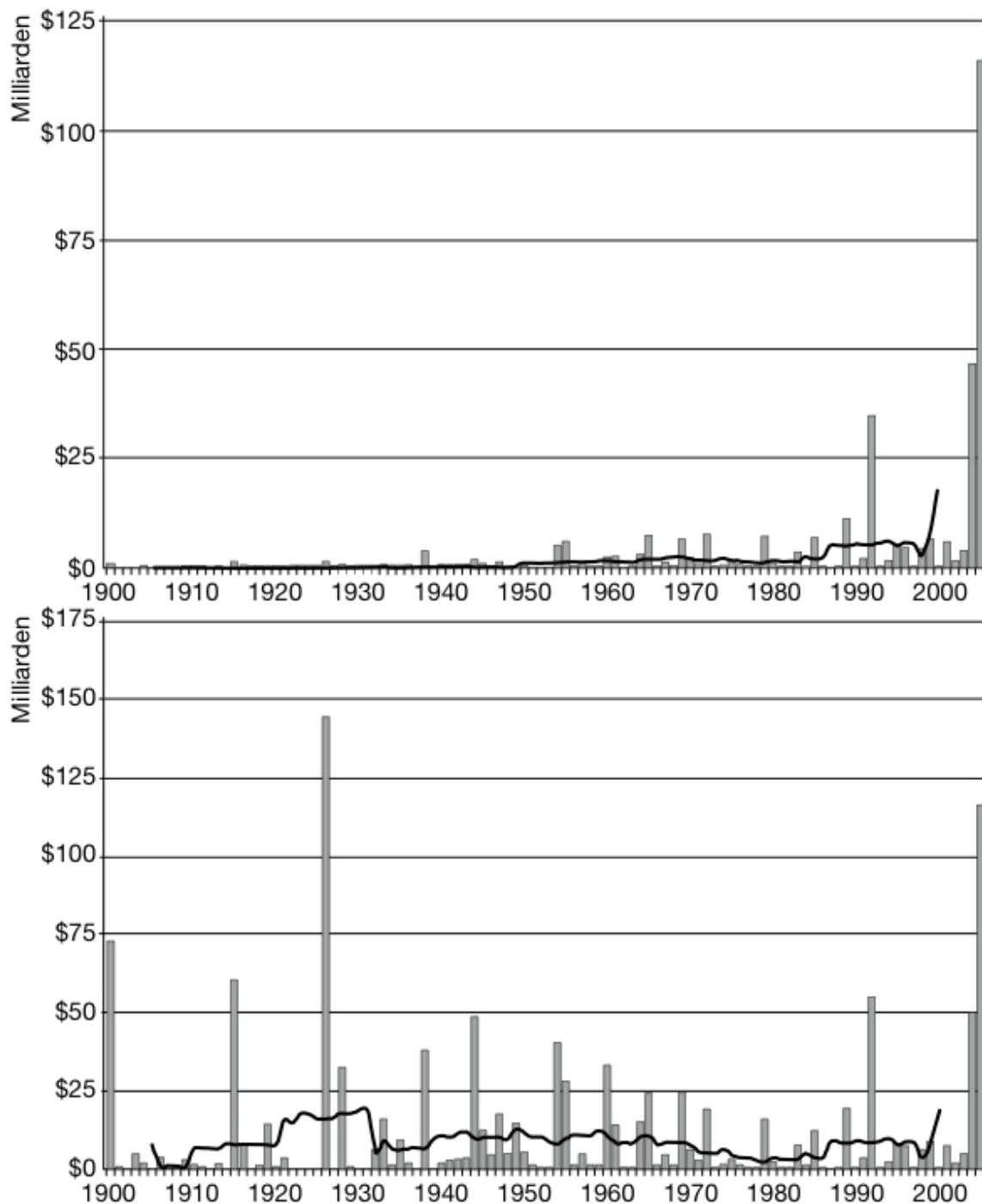


Abbildung 3: Geschätzte jährliche Summen von durch Hurrikane verursachte Schäden längs den US-Küsten in 2005-\$. Oben: tatsächliche Schäden; unten: Schätzungen unter der Annahme, dass die sozio-ökonomische Nutzung in der ganzen Zeit der des Jahres 2005 entsprach. Nach Pielke et al. (2008)

Wissen?

Welches Wissen wird nachgefragt?

Zunächst die Frage, ob es wirklichen menschlichen Einfluß auf das Klima gibt und inwieweit dieser „gesteuert“ werden kann. Gibt es Veränderungen, die nicht im Rahmen der natürlichen

Schwankungen verstanden können – die Feststellung solcher Veränderungen wird als „Detektion“ bezeichnet (Hasselmann, 1993). Nach einer solchen Detektion stellt sich die Frage, welche Ursache am plausibelsten die Veränderungen begründen. Man spricht dann von „Attribution“ (Hasselmann, 1993). Dieser Komplex hat offensichtlich einen wichtigen Einfluss auf die allgemeine Debatte über den menschengemachten Klimawandel. Im kommenden Abschnitt kommen wir auf Detektion und Attribution zurück.

Ein weiterer Bedarf betrifft die Beschreibung vergangener und jüngster Klimaschwankungen (Rekonstruktion der Wetterabläufe der letzten Jahrzehnte) und möglicher zukünftiger Klimaänderungen (Szenarien von Wetterabläufen) in einigem regionalen Detail. In Kombination mit der Detektion und Attributions-Analyse erlauben solche Beschreibungen Einschätzungen, inwieweit derzeitige Klimaänderungen als Teil eines durch menschliche Einflüsse verursachten Trends ist oder doch eher als Schwankungen von endlicher Dauer verstanden werden sollten. Diese Beschreibungen erlauben auch die Einschätzung von Risiken und Potentialen, etwa im Hinblick auf das Küstenwetter und den Betrieb von offshore Anlagen.

Solche Beschreibungen werden durch den Einsatz regionaler Klimamodelle möglich (z.B. Weisse et al., 2009) – man spricht von „downscaling“. Im Falle vergangener und gegenwärtiger Zustände werden die regionalen Modelle konditioniert durch die Vorgabe großskaliger Wetterzustände, wie sie von sogenannten Re-Analysen (z.B. NCEP Re-Analyse - siehe Kalnay et al., 1996). Als über diese Re-Analyse hinausgehendes Wissen wird auf diese Weise eine konsistente Beschreibung „klein“-skaliger Vorgänge im gegliederten Gelände, also etwa in Küstenzonen, erzeugt. „Klein“-skalig verweist hier auf Abmessungen von vielen 10 Kilometer (z.B. 150 km); in einigen Jahren werden diese charakteristischen Abmessungen nur noch wenige 10 Kilometer sein.

Prinzipiell ähnlich geht man bei der Ableitung möglicher Zukünfte vor (z.B. von Storch, 2007). Man spricht von „Szenarien“, also möglichen, intern konsistenten, plausiblen aber nicht notwendigerweise wahrscheinlichen Zukünften. Ausgehend von angenommenen Emissionen klima-relevanter Substanzen (vor allem natürlich Kohlendioxid) in die Atmosphäre, wird mit globalen Klimamodellen die zeitabhängige Veränderung in der Statistik des Wetters (also des Klimas) berechnet. Bei der Gelegenheit werden Schwankungen aufgrund der internen chaotischer Dynamik von Atmosphäre und Ozean mit dargestellt, ohne dass dies einen konkreten Vorhersagewert hätte. Die dergestalt beschriebenen großskaligen Zustände werden dann wieder mit regionalen Klimamodellen „downscaled“, d.h. es werden konsistente Zustände mit kleinerskaligen Detail abgeleitet.

Ein relevantes Detail dieser Szenarienrechnungen ist, dass die Simulation des Ist-Zustandes nicht genau gelingt. In der Simulation etwa der Mitteltemperatur des Sommers in Deutschland wird nicht genau der beobachtete Wert getroffen. Vielmehr gibt es einen Unterschied, einen „Bias“. In der Regel ist dieser Bias nicht groß, aber wenn es um räumlich stark gegliederte Größen geht, wie etwa dem Niederschlag, können auch große Fehler eintreten. Daher berechnet man die Klimaänderung dadurch, dass man zunächst eine Kontrollsimulation durchführt, die die heutigen Verhältnisse soweit möglich beschreibt; dann führt man eine zweite Rechnung durch, in denen die Wirkung der erhöhten Treibhausgaskonzentrationen dargestellt wird. Man berechnet dann die einschlägigen Statistiken aus sowohl der Simulation mit der Änderung und der Kontrollsimulation. Die Differenz dieser Statistiken stellt dann die erwartete Klimaänderung dar. Man spricht bisweilen von der „Delta“-Methode.

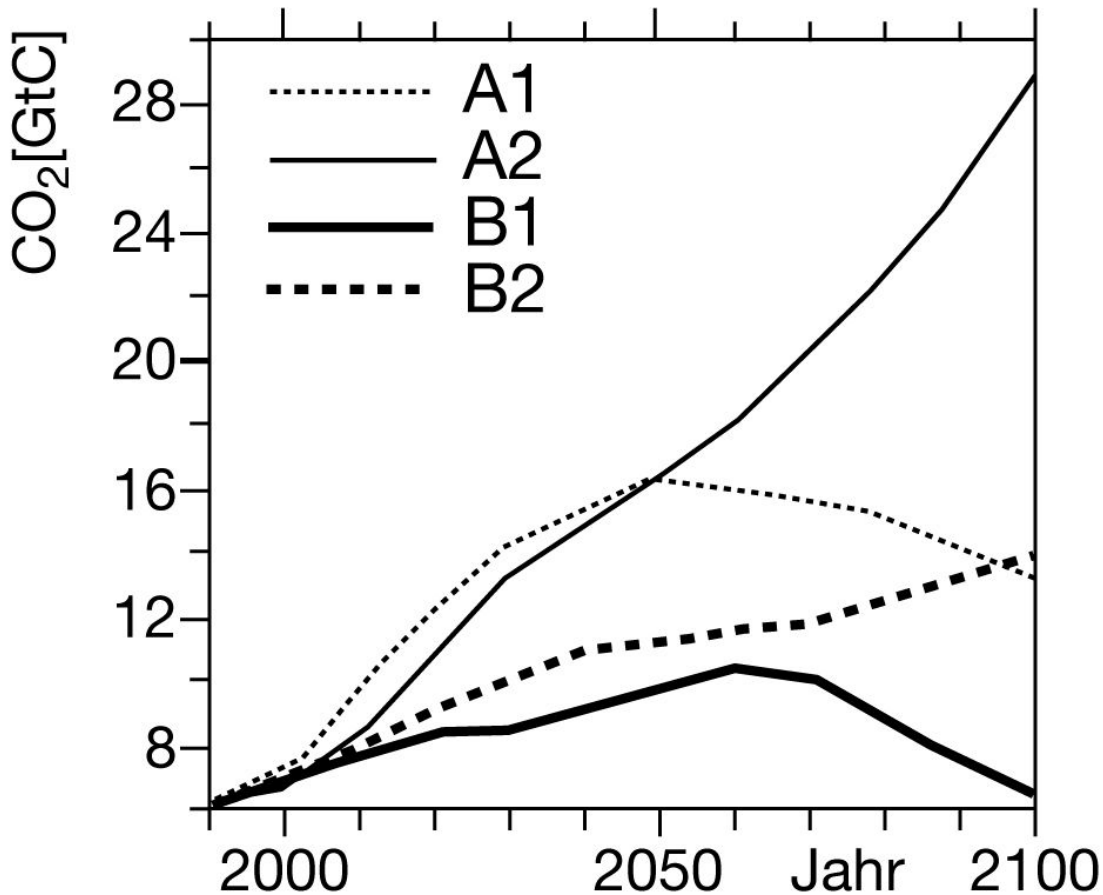


Abbildung 4: In den IPCC „SRES“ Szenarien beschriebene mögliche, konsistente und für möglich gehaltene Entwicklungen der Freisetzung von Kohlendioxid in die Atmosphäre.

Eine Schlüsselaufgabe bei dieser Beschreibung von Zukunft ist natürlich die Spezifikation der „Emissions-Szenarien“ Eine Reihe solcher Emissionsszenarien ist im „IPCC Special Report on Emissions Scenarios“ (SRES; <http://www.grida.no/climate/ipcc/emission>) veröffentlicht worden. Neben Veränderungen in den Emissionen beschreiben sie auch Szenarien für zukünftige Landnutzung. Vier Gruppen von Szenarien wurden konstruiert, die wie folgt charakterisiert werden:

- ❖ **A1** Eine Welt mit schnellem Wirtschaftswachstum und der schnellen Einführung von neuer Technologie mit gesteigerter Energieeffizienz,
- ❖ **A2** Eine sehr heterogene Welt, in der Familienwerte und lokale Traditionen große Bedeutung haben.
- ❖ **B1** Eine „dematerialisierte“ Welt, in der saubere Technologien eingeführt werden.
- ❖ **B2** Eine Welt, in der lokale Lösungen für den nachhaltigen Umgang mit Wirtschaft und Umwelt im Vordergrund stehen.

Diesen Szenarien liegen detaillierte Storyboards zugrunde, wie z.B. in A1 Erwartungen, dass marktbasierende Lösungen verfolgt werden, und dass private Haushalte auf hohe Sparleistungen und gute Ausbildung abzielen. Ein anderes Beispiel in B2 beschreibt einen geringen

Fleischkonsum in Ländern mit hoher Bevölkerungsdichte. Aus diesen Überlegungen leiten sich dann erwartete Emissionen von strahlungsrelevanten Substanzen in die Atmosphäre ab. Abbildung 1 zeigt die erwarteten SRES Szenarien für die Emission von Kohlendioxid (in Gigatonnen Kohlenstoff) als wesentlichem Repräsentanten von Treibhausgasen und von Schwefeldioxid (in Megatonnen Schwefel) als Repräsentanten für anthropogene Aerosole.

Was?

Global steigen die Temperaturen der Luft schneller als man es aufgrund natürlichen Dynamik und natürlichen Faktoren erwarten sollte. Für die großräumige Verteilung der Lufttemperatur ist diese Detektion weitgehend gelungen (z.B. Zorita et al., 2008). Die einzig konsistente Erklärung liegt in der vermehrten Gegenwart von Treibhausgasen.

Wir wissen – und der Hintergrund für diesen Anspruch wird in den IPCC-Berichten erklärt (IPCC, 2007) –, dass der menschgemachte Klimawandel

- real ist.
- kaum noch gänzlich vermeidbar ist, wohl aber vermindert durch eine Reduktion der Freisetzung von Treibhausgasen.
- in unserem Raum derzeit nur eingeschränkt erfahrbar ist, nämlich in der Lufttemperatur und damit direkt verbundenen Größen (z.B. Anzahl der Frosttage)
- sich im kommenden Jahr-hundert deutlicher entfalten wird
- und weitergehende Anpassungsmaßnahmen erforderlich machen wird, etwa im Hinblick auf Küstenschutz, Wassermanagement, Städtebau, und Landwirtschaft.

Regionaler Klimawandel und seine Folgen?

Für spezifische Regionen ist in der Regel wenig systematisch erforscht worden. Zwar gibt es viele Detailergebnisse aber eben auch viele Behauptungen, die auf wenig belastbaren oder keinen Forschungen beruhen. Die Politisierung der Klimaforschung und die fast universelle Verwendbarkeit, unter dem Hinweis auf schädlichen Folgen des Klimawandels Forderungen nach Regel- und Verhaltensänderungen zu stellen, führen bisweilen zu zielgesteuerten Aussagen.

a) Ostseeraum

Eine Ausnahme stellt der Ostseeraum dar. Hier wurde im Rahmen von BACC (*BALTEX Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin*) für Wissenschaftlern und der Öffentlichkeit das konsensuale, wissenschaftlich abgesicherte derzeitige Wissen der Folgen des gegenwärtigen und künftigen globalen Klimawandels in der Ostseeregion in einem umfangreichen Buch dargestellt (BACC, 2008). „Konsensual“ beschreibt Einvernehmen im positiven wie negativen Sinne, nämlich Einvernehmen über Konsens und Dissens. Zu diesem Zweck wurden die publizierten wissenschaftlichen Veröffentlichungen über den Klimawandel in der Ostseeregion gesichtet und deren Ergebnisse zusammengefasst.

Dies „BACC-Buch“ (BACC, 2008) bietet einen Überblick über die wissenschaftlichen Ergebnisse der regionalen Klimaforschung im Ostseeraum sowie eine Abschätzung der Folgen des Klimawandels auf terrestrische und aquatische Ökosysteme. Es beschreibt Wissen über sowohl Klimaänderungen in der jüngsten Vergangenheit als auch Klimaszenarien bis ins Jahr 2100. Der Bericht wurde von einem Konsortium von über 80 Wissenschaftlern aus 13 Ländern verfasst.

BACC zeichnet sich aus durch die Beschreibung des Klimawandels in der jüngeren Vergangenheit und in der absehbaren Zukunft mit den damit zusammenhängenden Folgen für Ökosysteme in der Ostsee und ihrem Einzugsgebiet. BACC ist der erste systematische Versuch, auf wissenschaftlicher Basis das Wissen über die Folgen des Klimawandels im Ostseeraum zusammen zu fassen. Ein anderes herausragendes Merkmal von BACC ist es, dass politische und ökonomische Interessen keinen Einfluss auf das Ergebnis dieser Arbeit hatten.

Die Ergebnisse wurden in vier Kapiteln dargestellt; zwei Kapitel behandeln die geophysikalische Seite (Atmosphäre, Ozean, Meereis), die anderen beiden beschäftigen sich mit den ökologischen Auswirkungen auf die terrestrische und marine Umwelt.

Im letzten Jahrhundert wurde in der Region ein deutlicher Anstieg der Temperatur von mehr als 0,7°C beobachtet. Gleichzeitig mit diesem Anstieg der mittleren und Extremtemperaturen zeigen auch andere Variablen Änderungen, so beispielsweise der Anstieg des winterlichen Abflusses, sowie in vielen Gebieten kürzere Eisperioden und dünnere Eisschichten auf Flüssen und Seen. Diese Trends sind statistisch signifikant, aber bisher wurde nicht gezeigt, dass sie größer wären als das, was im Rahmen natürlicher Variabilität zu erwarten ist. Außerdem wurde bisher kein Zusammenhang mit den erhöhten atmosphärischen Konzentrationen von Treibhausgasen herausgearbeitet, wie dies für größere Gebiete (z.B. die ganze Hemisphäre) in „Nachweis- und Zuordnungs-Studien“ („detection and attribution studies“) in der Vergangenheit insbesondere für die Lufttemperatur gelungen ist.

Was aber gezeigt wurde ist, dass die genannten Trends in der Lufttemperatur und damit zusammenhängenden Variablen konsistent sind mit den regionalen Klimaänderungs-Szenarien, die mit Hilfe von Klimamodellen erstellt wurden. Daher ist es plausibel, dass wenigstens ein Teil der derzeitigen Erwärmung des Ostseebeckens durch die stetige Erhöhung der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre verursacht wurde.

Hinsichtlich des Niederschlags ist die Situation weit weniger klar: in der Vergangenheit wurden räumlich ungleichförmige Muster von Auf- und Abwärtstrends beobachtet, die man kaum mit einer anthropogen hervorgerufenen Erwärmung in Beziehung setzen kann. Künftig könnte im Verlauf dieses Jahrhunderts in der gesamten Region ein verstärkter Winterniederschlag auftreten, während die Sommer im südlichen Teil trockener werden – aber diese Voraussage ist zur Zeit noch unsicher. In der Ostsee wird tendenziell eine Verringerung des Salzgehalts erwartet. Ebenso sind keine klaren Signale gefunden worden, was die Windverhältnisse angeht, weder in der Vergangenheit noch in den Zukunfts-Szenarien.

Angesichts der großen Unsicherheit in unserem Wissen über die sich verändernden klimatischen Verhältnisse ist es nicht überraschend, dass unser Wissen über ökologische Auswirkungen jetziger und künftiger Klimaänderungen unvollständig ist. Die in der Vergangenheit beobachteten Temperaturänderungen wurden mit entsprechenden Änderungen im Bereich terrestrischer Ökosysteme in Verbindung gebracht, zum Beispiel dem Auftreten eines immer früher einsetzenden Frühlings, der Wanderung bestimmter Arten nach Norden oder einem vermehrten und stärkeren Pflanzenwachstum. In Seen wurden im Sommer höhere

Konzentrationen von Algenbiomasse gefunden. Es ist zu erwarten, dass diese Trends sich in Zukunft fortsetzen; die Artenwanderung könnte langsamer vonstatten gehen als die Erwärmung, die sie hervorgerufen hat. Im marinen Ökosystem der Ostsee ist die Einschätzung der „Konkurrenz“ durch andere vom Menschen hervorgerufenen und damit nicht klimabedingten Stressoren (Eutrophierung, Fischerei, Freisetzung von Umweltschadstoffen) besonders schwierig zu analysieren. Die sich verändernden Temperaturen wurden zu verschiedenen Effekten in Beziehung gesetzt, insbesondere dem Artenspektrum. Es wird erwartet, dass ein sinkender Salzgehalt einen entscheidenden Einfluss auf die Verteilung, das Wachstum und die Reproduktion der Ostseefauna haben würde. Ebenso wird erwartet, dass in der Vergangenheit fremde Arten aus wärmeren Gewässern (wie beispielsweise die Zebrauschel *Dreissena polymorpha* oder die Meerwalnuss *Mnemiopsis leidyi*, eine nordamerikanische Qualle) ihr Verbreitungsgebiet vergrößern werden; auch die Verbreitung von Frischwasserarten könnte zunehmen. Die zu erwartenden Veränderungen im Bereich des Niederschlags (und damit auch die Einleitungen der Flüsse) können zusätzliche negative Auswirkungen auf das Problem der Eutrophierung haben.

<i>Wesentliche Faktoren, die Sturmflutwasserstände langfristig ändern können</i>	<i>Änderungen bisher (1907 bis 2006)</i>	<i>Mögliche Änderungen bis 2030</i>	<i>Mögliche Änderungen bis 2100</i>
Globaler mittlerer Meeresspiegelanstieg	ca. 2 dm	ca. 1 – 2 dm	ca. 2 – 8 dm
Meteorologisch bedingter Anteil des Sturmflutwasserstandes	keine	ca. 0 – 1 dm	ca. 1 – 3 dm
Regionaler und lokaler Meeresspiegelanstieg	ca. 2 dm	Bisher unbekannt	Bisher unbekannt
Wellenauflauf	keine	Bisher unbekannt	Bisher unbekannt
Gezeitenregime	Regional sehr unterschiedlich	Bisher unbekannt	Bisher unbekannt
Topographie	Regional sehr unterschiedlich	Bisher unbekannt	Bisher unbekannt

Tabelle 1: Einschätzung des Instituts für Küstenforschung der GKSS der bisherigen und möglichen künftige Änderungen von Faktoren, die Sturmflutwasserstände in der Deutschen Bucht ändern können. Aussagen über bisherige Änderungen basieren auf Messungen, Aussagen über mögliche künftige Änderungen werden aus verschiedenen globalen und regionalen Klimarechenmodellen unter Annahme bestimmter künftig möglicher Treibhausgaskonzentrationen abgeleitet. Bei Faktoren, für die es bisher noch keine entsprechenden Klimarechnungen gibt, wurde die Änderung als „bisher unbekannt“ definiert.

b) Sturmflutgefahr an der deutschen Nordseeküste

Anlässlich einer Anhörung des Schleswig-Holsteinischen Landtages zur Zukunft des Küstenschutzes am 20. Mai 2009 fassten Wissenschaftler des Instituts für Küstenforschung am GKSS Forschungszentrum den aktuellen Forschungsstand zu möglichen Änderungen von Nordseesturmfluten im Klimawandel so zusammen:

Bisher hat sich der vom Menschen verursachte Klimawandel kaum auf die Nordseesturmfluten ausgewirkt. Künftig können sie jedoch höher auflaufen. Bis 2030 ist der derzeitige Küstenschutz an der Nordsee fast genauso wirksam wie heute. Bis Ende des Jahrhunderts kann jedoch Handlungsbedarf entstehen, denn bis dahin können Sturmfluten drei bis 11 Dezimeter höher auflaufen als heute. Wie sich küstennahe Prozesse, wie zum Beispiel Gezeiten, Sedimentation und wasserbauliche Maßnahmen, auf zukünftige Wasserstände in der Deutschen Bucht auswirken können, muss noch erforscht werden.

Die Beiträge der verschiedenen Faktoren, für heute und die Zeithorizonte 2030 und 2100, sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Im Einzelnen wurde ausgeführt:

Wie stark sich Sturmfluthöhen an der Nordseeküste ändern, hängt in erster Line vom Meeresspiegelanstieg und vom Windklima in der Deutschen Bucht ab. Die Windverhältnisse haben sich über der Nordsee mit dem Klimawandel bisher nicht systematisch verändert. Sowohl Wind- als auch Luftdruckmessungen zeigen vielmehr, dass Stärke und Häufigkeit der Nordseestürme im letzten Jahrhundert starken Schwankungen unterlagen (z.B. Matulla et al., 2008). Diese liegen jedoch im normalen Schwankungsbereich. Eine Sturmsaison bringt heute aufgrund des vom Menschen verursachten Klimawandels weder heftigere noch häufigere Stürme in der Deutschen Bucht hervor als zu Beginn des letzten Jahrhunderts. Dementsprechend laufen Sturmfluten heute windbedingt nicht höher auf als noch vor 100 Jahren.

Der Meeresspiegel ist in den letzten 100 Jahren weltweit durchschnittlich etwa um zwei Dezimeter angestiegen. Auch der Meeresspiegel in der Nordsee hat mit dieser Entwicklung ungefähr Schritt gehalten. Weil sie heute durch den Meeresspiegelanstieg ein höheres Ausgangsniveau vorfinden, laufen auch die Sturmfluten in der Nordsee durchschnittlich etwa zwei Dezimeter höher auf als noch vor 100 Jahren.

Klimarechnungen für die Zukunft weisen darauf hin, dass der Meeresspiegel weltweit künftig stärker ansteigen kann als bisher. In den letzten Jahrzehnten ist der globale Meeresspiegel durchschnittlich bereits stärker angestiegen als zu Beginn des letzten Jahrhunderts. Würde man die derzeitige Anstiegsrate auf 100 Jahre linear fortschreiben, läge der Meeresspiegelanstieg bei etwa drei Dezimeter. Der UN Klimarat IPCC (IPCC, 2007) erwartet bis Ende des 21. Jahrhunderts einen Meeresspiegelanstieg von etwa zwei bis sechs Dezimeter. Das bedeutet, dass sich die durchschnittliche bisherige Anstiegsrate des letzten Jahrhunderts (zwei Dezimeter) im nächsten Jahrhundert verdreifachen kann, mindestens aber gleich bleibt. Bis 2030 könnte der Meeresspiegel im weltweiten Durchschnitt verglichen zu heute etwa ein bis zwei Dezimeter ansteigen. Außerdem können sich Prozesse in den großen Eisschilden Grönlands und der Antarktis so verstärken, dass sie den globalen Meeresspiegel zusätzlich ansteigen lassen. Insgesamt ist dann laut IPCC ein weltweiter Meeresspiegelanstieg von zwei bis acht Dezimeter bis zum Ende des 21. Jahrhunderts plausibel.

Obwohl sich das Windklima über der Nordsee bisher nicht systematisch geändert hat, weisen Klimarechnungen für die Zukunft darauf hin, dass die Nordseestürme im Winter stärker werden können (Rockel und Woth, 2007). Dies gilt vor allem für Stürme aus West und Nord. Hauptsächlich Stürme aus diesen Richtungen stauen auch die Wassermassen an der deutschen Nordseeküste auf. Sturmflutszenarien weisen darauf hin, dass Sturmflutwasserstände windbedingt bis zum Ende des Jahrhunderts höher auflaufen können. Die Wissenschaftler am GKSS-Institut für Küstenforschung erarbeiten derzeit weitere Szenarien für künftige windbedingte Änderungen von Sturmflutwasserständen in der Nordsee. Die aktuellen Ergebnisse haben die bisherige Spannbreite von einem bis drei Dezimeter bestätigt, um die Sturmflutwasserstände an der Nordseeküste bis Ende des Jahrhunderts höher auflaufen können (Grabemann und Weisse, 2008).

Geht man nun davon aus, dass der Meeresspiegelanstieg an der deutschen Nordseeküste auch künftig etwa dem durchschnittlichen globalen Meeresspiegelanstieg entspricht, wird auch das Ausgangsniveau der Nordseesturmfluten in Zukunft weiter ansteigen. Zusammen mit einem veränderten Windklima können Nordseesturmfluten bis zum Ende des Jahrhunderts dann insgesamt etwa drei bis 11 Dezimeter höher auflaufen als heute.

Bis 2030 ist der aktuelle Küstenschutz an der Nordsee ungefähr noch so wirksam wie heute, denn bis dahin werden Sturmfluten voraussichtlich „nur“ ein bis drei Dezimeter höher auflaufen als heute. Bis Ende des Jahrhunderts kann durch die erhöhten Sturmflutwasserstände allerdings Handlungsbedarf entstehen. Bis dahin müssten Küstenschutzmaßnahmen angepasst werden. Küstenbewohnern muss das Sturmflutrisiko bewusster werden, damit sie ihre Lebensbereiche vor möglichen Beeinträchtigungen schützen.

Die künftigen Änderungen für den Meeresspiegelanstieg stammen aus dem jüngsten Bericht des UN Klimarates IPCC (2007). Der Meeresspiegel kann jedoch in verschiedenen Regionen unterschiedlich stark ansteigen. Beispielsweise können Änderungen der Ozeanzirkulation die Deutsche Bucht anders beeinflussen als den Golf von Mexiko. Außerdem können langfristige Änderungen im Luftdruck- und Schwerefeld der Erde zu unterschiedlichen Anstiegsraten des Meeresspiegels in verschiedenen Regionen führen. Die „Delta Commissie“ hat unter Mitarbeit von GKSS-Wissenschaftlern für die Niederlande ein regionales „worst case“ Szenario erarbeitet (Vellinga et al., 2008). Demnach ist ein Meeresspiegelanstieg von 13 Dezimeter bis zum Ende des 21. Jahrhunderts an der niederländischen Küste nicht auszuschließen. Für die deutsche Nordseeküste ist der mögliche zukünftige Meeresspiegelanstieg bisher nicht regional abgeschätzt worden. Die Angaben zu den veränderten künftigen Sturmflutwasserständen können sich somit ändern, wenn es genauere Abschätzungen zum regionalen Meeresspiegelanstieg in der Deutschen Bucht gibt.

Wie hoch die Wellen dann tatsächlich am Deich auflaufen, wird neben dem Wasserstand auch durch den Seegang beeinflusst. Windbedingt liegen auch die bisherigen Änderungen des Seegangs im normalen Schwankungsbereich. In Verbindung mit den möglichen künftigen Änderungen des Windklimas kann sich der Seegang in der Deutschen Bucht während einer Sturmflut Ende des Jahrhunderts zwei bis fünf Dezimeter erhöhen. Wie genau sich demzufolge künftig der Wellenaufbau am Deich verändern kann, ist bisher aber nicht bekannt.

Neben dem Meeresspiegelanstieg und dem Windklima wirken sich außerdem die Gezeiten auf Sturmfluthöhen aus. Innerhalb der Deutschen Bucht haben sie sich seit Mitte des letzten Jahrhunderts zum Teil stark verändert. Die Ursachen hierfür und die mögliche künftige Veränderungen im Gezeitenregime sind bisher noch ungeklärt. Auch Form und Beschaffenheit des Untergrundes können Sturmflutwasserstände verändern. Insbesondere im Bereich der Elbe

haben sich Sturmflutwasserstände in der Vergangenheit stärker erhöht als in anderen Regionen der Deutschen Bucht (von Storch et al., 2008). Als Ursache kommen auch wasserbauliche Maßnahmen infrage. Fraglich ist außerdem ob die küstennahe Sedimentation das Watt auch mit einem künftig möglicherweise stärkeren Meeresspiegelanstieg mitwachsen lässt. Wäre das nicht der Fall würde sich dies neben den Folgen für das Ökosystem auch auf die Sturmfluthöhen auswirken können. Bevor mögliche künftige Änderungen durch den vom Menschen verursachten Klimawandel regional genauer abgeschätzt werden können müssen noch viele einzelne Prozesse und Wechselwirkungen genauer verstanden werden.

Literatur

BACC author team, 2008: Assessment of Climate Change in the Baltic Sea Basin. Springer Verlag Berlin – Heidelberg; ISBN 978-3-540-72785, 473 pp

Grabemann, I. and R. Weisse, 2008: Climate change impact on extreme wave conditions in the North Sea: an ensemble study *Ocean Dynamics*, 58(3-4), 199-212, doi:10.1007/s10236-008-0141-x

Intergovernmental Panel of Climate Change(IPCC) : Climate Change 2007 - The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC

Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K.C. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, A. Leetmaa, R. Reynolds, R. Jenne and D. Joseph, 1996: The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 77, No. 3, 437-471

Matulla, C., W. Schöner, H. Alexandersson, H. von Storch, and X.L. Wang, 2008: European Storminess: Late 19th Century to Present, *Climate Dynamics* 31, 1125-130 DOI 10.1007/s00382-007-0333-y

Pielke, Jr., R.A., J. Gratz, C.W. Landsea, D. Collins, M. Saunders, and R. Musulin, 2008. Normalized Hurricane Damages in the United States: 1900-2005. *Natural Hazards Review* , 9: 29-42

Rockel, B., and K. Woth, 2007: Future changes in near surface wind extremes over Europe from an ensemble of RCM simulations. *Climate Change*, 10.1007/s10584-006-9227-y

Vellinga, P., C. Katsman, A. Sterl, J. Beersma (ed.), 2008: Onderzoek naar bovengrensscenario's voor klimaatverandering voor overstromingsbescherming van Nederland. Internationale wetenschappelijke beoordeling. Uitgevoerd op verzoek van de Deltacommissie, Nederland, September 2008

von Storch, H., 2007: Klimaänderungsszenarien. in: Gebhardt, H., R. Glaser, U. Radtke und P. Reuber (Hrsg.): *Geographie - Physische Geographie und Humangeographie* Spektrum Verlag, Heidelberg, ISBN-10:3-8274-1543-8, 1096pp, 253-256

von Storch, H., G. Gönnert, and M. Meine, 2008: Storm surges an option for Hamburg, Germany, to mitigate expected future aggravation of risk. *Env. Sci. Pol.* 11: 735-742 doi 10.1016/j.envsci.2008.08.003

von Storch, H., 2009: Klimaforschung und Politikberatung - zwischen Bringeschuld und Postnormalität. *Leviathan, Berliner Zeitschrift für Sozialwissenschaften* 2/2009, im Druck, DOI 10.1007/s11578-009-0015-8

Weisse, R., H. von Storch, U. Callies, A. Chrastansky, F. Feser, I. Grabemann, H. Günther, A. Plüss, T. Stoye, J. Tellkamp, J. Winterfeldt and K. Woth, 2009: Regional meteo-marine reanalyses and climate change projections: Results for Northern Europe and potentials for coastal and offshore applications, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, doi: 10.1175/2008BAMS2713.1

Zorita, E., T. Stocker and H. von Storch, 2008: How unusual is the recent series of warm years? *Geophys. Res. Lett.* 35, L24706, doi:10.1029/2008GL036228
