

Regionaler Klimawandel in Norddeutschland

Hans von Storch, Insa Meinke, Ralf Weisse und Katja Woth
Institut für Küstenforschung, GKSS Forschungszentrum¹
Geesthacht

1. Klima und Klimawandel

Wenn wir von Klima² sprechen, dann meinen wir die Statistik der Zustände in der Atmosphäre, im Ozean und in anderen Komponenten des Klimasystems, wie etwa Meereis oder dem hydrologischen System in Flusseinzugsgebieten. Wir denken also etwa an die relativen Häufigkeiten von Temperaturen oder Windgeschwindigkeiten in der Atmosphäre, an Häufigkeiten von Strömungen und Wasserständen in Küstenmeeren oder Überschwemmungen in einem Flusseinzugsgebiet. Man bestimmt die Häufigkeiten aus den Daten einer Reihe von Jahren, in der bisherigen Praxis meist 30 Jahre, aber man kann natürlich auch kürzere oder längere Zeitintervalle wählen. Macht man dies für gleitende mehrjährige Intervalle, so erscheint das Klima langsam zeitveränderlich.

”Klima” ist also keine statische Größe sondern eine variable Größe, die sich von Jahrzehnt zu Jahrzehnt, von Jahrhundert zu Jahrhundert usw. verändert. Dies geschieht aufgrund interner Dynamik im Klimasystem, d.h. spontan ohne einen spezifischen Grund, aber auch aufgrund von Veränderungen in der Sonnenleistung, in der Präsenz von vulkanischen Aerosolen in der Atmosphäre oder veränderten geologischen Bedingungen. Neuerdings tritt ein weiterer Faktor hinzu, nämlich der Einfluss des Menschen durch die Freisetzung von strahlungsaktiven Substanzen in die Atmosphäre, vor allem Treibhausgasen wie Kohlendioxid.

Tatsächlich hat sich das globale Klima seit der Mitte des 19. Jahrhunderts um ca. 0.7 Grad erwärmt, mit den stärksten Erwärmungen in den vergangenen 3 Jahrzehnten. Die „global gemittelte Temperatur“, abgeleitet aus Thermometermessungen, liegt seit 126 Jahren vor; in den letzten 16 Jahren lagen dabei die 12 wärmsten Jahre. Die Wahrscheinlichkeit für ein solches Ereignis ist, wenn keine systematische Erwärmung vorliegt, kleiner als ein Promille. Es ist also äußerst unwahrscheinlich, dass die jüngste Erwärmung Ausdruck normaler Klimawaschwankungen ist. Der 3. Sachstandsbericht des „Intergovernmental Panel on

¹ Das Institut für Küstenforschung des GKSS Forschungszentrums nimmt sich an u.a. der Beschreibung und Bewertung von gegenwärtigem Klima und Klimawandel im Küstenraum sowie die Ableitung von Szenarien des möglichen zukünftigen Klimawandels im Küstenraum. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf windbezogenen Aspekten, also Windkraft, Sturmfluten und Seegang. Dabei sind Nord- und Ostsee von besonderem Interesse. Außerdem werden derzeit erste Anstrengungen unternommen für entsprechende Aussagen über Veränderungen und Perspektiven im ostasiatischen Raum.

http://www.gkss.de/pages.php?page=k_index.html&language=d&version=g

² Eine ausführlichere Darstellung der Aspekte des Klimas, der Klimavariabilität und der Klimamodellierung bietet das Lehrbuch von Storch, H., S. Güss und M. Heimann, 1999: *Das Klimasystem und seine Modellierung. Eine Einführung.* Springer Verlag ISBN 3-540-65830-0, 255 pp

Climate Change“ (IPCC) findet einen breiten Konsensus in der Klimawissenschaft, dass ca. 2/3 der Erwärmung seit der vorindustriellen Zeit bis heute menschengemacht sei und nur 1/3 natürlichen Ursprungs.

Es ist plausibel, dass auch die meisten regionalen Temperaturänderungen so zu erklären sind, wie etwa der Anstieg der Jahresmitteltemperatur in Dänemark von ca. 7 Grad auf fast 8.5 Grad innerhalb der vergangenen 140 Jahre.

Es ist aber keinesfalls so, dass deshalb auch Änderungen in allen anderen Größen ebenfalls zu 2/3 menschengemacht seien. Insbesondere im Falle unserer „heimischen“ Stürme ist bisher keine Änderung auszumachen, die über die historischen belegten Schwankungen, die nichts mit menschlicher Aktivität zu tun haben, hinausgehen. Dies belegen Zeitserien von täglichen Barometermessungen, die teilweise bis zu Napoleons Zeiten zurückgehen (Abbildung 1). Leider behaupten Medien und interessengeleitete Gruppen immer wieder Gegenteiliges, was in der Öffentlichkeit gut ankommt, da es von der kulturell bedingten Wahrnehmung eines sich verschlechternden Klimas gestützt wird.

2. Szenarien

Unsere Klimamodelle³ können das gegenwärtige Klima, die historischen Klimaschwankungen und die geologische Vergangenheit einigermaßen gut darstellen, sofern man die „externen“ Randbedingungen vorgibt, also die Sonnenleistung, die atmosphärische Konzentration von Treibhausgasen etc. Diese Simulationen beschreiben das Klima, also die Statistik des Wetters in Atmosphäre, Ozean etc, mit zumeist befriedigender Zuverlässigkeit, die aber mit kleiner werdenden räumlichen Abmessungen geringer wird. Eine Aussage über die global gemittelte Temperatur zu erzielen in so einem Modell ist wesentlich einfacher als eine Aussage über den Niederschlag in Hessen. Der Erfolg nimmt weiter ab, wenn es nicht mehr um Mittelwerte geht sondern über Variabilität oder gar seltene Ereignisse, etwa Starkniederschlag oder heftige Windstürme. Die Situation hat sich aber in den vergangenen Jahren deutlich verbessert, seit dem so genannte Regionalmodelle besser mit räumlichen Details umgehen können.

Aufgrund dieser Möglichkeit einer einigermaßen realistischen Beschreibung der Gegenwart und Vergangenheit glaubt die Klimawissenschaft, dass solche Modelle auch qualifizierte Aussagen über mögliche Zukünfte machen können, sofern es denn gelingt robuste Abschätzungen über die antreibenden Faktoren zu konstruieren, also vor allem zukünftige atmosphärische Konzentrationen von Treibhausgasen.

Ein wesentliches Problem ist die Abschätzung zukünftiger Freisetzungen von strahlungsaktiven Substanzen – denn diese Freisetzung hängt von sozio-ökonomischen Faktoren ab, die nicht alle wirklich vorhersagbar sind. Daher werden diese Entwicklungen in

³ Klimamodelle sind keine statistischen Modelle, in denen eine Reihe von (Regressions-) Parametern so eingestellt werden, dass gewissen Beobachtungen reproduziert werden. Dies wird auch von naturwissenschaftlich sehr gebildeten Laien oft missverstanden. Vielmehr handelt es sich um dynamische Modelle, in denen die Änderung von Zustandsgleichungen über physikalisch motivierte Differentialgleichungen beschrieben werden. Dabei gibt es tatsächlich eine Reihe von Parametern, die in gewissen plausiblen Grenzen frei sind. Dies sind aber verhältnismäßig wenige Parameter, so dass der Erfolg der Klimamodelle komplexe Sachverhalte korrekt nachzuempfinden nicht als Ergebnis eines Parametertuning verstanden werden darf.

der Form von Szenarien antizipiert. Dies sind mögliche, plausible, in sich konsistente aber nicht immer sehr wahrscheinliche Entwicklungen. So erhält man eine Reihe alternativer Entwicklungen. Dieses Vorgehen erlaubt es abzuschätzen, welche Bandbreite an Folgen möglich und plausibel erscheinen, um abzuschätzen, wie stark das Gegensteuern sein sollte und welcher Anpassungsdruck sich ergeben kann.

Solche Szenarien werden von wirtschaftswissenschaftlichen Gruppen angeboten. Dabei werden Aspekte wie Bevölkerungsentwicklung, Globalisierung und Innovationsgrad variiert – aber alle gehen von einem Anwachsen der klimarelevanten Gase in der Atmosphäre aus.

Eine Reihe von Emissionsszenarien sind im „IPCC Special Report on Emissions Scenarios“ (SRES) veröffentlicht worden (Abbildung 2). Neben Veränderungen in den Emissionen beschreiben sie auch mögliche Entwicklungen für zukünftige Landnutzung. Vier Gruppen von Szenarien werden ausgeführt, 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 Wirtschaftl und Umwelt im Vordergrund stehen.

Diesen Szenarien liegen detaillierte „Storyboards“ zugrunde, wie z.B. in A1 Erwartungen, dass marktbasierter Lösungen verfolgt werden, und dass private Haushalte auf hohe Sparleistungen und gute Ausbildung abzielen. Ein anderes Beispiel aus der B2-Gruppe 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 SRES Szenarien für die Emission von Kohlendioxid (in Gigatonnen Kohlenstoff) als wesentlichem Repräsentanten der Treibhausgase und von Schwefeldioxid (in Megatonnen Schwefel) als Repräsentanten für anthropogene Aerosole. Das pessimistische, aber durchaus plausible Szenario A1F1 beschreibt einen Zuwachs auf etwa das Dreifache der vorindustriellen Konzentration von Treibhausgasen zum Ende des 21. Jahrhunderts, während das optimistischere aber ebenso plausible Szenario B1 eine Erhöhung auf fast das Doppelte beschreibt (siehe Abbildung 2).

Die eben skizzierten Emissionsszenarien werden umgerechnet in erwartete atmosphärische Konzentrationen (Abbildung 2). Darauf basierend rechnen globale Klimamodelle ohne weitere Bereitstellung von Beobachtungsdaten eine oft hundertjährige Folge von z.B. stündlichem Wetter, mit einer großen Anzahl von relevanten Variablen sowohl in der Stratosphäre und der Troposphäre, aber auch in Bodennähe bzw. an der Grenzfläche Ozean/Meereis/Atmosphäre – etwa Lufttemperatur, Bodentemperatur, Meeresoberflächentemperatur, Niederschlag, Salzgehalt im Ozean, Meereisbedeckung, Windgeschwindigkeit usw.

Diesen Szenarien stetig erhöhter Treibhauskonzentrationen ist gemein, dass alle Klimamodelle aus ihnen eine generelle Erhöhung der Temperatur und der Wasserstände ableiten (Abbildung 2). Da diese Aussagen – Erhöhung der Temperatur und Wasserstand –

unabhängig vom verwendeten Emissionsszenario sind, werden sie zur Vorhersage, während die Intensität dieser Erhöhung Szenarien, also plausible alternative Möglichkeiten, bleiben.

Mit regionalen Klimamodellen sind diverse globale Klimaänderungssimulationen für Europa regionalisiert worden. Dabei stellte sich heraus, dass bei gleichem globalem Antriebsmodell die verschiedenen Regionalmodelle viele Aspekte einer zukünftigen Entwicklung ähnlich beschreiben. Allen Simulationen ist gemein, dass es deutlich wärmer wird; es zeichnet sich auch ab, dass die statistischen Verteilungen, etwa von winterlichen Starkwindgeschwindigkeiten über der Nordsee oder sommerlichen Starkniederschlägen in Zentraleuropa breiter werden. Abbildung 3 zeigt beispielhaft erwartete Veränderungen im Szenario A2 für den Zeitraum 2070-2100 im Vergleich zu 1960-1990 für Starkniederschlag in Europa und Starkwind im Bereich der Nordsee.

Demnach kann man für den Starkwind in der Nordsee zum Ende des Jahrhunderts mit einer Verstärkung der Windgeschwindigkeiten von bis zu 10% rechnen. Wenn man einen linearen Anstieg dieser Größe über die Zeit annimmt, was zu einer anfänglichen Überschätzung des Effekts führt, dann haben wir einen Anstieg von knapp 1% der Geschwindigkeiten von Starkwinden pro Jahrzehnt, also ein derzeit sehr schwaches Signal, das jenseits der Nachweisgrenze liegt. Demnach ist es stimmig, wenn wir derzeit kein Klimaänderungssignal im Wind finden können.

3. Winde, Sturmfluten, Temperaturen und Niederschlag in den Schleswig-Holstein, Hamburg und Niedersachsen

Aus den simulierten Wetterabläufen in den Szenarien (A2 und B2) können wir auch abschätzen, wie sich Temperaturen, Niederschläge und Winde in Norddeutschland ändern könnten. Eine feinere Auflösung, in der etwa zwischen Kiel und Bremen unterschieden werden könnte, ist nicht sinnvoll. Auch sind alle Aussagen mit einer gehörigen Portion Vorbehalt zu verwenden – es handelt sich eben um Szenarien, also mögliche, plausible Zukünfte und nicht um Vorhersagen. Dieser grundsätzliche Vorbehalt geht oft bei der öffentlichen Kommunikation von Resultaten der Klimaforschung verloren. Wir geben auch Unschärfen an, die die Bandbreite darstellen, die durch die Verwendung verschiedener sozio-ökonomischer Szenarien (also: Freisetzung von Treibhausgasen) und die Verwendung verschiedener Klimamodelle entsteht.

Abbildung 4 gibt die möglichen Veränderungen für Winter und Sommer und für die Zeithorizonte 2030 und 2085 in Norddeutschland an. Demnach dürfen wir erwarten, dass die Temperaturen, sowohl im Tagesmittel, im Tagesminimum und im Tagesmaximum um ca. 1 Grad ansteigen können bis 2030 im Vergleich zum Ende des 20. Jahrhunderts. Ein Anstieg bis 3 Grad im Winter bzw. ca. 3.5 Grad im Sommer erscheint für den Zeithorizont 2085 möglich. Die Winter werden diesen Szenarien zufolge generell feuchter, mit einem Zuwachs der monatlichen Niederschlagssummen von 10 mm/Monat in 2030 und ca. 30 mm/Monat in 2085; für den Sommer deutet sich ein trockeneres Klima an mit Verminderungen von 6 mm/Monat in 2030 bzw. 20 mm/Monat in 2085. In allen Szenarien nehmen die Windgeschwindigkeiten im Sommer geringfügig ab; im Winter ist ein Anstieg von ca. 10% plausibel bis zum Ende des 21. Jahrhunderts.

Die durch den Einsatz verschiedener Szenarien und Modelle verursachte Ungenauigkeit ist erheblich, aber sie ändert nicht das Vorzeichen. Tatsächlich ist es durchaus möglich, dass die

Unsicherheiten unterschätzt sind, da nicht alle Unabwägbarkeiten bei der Bewertung berücksichtigt werden können.

Man kann nun die simulierten Winde, die in 6-stündlicher Folge vorliegen, auch verwenden, um Sturmfluten zu simulieren, beispielsweise längs der deutschen Nordseeküste. Dies ist mit dem angesprochenen regionalen Wind- und Luftdruckszenarien geschehen. So ergeben sich direkt Abschätzungen für Cuxhaven. Ein weiterer „Lokalisierungs“-Schritt, diesmal mit einem statistischen Modell, erlaubt auch Angaben für den Pegel St. Pauli. Die Ergebnisse sind wiederum für die beiden Zeithorizonte 2030 und 2085 in Abbildung 5 gezeigt mitsamt der eben schon diskutierten Ungenauigkeit. Demnach ist ein Anstieg von bis zu 10 bis 20 cm für Cuxhaven und St. Pauli für 2030 im Rahmen des A2-Szenarios plausibel; für 2085 ergeben sich wesentlich höhere Zahlen, nämlich 50 bis 60 cm für Cuxhaven bzw. 50 bis 80 cm für St. Pauli. Diese Zahlen beinhalten sowohl den Anteil aufgrund veränderter Sturmaktivität als auch den Anstieg des mittleren Wasserstandes durch thermische Ausdehnung des Wassers. Sie sind verbunden mit einer merklichen Unsicherheit, die in 2030 bis ± 20 cm und in 2085 ± 50 cm ausmachen kann.

Zur Sicherstellung des Küstenschutzes auf dem bisherigen Niveau ist es daher für die nähere Zukunft ausreichend, die Entwicklung genau zu beobachten. Die Verantwortungsträger sind aber schon jetzt gefordert, sich mit den Szenarien für die Zeit gegen Ende des Jahrhunderts auseinanderzusetzen und Perspektiven für geeignete Gegenmaßnahmen und Anpassungsstrategien zu entwickeln.

4. Folgerungen

Kurz zusammengefasst ergeben sich die folgenden wesentlichen Punkte für den regionalen Klimawandel in Norddeutschland, wie sie der heutige Wissensstand nahe legt:

1. Die Folgen der stetig sich erhöhenden Treibhausgaskonzentrationen auf das Klima in der Welt und auch in Norddeutschland lassen sich mit modernen Klimamodellen abschätzen.
2. Jede Aussage über die Zukunft ist unsicher, vor allem auch deshalb, weil die zukünftige Entwicklung des Klimas auch gerade von der sozialen und ökonomischen Entwicklung jenseits der Grenzen Norddeutschlands abhängt.
3. Es ist zu erwarten, dass der derzeitige Erwärmungstrend sich in der Zukunft fortsetzt, mit Temperaturerhöhungen um 1 Grad (relativ zu 1960-90) bis 2030 und um etwas mehr als 3 Grad bis 2085. Niederschläge im Sommer werden in der Summe geringer, im Winter höher; ähnlich verhält es sich mit hohen Windgeschwindigkeiten.
4. Die derzeitigen Änderungen in Niederschlag und Wind, die mit dem anthropogenen Klimaeffekt zusammenhängen, sind derzeit vernachlässigbar im Vergleich zu den natürlichen Schwankungen. Die beobachtete Erwärmung enthält vermutlich einen signifikanten menschgemachten Beitrag.
5. Der anthropogene Klimawandel wird sich im kommenden Jahrhundert auch in Norddeutschland immer deutlicher entfalten. Diesen Prozess mit dem Wort „Klimakatastrophe“ zu belegen, ist nicht hilfreich.

6. Weltweite Verminderungen der Emission von Treibhausgasen in die Atmosphäre sind geboten, um den Umfang der menschgemachten Klimaänderungen zu begrenzen. Völlig vermeiden werden diese sich aber nicht mehr lassen.
7. Gleichzeitig wächst die Notwendigkeit einer besseren Anpassung an die Gefahren des Klimas, heute und in Zukunft. Bei der Planung besserer Anpassung ist zu berücksichtigen, dass sich parallel zum Klima auch viele andere Dinge ändern, im sozialen wie im wirtschaftlichen Bereich, in den gesellschaftlichen Werten sowie in den technischen Möglichkeiten.

5. Ausblick: „CoastDat“

Ein Problem bei der Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel ist die Tatsache, dass es bisher kein Testlabor gibt, in dem die Wirksamkeit solcher Maßnahmen unter quasi-realistischen Bedingungen getestet werden kann. Zur Bewertung des vollen Spektrums der Auswirkungen einer Maßnahme gehört eben nicht nur die Betrachtung einzelner (extremer) Fallbeispiele, sondern eine langfristige Betrachtung, die eine ebenso langfristige Bewertung ermöglicht.

Am Institut für Küstenforschung am GKSS Forschungszentrum Geesthacht ist mit dem Projekt coastDat ein erster Schritt gegangen worden, ein solches Testlabor zumindest für die Küstenregionen und Randmeere zu schaffen und zur Verfügung zu stellen⁴. Das Testlabor besteht aus einem so homogen wie möglich gestalteten Datensatz, der die vergangenen Änderungen z.B. im Wind-, Sturmflut- und Seegangsklima beschreibt und der für die Küstenregionen in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung für den Zeitraum der letzten etwa 50 Jahre erstellt wurde. Weiterhin werden Parameter wie z.B. Strömungen berechnet, mit deren Hilfe beispielsweise Auswirkungen angenommener Ölunfälle zu beliebigen Wetterlagen abgeschätzt und verschiedene alternative Bekämpfungsstrategien getestet werden können. Andere Anwendungen umfassen die Beurteilung von Seegang als Kriterium für die Sicherheit im Seeverkehr, die Auswirkungen von Umwelteinflüssen auf Schiffsentwürfe und Offshore Windparks, oder die küstennahe Modellierung von Seegang und Sturmfluten.

Neben der Rekonstruktion vergangener Bedingungen des Küstenklimas stellt coastDat ebenfalls Szenarien über mögliche zukünftige Entwicklungen zur Verfügung. Damit ist es möglich, Aussagen über die Veränderlichkeit des Küstenklimas in der Vergangenheit zu treffen und abzuschätzen, inwieweit mögliche zukünftige Änderungen über das bisher beobachtete Maß der Variabilität hinausreichen und welche Auswirkungen Anpassungsmaßnahmen in einem zukünftigen Klima haben würden.

⁴ Mehr Information findet man auf www.coastdat.de

6. Ausblick: “Norddeutsches Büro für Klimawandel”

Das Norddeutsche Regionalbüro für Klimawandel⁵ ist eine Einrichtung des Instituts für Küstenforschung der GKSS. Die Aufgaben des Regionalbüros haben mehrere Schwerpunkte. Es wird 1) eine Plattform geschaffen, auf der interessierte Personengruppen mit Klimaforschung in Norddeutschland in Wechselwirkung treten können. Aus dieser Kommunikation heraus werden 2) neue wissenschaftliche Fragestellungen an die Klimaforschung abgeleitet, deren Beantwortung dazu dient 3) Informationslücken zwischen Wissenschaft und Praxis zu schließen. Beispielsweise werden in der Fachplanung der Klimawandel und seine Folgen häufig noch zu wenig thematisiert. Begründet wird dies hauptsächlich durch den fehlenden Überblick bezüglich der regionalen Ausprägung des Klimawandels und dessen Folgen. Aufgrund der naturräumlichen Gegebenheiten Norddeutschlands ergibt sich ein thematischer Fokus im Hinblick auf die Entwicklung von Sturmfluten und Seegang in Nord- und Ostsee und -als deren Ursache- die Entwicklung von Stürmen im Klimawandel. Die Forschungsergebnisse aus diesen Bereichen können planerischen Maßnahmen im Küsten- und Katastrophenschutz dienen. Zu den weiteren bereits identifizierten Interaktionsfeldern des Norddeutschen Regionalbüros für Klimawandel zählen Landwirtschaft, Tourismus, Energiewirtschaft, Fischereiwirtschaft etc., die jeweils spezifische Informationen zum Klimawandel benötigen.

Zusammenfassend tragen die Arbeiten im Norddeutschen Regionalbüro für Klimawandel dazu bei, Klimaforschung am Institut für Küstenforschung der GKSS stärker an die Bedürfnisse der Praxis anzupassen und bestehende Informationslücken zu schließen. Somit kann das Regionalbüro die Entwicklung von Strategien zur Anpassung an den Klimawandel in Norddeutschland gezielt von wissenschaftlicher Seite begleiten.

⁵ Weitere Informationen zum Norddeutschen Regionalbüro für Klimawandel unter:

<http://w3k.gkss.de/service/regionalbuero/>

Kontakt: E-Mail: klima.nord@gkss.de, Tel: 04152/87 1868 (Dr. Insa Meinke)

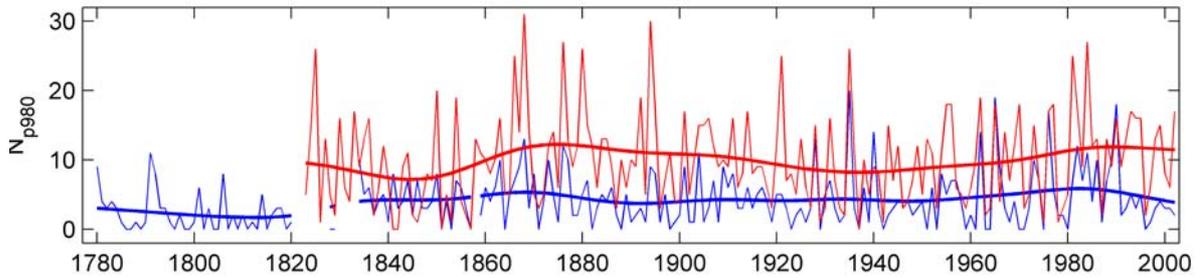


Abbildung 1: Jährliche Anzahl täglicher Barometermessungen von 980 hPa und weniger in Lund (blau) und Stockholm (rot). Die durchgezogene Linie ist eine Ausgleichlinie. Von Lars Barring und Hans von Storch, *Geophysical Research Letters*, 31, L20202

Abbildung 2: Szenarien für Emissionen von Kohlendioxid (als Beispiel für Treibhausgase, in Gigatonnen Kohlenstoff pro Jahr) sowie von Schwefeldioxid (repräsentativ für industrielle Aerosole; in Megatonnen Schwefel pro Jahr). A1, A2, B1 und B2 sind SRES Szenarien. IS92a ist ein früheres IPCC Szenario. Aus dem dritten Sachstandsbericht des IPCC (2001).

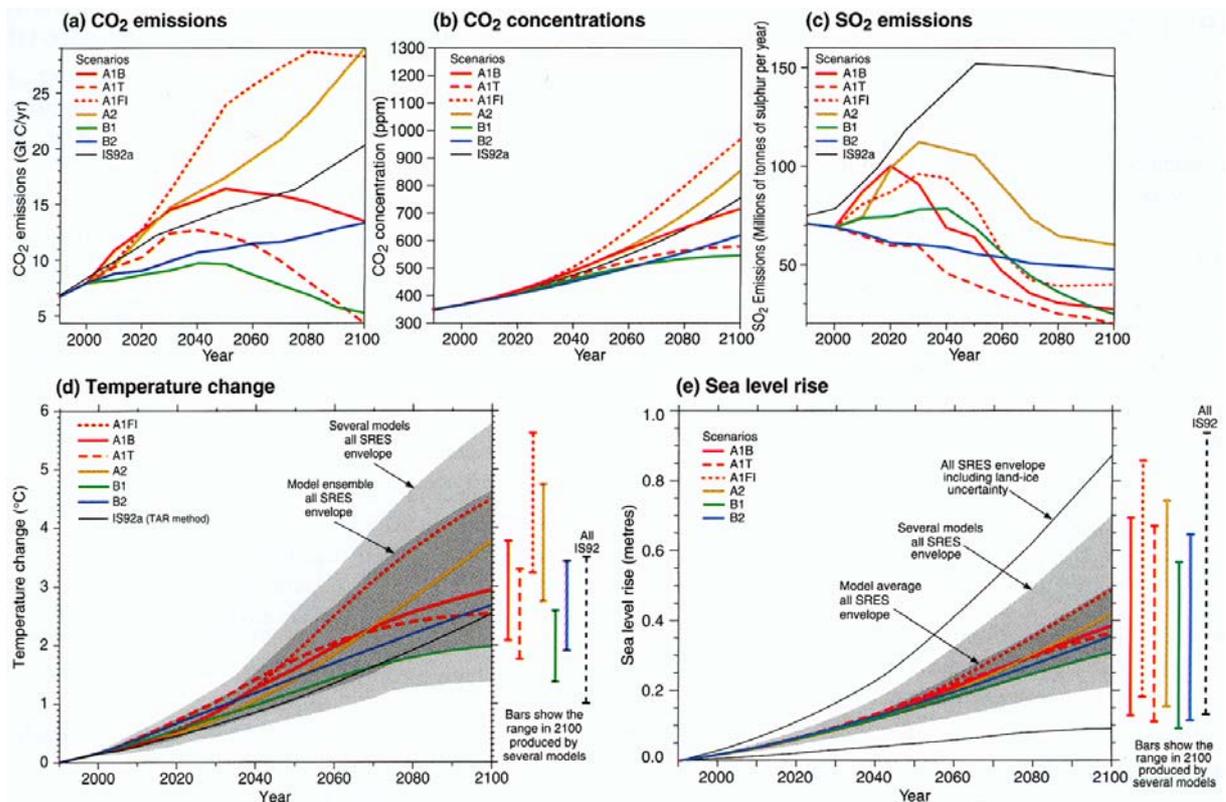
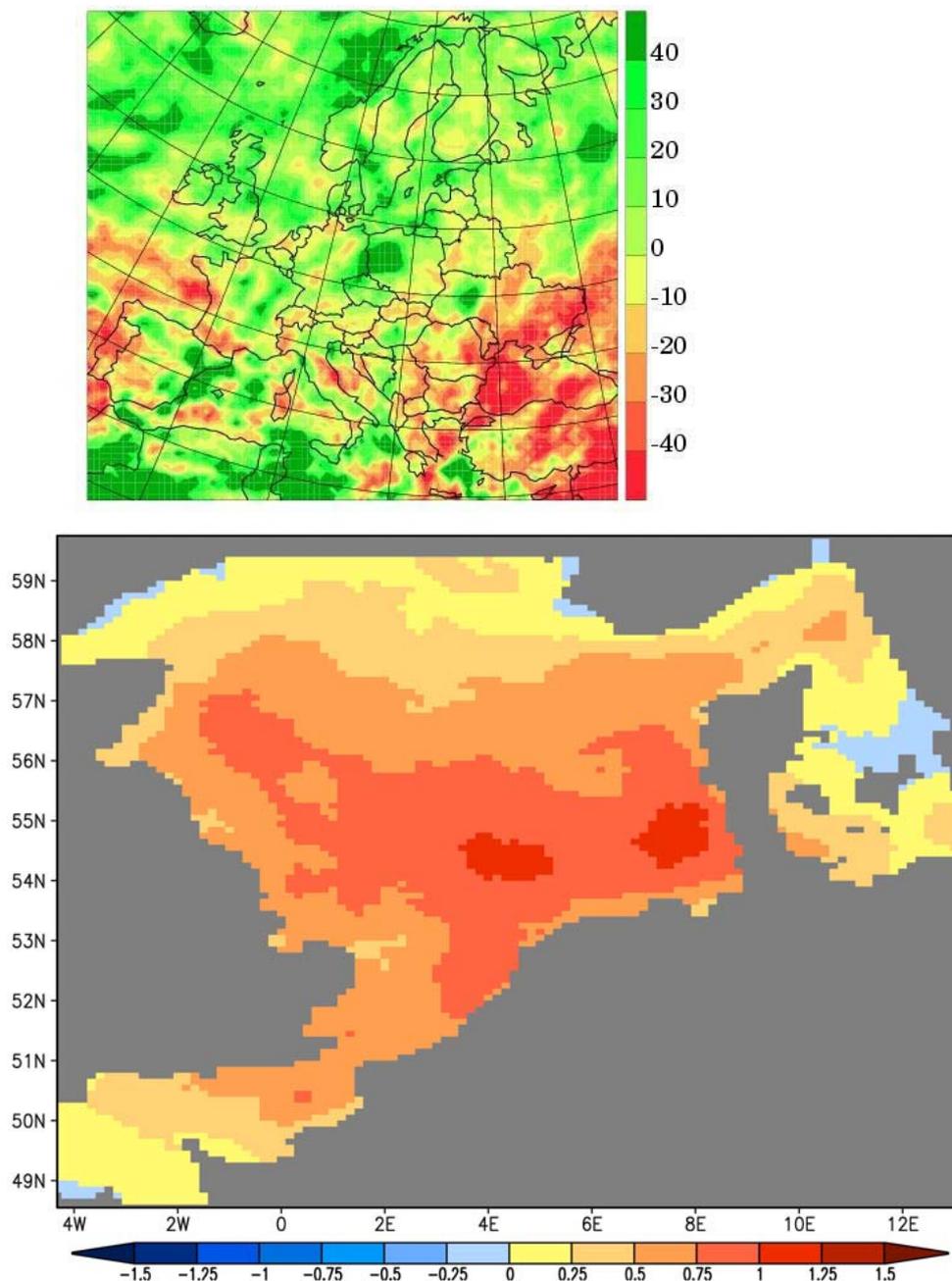


Abbildung 3: Änderung von Starkniederschlag und Starkwindereignissen im Szenario A2 zum Ende des 21ten Jahrhunderts (Änderung von 2070-2100 gegenüber 1960-1990).
Oben: 5-tägige Niederschlagssummen im Sommer in % (Christensen und Christensen, 2000, nature 421, p. 805-806)
Unten: Windgeschwindigkeiten im Winter in m/sec



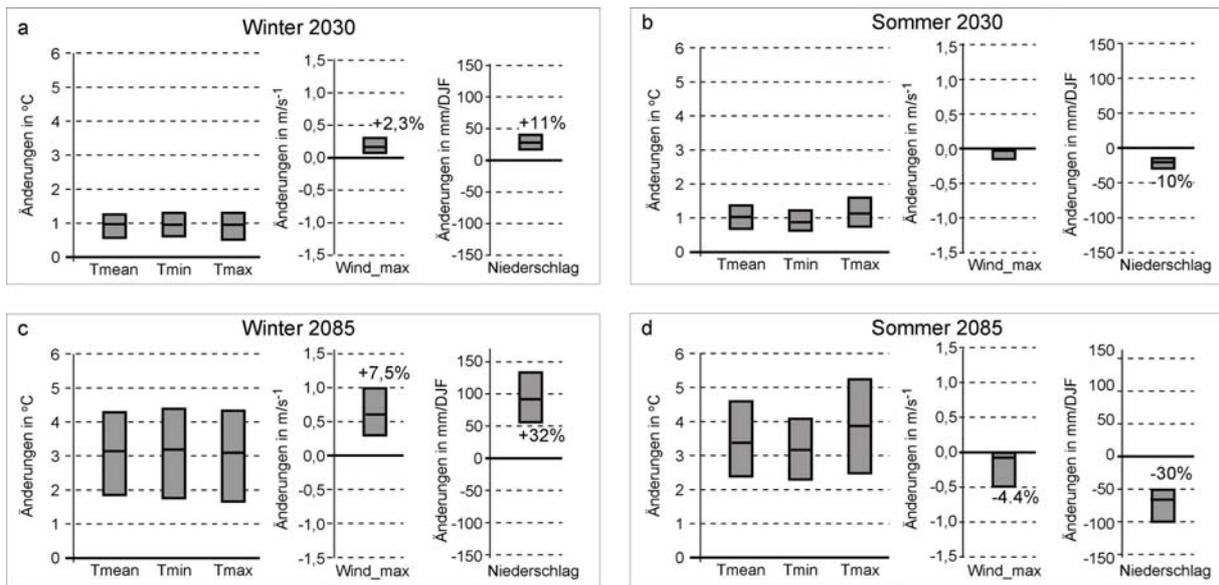


Abbildung 4: Szenarien von Änderungen der Temperatur (Tagesmittel, Tagesmaximum, Tagesminimum), der maximalen Windgeschwindigkeit und der monatlichen Summe in Niederschlägen in Norddeutschland (Mittelwerte des Gebietes Schleswig-Holstein, Hamburg und Niedersachsen). Oben: Zeithorizont 2030; Unten: Zeithorizont 2085. Rechts: Sommermonate. Links: Wintermonate.

Abbildung 4: Szenarien von Sturmfluthöhen in Cuxhaven und St Pauli in 2030 bzw. 2085.

