

Globaler Wandel, Klimawandel und regionale Anpassung¹

Hans von Storch
Institut für Küstenforschung, Helmholtz Zentrum Geesthacht
und Klimacampus Hamburg

Zusammenfassung

Die Welt ändert sich, und ein wesentlicher Treiber in diesem globalen Wandel ist der nicht-intendierte Klimawandel als Folge von vor allem der Freisetzung strahlungsaktiver Gase und Substanzen in die Atmosphäre. Für den Laien ist nicht immer erkennbar, worauf die Feststellung basiert, dass es in ungewöhnlichem Maße „wärmer“ werde, und warum dies auf den „menschgemachten Treibhauseffekt“ zurückzuführen sei - dahinter stehen die Konzepte von „Detektion“ und „Attribution“.

Der erfolgreiche statistische Detection-Nachweis, wonach derzeit Veränderungen vorstattengehen, die mit rein natürlichen Abläufen nicht vereinbar sind, und das Attribution-Plausibilitätsargument, dass unser bisheriges Verständnis der Wirkung verschiedener Einflussfaktoren auf das Klima zwingend auf die verstärkte Gegenwart der Treibhausgase als wesentlichen Verursacher verweist, klärt auf wissenschaftliche überzeugende Weise die Wirkungskette auf und motiviert eine „Klimaschutzpolitik“ der Verminderung der Emissionen, oder zumindest der Verminderung des Anwachsens dieser Emissionen. Auch unter sehr positiven Annahmen wird so eine Klimapolitik aber nicht weitere Klimaänderungen verhindern können, so dass das Thema der Anpassung unserer dringenden Aufmerksamkeit bedarf. Gerade regional und lokal werden sich diese Änderungen auf „das Leben“ auswirken. Um diese Auswirkung abschätzen zu können, ist Wissen über diese regionale Manifestation des menschgemachten Klimawandels erforderlich; es sind Reaktionsoptionen zu entwickeln, um mit diesen regionalen und lokalen Herausforderungen umgehen zu können. Für diesen Zweck sind Regionale Klimageservices zu entwickeln.

1. Detektion und Attribution

Die Welt verändert sich – in vielerlei Hinsicht. So beschreiben Steffen et al. (2005) massive und zuletzt beschleunigte Veränderungen etwa bei der Kanalisation von Flüssen, bei der Verwendung von Kunstdünger und von Papier, der Umfang der Telekommunikation, die Anzahl der Kraftwagen, der Umfang des internationalen Tourismus, die Fläche von landwirtschaftlich genutzter Fläche bzw. dem Verlust an tropischem Regenwald, die Gesamtzahl der Bevölkerung oder auch die Anzahl von McDonald's Restaurants. Gleichzeitig steigt die Temperatur an – wie bei vielen der eben genannten Aspekten des menschlichen Lebens und Wirkens: in den letzten Jahrzehnten beschleunigt (s. Abbildung 1).

Im Falle etwa des Papierverbrauchs wissen wir, dass die derzeitige Entwicklung neuartig ist, einfach weil in früheren Jahrhunderten nur sehr wenig bis gar kein Papier verwendet wurde. Wir wissen auch, was hinter dem erhöhten Papierverbrauch steht – nämlich die Nutzung durch den Menschen.

¹ Vortrag beim Fachsymposium „Wasserbezogene Anpassungsmaßnahmen an Landschafts- und Klimawandel in unterschiedlichen Flusseinzugsgebieten und Regionen“, Großräschen, 23. Juni 2011

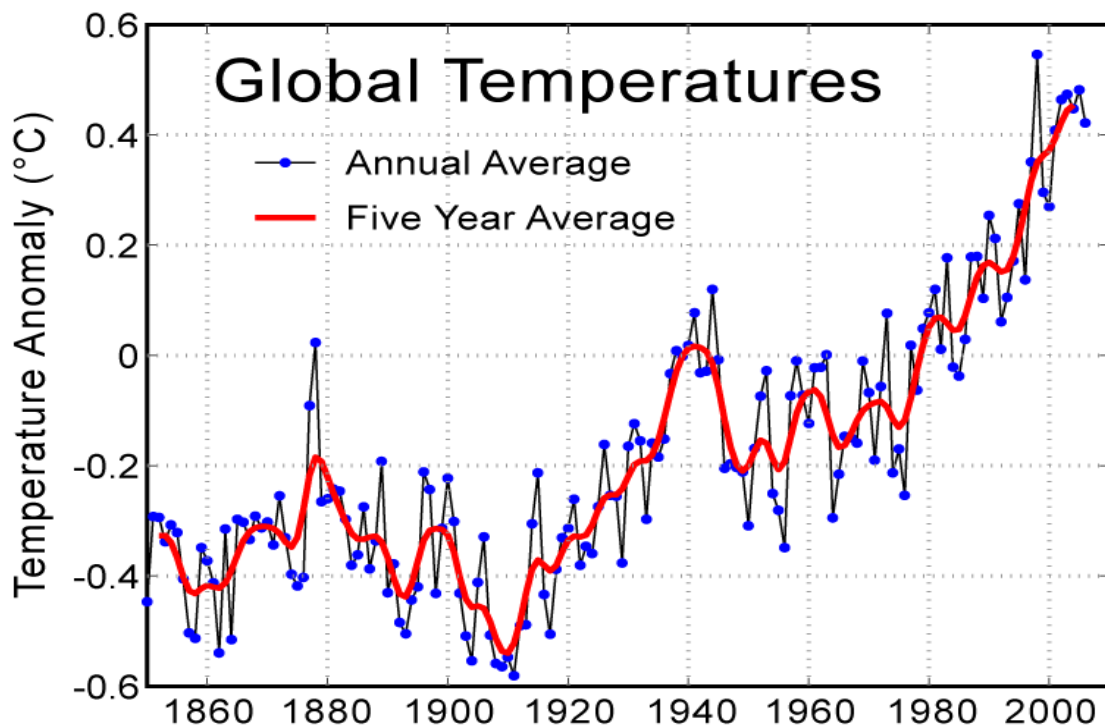


Abbildung 1: Entwicklung der global gemittelten Temperatur der Luft bis 2007. (Zoirta, pers. Mitt.)

Das gleiche Frage ist im Falle der Temperatur nicht so einfach zu beantworten: Ist die Erwärmung jenseits des „Normalen“, und falls ja – wodurch wird diese „Anomalie“ bewirkt?

„Normal“ heißt hier: liegen hier Veränderungen vor, die stärker sind als in historischen Zeiten der vielleicht letzten 2000 Jahre? Zur Feststellung dieses „jenseits des Normalen“ wird in der Regel ein statistischer Hypothesentest verwendet, der die Nullhypothese hinterfragt, ob die Erwärmung der letzten Jahrzehnte keine Veränderung „jenseits des Normalen“ sei. Wenn wir aber finden, dass der jüngste Trend kaum einer Population historischer Trends entstammen kann, dann stellen wir fest, dass wir einen Klimawandel „detektiert“ haben, womit noch nichts über die Gründe gesagt ist, außer, dass es einen Grund geben sollte, der in der Vergangenheit nicht wirksam war. Statt **Detektion** ist auch von **Nachweis** die Rede.

Da die Ergebnisse von statistischen Tests in ihrem Gewicht asymmetrisch sind – eine Ablehnung der Nullhypothese (Akzeptanz der alternativen Hypothese) ist eine definitive Aussage, die mit einer wohldefinierten Wahrscheinlichkeit einer Falschaussage verbunden ist, während eine Nicht-Ablehnung durchaus nicht als Akzeptanz der Null-Hypothese gewertet werden kann, sondern nur als Hinweis, dass die Daten eben keine Ablehnung zulassen – ist die Detektion eine recht robuste Aussage.

Dagegen ist der Zugang zur Verknüpfung mit Gründen, die **Attribution** oder auch **Zuweisung**, ein Plausibilitätsargument, das gestützt wird durch eben die Nicht-Ablehnung einer Nullhypothese, die beschreibt, dass die Veränderungen als Summe einer Reihe von gegebenen Gründen (insb. Treibhausgasen) darstellbar sind.

Der Detektion/Attributions-Zugang wurde im Wesentlichen von Hasselmann (19979, 1993 und 1998) entwickelt. Weiter unten werden wir auf die konkreten Ergebnisse bzgl. der Detektion und Attribution auf der globalen und regionalen Skala zu sprechen kommen.

Häufig versuchen fachferne Kollegen, dass Problem von Detektion und Attribution dadurch zu umschiffen, dass getestet wird, ob der **Trend signifikant** sei. Wenn dies der Fall ist, also die Null-Hypothese eines verschwindenden Trends abgewiesen wird, wird geschlossen, er sei ungewöhnlich und habe daher vermutlich etwas mit dem bekannten gleichzeitigen Anstieg der Treibhausgaskonzentrationen zu tun.

Diese Folgerung ist aber nicht richtig – denn Zurückweisung² der Nullhypothese, dass es keinen von Null verschiedenen Trend gäbe, impliziert nur, dass, wenn wir in gleicher Weise nochmals Daten erheben, diese wahrscheinlich ebenfalls einen von Null verschiedenen Trend zeigen werden.

Dies sei an dem Beispiel der jahreszeitlichen nordeuropäischen Erwärmung von April bis Juli erläutert. Dieser Trend ist „signifikant“. Aber die Signifikanz der April-Juli Erwärmung impliziert nicht, dass der Trend über den Juli hinaus etwa bis in den Oktober anhält. Tatsächlich ist in dieser Region der Oktober in der Regel kühler als der Juli.

Die Feststellung der Signifikanz von Trends kann eine Voraussetzung dafür sein, dass ein *anthropogener Trend* konstatiert wird. Behauptungen aber, dass dieser Trend sich *in Zukunft* fortsetzen wird, erfordert die Einsicht, dass die dynamische Ursache für den gegenwärtigen Trend bekannt ist und diese auch in Zukunft weiter bestehen wird.

Detektion in der globalen Temperaturverteilung

Die ersten Detektions-Nachweise entstanden – auf der Basis des Hasselmann’schen Ansatzes – in den 1990er Jahren. Damals war die Erwärmung noch relativ schwach ausgeprägt, so dass das Signal-zu-Rauschen Verhältnis schwach war. Man half sich dadurch, dass man – mit Erfolg- die Muster der beobachteten Temperaturänderungen auf jene Muster projizierte, die Klimamodelle in Szenarien-Rechnungen als plausible Zukünfte vorgaben. Getestet wurde dann der Regressionskoeffizient dieser Projektion. Dies hatte den zusätzlichen Vorteil, dass geprüft wurde, inwieweit die beobachtete räumliche Verteilung der Temperaturänderung konsistent sind mit den durch Modelle als plausibel beschriebenen Änderungen als Folge erhöhter Treibhausgas Konzentrationen. Eine Schwäche der frühen Arbeiten war der relativ geringe Umfang an Daten, die die natürliche Variabilität beschrieben; hier wurden neben Beobachtungsdaten auch Modelldaten herangezogen.

Die Arbeit von Hegerl et al (2006) hatte Pioniercharakter; den Stand der Dinge beschrieben seinerzeit Zwiers (1999) und IDAG (2005).

In der Zwischenzeit hat sich die Datenlage verbessert, sowohl weil es mehr geprüfte Daten aus historischen Zeiten gibt, aber auch weil das Signal-zu-Rauschen Verhältnis besser geworden ist. Ein relativ einfacher Zugang wurde von Rybski et al. (2006) realisiert, wonach ein ungewöhnlicher Temperaturwandel sich schon seit den 1980-90er Jahren herauschält aus dem Rauschen der natürlichen Klimaschwankungen, selbst wenn man „long memory“ voraussetzt. Für diese Untersuchung wurden keine Modelldaten verwendet, sondern nur instrumentelle und Proxy-Daten.

Ein anderer einfacher Zugang, der keine Modelldaten verwendet, wurde von Zorita et al. (2009) vorgestellt. Er beruhte auf der Beobachtung, dass in den 17 Jahren vor dem 4. IPCC Bericht in 2007 sich

² Häufig wird bei solchen Unterfangen der Test insofern falsch durchgeführt, als dass die serielle Abhängigkeit in der Zeitserie nicht berücksichtigt wird – was den Test „liberal“ macht, also mit einer zu häufigen Zurückweisung der Null-Hypothese einhergeht, sofern diese denn tatsächlich richtig ist. Vgl. Kulkarni und von Storch (1995)

die warmen Jahre häuften – im Intervall 1991-2006 finden sich die 12 wärmsten Jahre seit 1881 (126 Jahre). Daher wurde die Frage gestellt, wie wahrscheinlich ist das Ereignis $E = „in\ einer\ Serie\ von\ 126\ Zahlen\ häufen\ sich\ die\ 12\ (oder\ mehr)\ größten\ Zahlen\ in\ den\ letzten\ 17\ Stellen\ der\ Serie“$ unter der Annahme der Stationarität der Zeitserie sei. Unter Verwendung von verschiedenen Annahmen über die serielle Korrelation in den Daten (long oder short memory) ergab ein konservative Schätzung eine Wahrscheinlichkeit von nur 0.1 - 1 % - was den Autoren ausreichen klein erschien, um die Nullhypothese abzulehnen, wonach die jüngsten *globalen Temperaturtrends* im Rahmen der historischen Schwankungen verlaufen.

Ein weiterer Hinweis auf die Richtigkeit dieses Schlusses ist, dass das Ereignis E niemals in einer historischen Modellsimulation – mit solaren und vulkanischen Antrieben – während der prä-industriellen Periode 1000-1850 gefunden wurde.

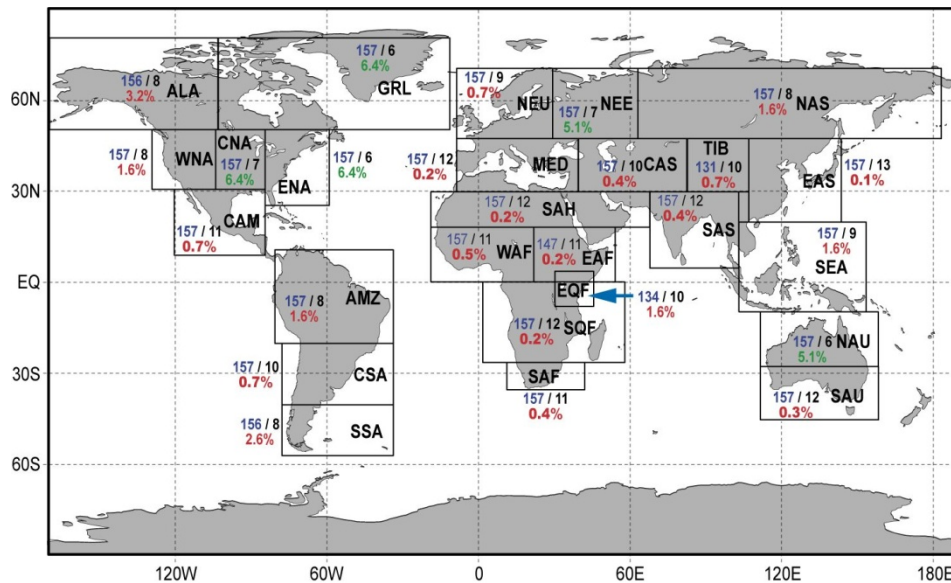


Abbildung 2: Wahrscheinlichkeit, dass in den letzten 17 Jahren m (schwarz) der vorliegenden n (blau) Jahreswerten der Temperatur in den markierten Gebieten („Giorigi-Boxen“) zu den höchsten Werten gehören. Es wird long-memory angenommen, das für die verschiedenen Boxen separat geschätzt wird, daher sind die Wahrscheinlichkeiten in SSA und ALA verschieden, obwohl m und n gleich sind. Wahrscheinlichkeiten größer 5% sind in grün angegeben, solche kleiner als 1% in fettem rot. (nach Zorita et al., 2009)

Man kann diese Übung auch mit den Verläufen subkontinentaler Temperaturen machen. „Subkontinental“ soll hier stehen für große Gebiete, die große Teile von Kontinenten wie Afrika oder Südamerika abdecken (siehe Abbildung 2; Zorita et al., 2009). Auch in diesem Falle werden die letzten 17 Jahre betrachtet, inwieweit Jahresmittelwerte zu den höchsten in der Gesamtzeitreihe gehören. Die Länge dieser Zeitreihe variiert, die Anzahl der höchsten Werte auch. Es zeigt sich, dass fast alle Gebiete mit der Annahme der Stationarität unverträglich sind (Risiko: < 5%). Wir schließen daraus, dass auch in den subkontinentalen gebieten Einflüsse am Werk sein müssen, die zu jüngsten Veränderungen geführt haben, die im Rahmen des „normalen“ unwahrscheinlich sind.

Damit gelingt auch die Detektion auf sub-kontinentalen Skalen; bisweilen gelingt dies sogar für lokale Zeitserien, die zwar viel variabler sind von Jahr zu Jahr, die aber ggfs. auch wesentlich längere Zeit abdecken.

Attribution

Die Attribution wird in der Regel mit Hilfe von Modellresultaten gestaltet (IDAG, 2005). Aus Szenarienrechnungen werden die typischen Reaktionsmuster auf spezifische Antriebe, also insbesondere erhöhte Treibhausgaskonzentration, bestimmte Konzentrationen industrieller Aerosole, oder auch vulkanische Aerosole oder Sonnenaktivität, für den derzeitigen Zeitpunkt bestimmt. Dann wird eine Regression der beobachteten Temperaturverteilungen auf diese Muster durchgeführt, und die dabei entstehenden Regressionskoeffizienten werden getestet, ob sie mit dem Wert 1 unverträglich sind. Sind sie verträglich, dann wird die Hypothese akzeptiert³, dass die beobachtete Änderung verursacht wurde durch die Beiträge, deren Regressionskoeffizient statistisch konsistent mit der 1 ist.

Offensichtlich ist das Argument zugunsten einer Attribution schwächer als das Detektionsargument; insbesondere ist es möglich, dass wesentliche Antriebe gar nicht in die Analyse eingehen, und daher das Signal fälschlich anderen Antrieben zugewiesen werden. Auch muss man sich auf Modelle und deren Reaktionsmuster verlassen; zieht man mehrere heran, verbreitert sich das Intervall der akzeptablen Regressionskoeffizienten. Wir haben es hier also mit einem Plausibilitätsargument zu tun, dass aber in einer recht komplexen Weise einhergeht, und so eine kritische Diskussion und Hinterfragung nur aus fachnaher Perspektive möglich ist

Viel einfacher ist der Zugang, der im IPCC Report verwendet wurde, nämlich die Prüfung, inwieweit

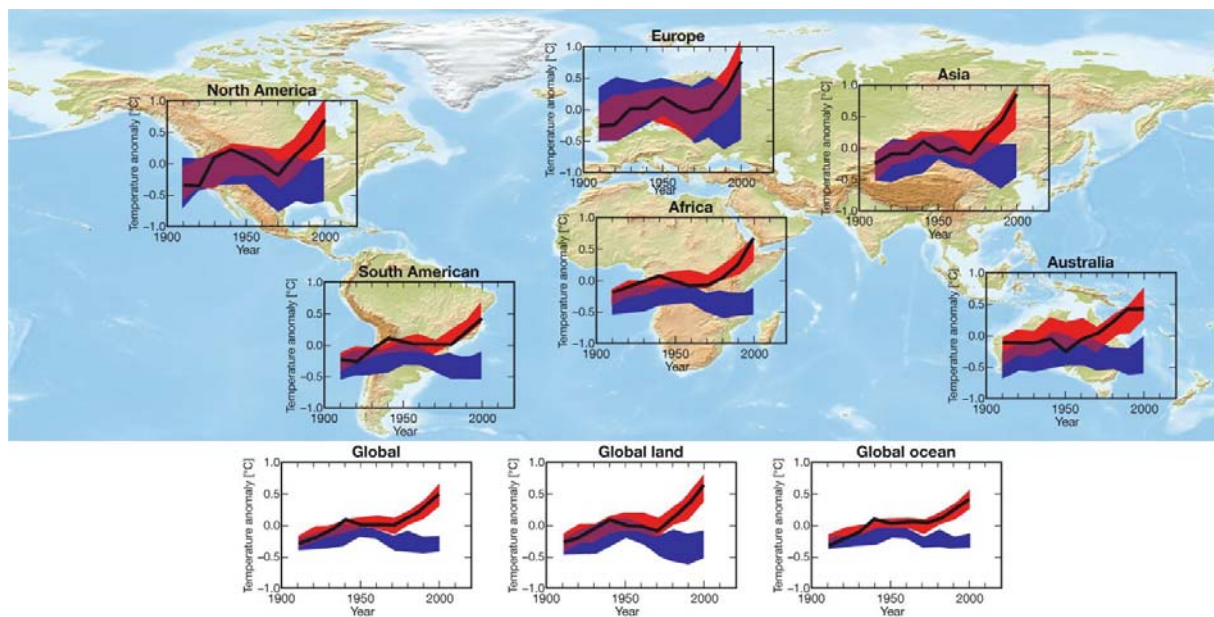


Abbildung 3: Beobachtete Temperaturentwicklung auf dem Globus und verschiedenen Gebieten (schwarz), sowie Ensembles der Temperaturentwicklung mit Modellen, die entweder nur natürliche Faktoren (blau) oder nur anthropogene Faktoren (rot) berücksichtigen. (IPCC, 2007)

Klimamodellsimulationen den beobachteten Temperaturverlauf (etwa Abbildung 1) nachempfinden können, wenn entweder nur natürliche Antriebe oder auch anthropogene Antriebe wirksam sind. Dies zeigt Abbildung 3 – wobei das blaue Band ein Ensemble von Temperaturentwicklungen zeigt mit

³ Dieser Ausdruck „akzeptieren“ ist unglücklich, wengleich leider üblich. Wie vorher erläutert handelt es sich nur um die Feststellung, dass die Befunde, die gegen die Nullhypothese sprechen, zu schwach sind, um diese abzulehnen; dies kann nicht als positive Beweis für die Richtigkeit der Nullhypothese gelten. Was bleibt ist „Wir haben keine bessere Erklärung“.

Simulationen, die nur natürlichen Antrieben ausgesetzt sind, und das rote Band jene aus einem Ensemble mit Simulationen mit natürlichen und anthropogenen Antrieben. Die schwarzen Linien zeigen die als 10-jährige Mittel gepackte beobachtete Temperaturentwicklung. Offenbar können die Modelle die Entwicklung der letzten Jahrzehnte nur darstellen, wenn anthropogene Antriebe berücksichtigt werden. Dies ist vor allem die erhöhte Konzentration von Treibhausgasen.

Demnach können wir mit unserem heutigen Wissen den zuvor als nicht im Rahmen historischer Klimaschwankungen erklärbar beschriebenen jüngsten Klimawandel *nur dadurch konsistent deuten, wenn wir die erhöhte Gegenwart von Treibhausgasen als wesentlichen treibenden Faktor betrachten.*

2. Szenarien – mögliche Zukünfte aber keine Vorhersagen⁴

Szenarien beschreiben denkbare zukünftige Entwicklungen (Schwartz 1991). Im Gegensatz zu Vorhersagen, stehen bei Szenarien nicht Eintrittswahrscheinlichkeit und Treffgenauigkeit im Vordergrund sondern es werden Faktoren und Zusammenhänge ermittelt, die künftige Entwicklungen beeinflussen können. Szenarien sind plausibel und in sich konsistent, aber nicht unbedingt wahrscheinlich. Mit Szenarien wird häufig das Ziel verfolgt, Verantwortungsträger mit möglichen zukünftigen Situationen zu konfrontieren, damit diese planbar werden. Oft ermöglicht der Einsatz von Szenarien rechtzeitige Entscheidungen, durch die künftige Entwicklungen mit unerwünschten Folgen vermieden oder die Wahrscheinlichkeit für wünschenswerte Entwicklungen erhöht werden kann.

In der Klimaforschung werden Szenarien seit dem Beginn des IPCC-Prozesses Ende der 1980er-Jahre intensiv genutzt (Houghton et al., 1990, 1992, 1995, 2001; Solomon et al., 2007). Grundlage bilden **Gesellschaftsszenarien**, in denen Bevölkerungsentwicklung, Wirtschaftswachstum, Globalisierung sowie der langfristige Umgang mit natürlichen Ressourcen und fossilen Energieträgern in unterschiedlicher Weise abgebildet werden. Aus den verschiedenen Gesellschaftsszenarien werden mögliche zukünftige Entwicklungen von anthropogenen Emissionen klimatisch wirksamer Substanzen abgeleitet. Dabei handelt es sich vor allem um Kohlendioxid, aber auch um Methan und Aerosole industriellen Ursprungs. Im nächsten Schritt wird auf Basis dieser **Emissionsszenarien** mit komplexen globalen numerischen Klimamodellen abgeschätzt, welche klimatischen Folgen die zukünftigen Emissionen haben können. Diese **globalen Klimaänderungsszenarien** geben Auskunft über die erwarteten global-skaligen Klimaänderungen, die aufgrund der jeweiligen Emissionsentwicklung plausibel erscheinen.

Regionale Details, beispielsweise für die Niederschlags- und Windverhältnisse in mitteleuropäischen Ländern, liefern sie nicht. Um diese zu erhalten, wird die Methode des „dynamischen Downscaling“ verwendet. Dabei werden für bestimmte Regionen regionale Klimamodelle mit horizontalen Gittern von 10 bis 50 km von den groß-skaligen Zirkulationsverhältnissen angetrieben, die vorher in globalen Klimamodellen simuliert wurden. So ergeben sich **regionale Klimaänderungsszenarien**. Diese beschreiben, wie das regionale Klima sich auf Skalen von etwa fünfzig, hundert oder zweihundert Kilometern entwickeln könnte. Hierin sind auch seltene und kurzzeitige Ereignisse enthalten, wie Starkniederschläge oder extreme Stürme.

Wenn die Szenarienrechnungen, unabhängig vom Emissionsszenario und vom verwendeten Modellkonfiguration, zu ähnlichen Resultaten kommen, dann sieht man diese Aussagen für recht zuverlässig an: In diesem Sinne erscheint sicher für die Zukunft die Fortsetzung der Erwärmung, weniger Meereis, höherer Meeresspiegel. Sicher ist: mehr Starkregen. Gestritten wird über Fragen, was derzeit

⁴ Teilweise wörtlich übernommen aus von Storch und I. Meinke (2011). Dort werden auch die gängigen Emissionsszenarien beschrieben.

und in Zukunft mit den tropischen Wirbelstürmen passiert, in welchem Maße die Wasservorräte der Antarktis und Grönlands abschmelzen werden.

Es wird noch oft spekuliert, dass sich alle Art von Krankheiten notwendigerweise ausbreiten werden, dass es Flüchtlingsströme und Klimakriege geben würde. Dies beruht auf der sehr einfachen und lange diskreditierten Sichtweise des klimatischen Determinismus (Stehr und von Storch, 1999), wonach nämlich nicht der Mensch solche Aspekte des sozialen Zusammenlebens bestimmen würde sondern die Natur. Immerhin hatten wir in Nordeuropa vor 300 Jahren Malaria, die seit dem ausgerottet wurde – obwohl es wärmer und nicht etwa kälter geworden ist. Hier wird aus Gründen der politischen Opportunität eine Menge Unsinn geredet.

Nachdem der menschengemachte Klimawandel als real identifiziert wurde, und die sich laufend weiter erhöhenden Konzentrationen von Treibhausgasen als Verursacher dieser Entwicklung, ist klar, dass sich die Entwicklung auch in Zukunft fortsetzen wird, und die Gesellschaft sich entscheiden muss, wie sie mit dieser Perspektive umgehen will. Mögliche gesellschaftliche Antworten auf die Herausforderung des menschengemachten Klimawandels:

- a) *Begrenzung des Klimawandels* durch Reduktion der weltweiten Emissionen von Treibhausgasen
- b) *Anpassung* an den Klimawandel, der durch Klimaschutzmaßnahmen nicht vermieden werden kann.

Dabei muss klar sein, dass eine Klimaschutzpolitik, also eine wirksame Begrenzung der Emissionen nur in Maßen möglich ist. Selbst wenn das ambitionöse Ziel der Begrenzung auf 2 Grad gelingen sollte (Geden, 2010), verbleibt ein Wandel, der etwa dem Doppelten des jetzt schon eingetretenen Klimawandels entspricht. Anpassung ist daher in jedem Falle geboten, und dies ist vor allem eine Herausforderung an Kommunen und Länder.

Abbildung 4: 30-jähriger Trend (1973-2002) der sommerlichen Temperatur im Einzugsbereich der Nordsee, abgeleitet aus Beobachtungsdaten (links). Nach einer Szenarienrechnung zu erwartender Trend. (Bhend, pers. Mitt.)

Für den Umgang mit dieser Herausforderung werden Szenarien benötigt, um die Möglichkeiten, Gefährdungen und Notwendigkeiten durch zukünftige Entwicklungen im Klima und in der Nutzung natürlicher Ressourcen und Risiken abzuschätzen. Dazu kommt es darauf an, dass die Szenarienrechnungen wirklich etwas über Zukunft aussagen. Diese Frage kann man grundsätzlich nicht wirklich beantworten, aber *ein* sinnvoller Test besteht darin, zu prüfen, ob die gegenwärtigen Veränderungen konsistent mit der von den Szenarien in Aussicht gestellten Veränderungen sind. Wir sprechen von **Konsistenzchecks** (Bhend und von Storch, 2007, 2009; Barkhordarian et al., 2011).

Im Folgenden sei dies für den Fall des Ostsee-Einzugsgebiets diskutiert (Bhend und von Storch, 2007, 2009). Abbildung 4 zeigt den 1973-2002-Trend der Temperaturänderung im Sommer (Juni, Juli und August) sowie die Erwartung eines Klimamodells, das auf erhöhte Treibhausgaskonzentrationen reagiert. Wenngleich sich die beiden Karten im Detail unterschieden, so sind sie doch in der Erwärmung im Wesentlichen ähnlich.

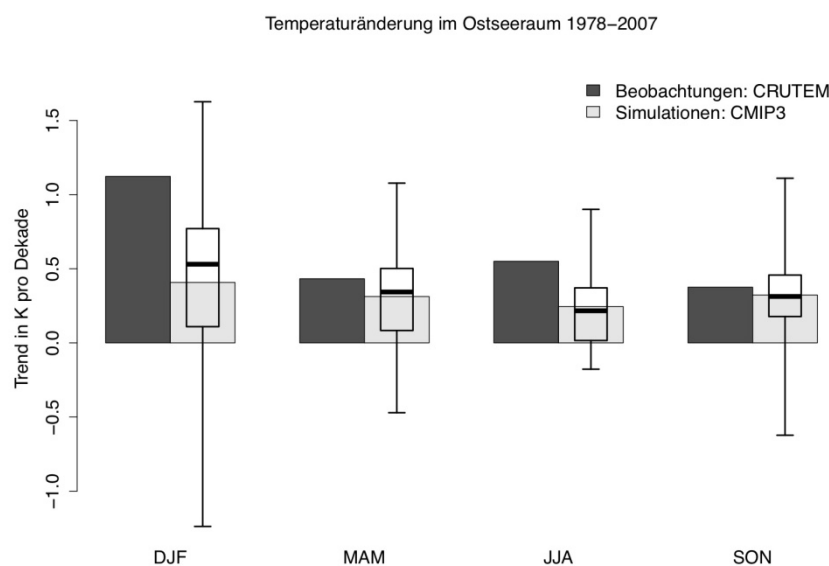


Abbildung 5. 30-jährige Trends (1978-2007) in verschiedenen Jahreszeiten im Gebietsmittel der Lufttemperatur des Ostsee-Einzugsgebiets aus Beobachtungen abgeleitet (jeweils links in schwarz), sowie Erwartungen für solche Trends aus einem Ensemble von Szenarienrechnungen (Mittel: grau, die Boxplots zeigen Minimum und Maximum (Whiskers), 25 u 75 Perzentil (Box), und Median (dicke Linie in der Box)) (Bhend, pers. Mitteilung)

Der Vergleich wird in Abbildung 5 systematischer dargestellt. Er zeigt den 1978-2007-Trend im Gebietsmittel der jahreszeitlich gemittelten Temperatur, sowie die Trends in einer Reihe von Szenarienrechnungen (der vertikale Strich deutet die Bandbreite an). In allen Jahreszeiten stimmen die Vorzeichen im Mittel überein, und die Bandbreiten in den Szenarien sind so breit, dass der beobachtete Trend problemlos innerhalb dieser Bandbreite zu liegen kommt.

Auch für die Trends in den Niederschlagssummen finden wir ein ähnliches Resultat. Die beobachteten Trends⁵ fallen in die breiten Bereiche der von den Klimamodellen vorgeschlagenen Trends. Der

⁵ Die Ausdrucksweise „beobachtete Niederschlagssummen“ täuscht über die Tatsache hinweg, dass der prozeß aus einzelnen Messungen diese Größe, also zeitliche Summen und räumliche Mittel, durchaus problematisch

gegenwärtige Wandel ist also konsistent mit der erwarteten Zukunft. Ungeachtet dessen kann man aber feststellen, dass im Winter (DJF) und Frühjahr (MAM) die derzeitigen Zuwächse deutlich größer ausfallen als die Ensemblemittel; im Sommer und Herbst aber verweisen die meisten Modellergebnisse ebenfalls auf vermehrte Niederschlagsmengen, während derzeit im Sommer (JJA) kaum eine Änderung festzustellen ist, und im Herbst (SON) gar eine deutlich Abnahme.

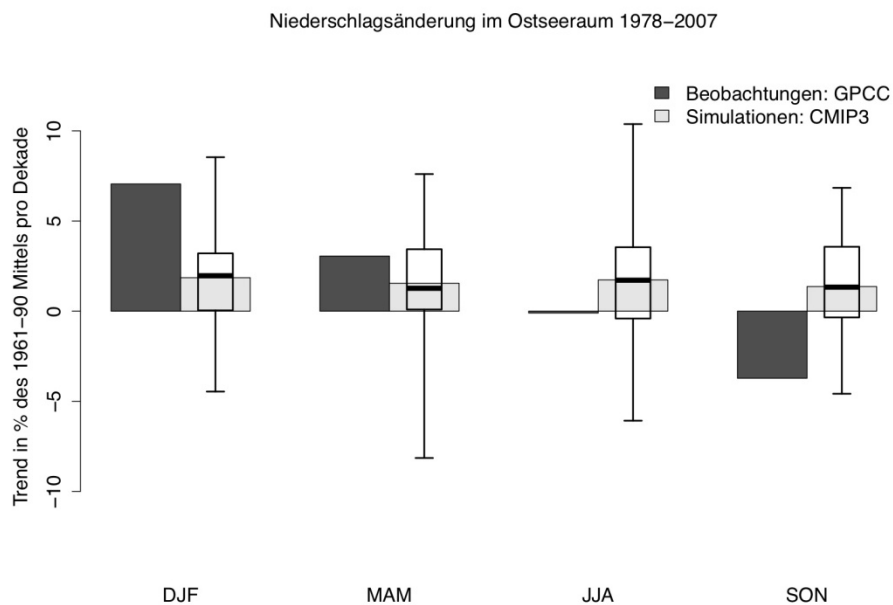


Abbildung 6: 30-jährige Trends (1978–2007) in verschiedenen Jahreszeiten im Gebietsmittel der Niederschlagssummen im Ostsee-Einzugsbiet aus Beobachtungen abgeleitet (jeweils links in schwarz), sowie Erwartungen für solche Trends aus einem Ensemble von Szenarienrechnungen (Mittel: grau; die Boxplots zeigen Minimum und Maximum (Whiskers), 25 u 75 Perzentil (Box), und Median (dicke Linie in der Box).) (Bhend, pers. Mitteilung)

Wir stellen also fest für die Trends der Gebietsmittel der Temperatur und der Niederschlagssummen im Ostsee-Einzugsgebiet:

1. Die tatsächlichen Trends 1978–2007 in der Temperatur sind konsistent mit den Szenarien des menschengemachten Klimawandels.
2. Die jüngsten Temperaturtrends sind wie die erwarteten Trends aufwärts in allen Jahreszeiten, aber die tatsächlichen Trends sind stärker als in den Szenarien. Bei den Niederschlagssummen passen die tatsächlichen Änderungen mit den meisten Szenarien nicht: entweder sind die aktuellen Änderungen deutlich größer oder haben ein umgekehrtes Vorzeichen.

3. Gesellschaftliche Wahrnehmung und Wissen

Der Nutzen der Detection und Attribution Aussage ist, dass so wissenschaftlich nachgewiesen, bzw. plausibel gemacht wird, dass

1. Klimawandel stattfindet,

ist, und verschiedene Methoden durchaus zu sehr anderen Zahlen kommen können. Dies soll hier aber nicht weiter vertieft werden.

2. genau eine plausible und konsistente Erklärung vorliegt,
3. aufgrund dieser Aussagen über viele Aspekte zukünftig möglicher Entwicklung gemacht werden können.

Das heißt nicht, dass Öffentlichkeit und Stakeholder das erforderliche praktisch relevante Wissen haben.

Der Sache nach ist es geboten, dass sich Klimaforschung austauscht mit der Gesellschaft über Bedarfe, Möglichkeiten und Maßnahmen von Klimapolitik, sowohl über Klimaschutzpolitik aber auch über Anpassungsperspektiven. Aber wie stark sind Klimawissenschaft und Öffentlichkeit wissenschaftsmässig gekoppelt?

Die Daten zur Bewertung dieser Frage sind unzureichend, und die Resultate unserer Diskussion müssen derzeit hypothetisch bleiben.

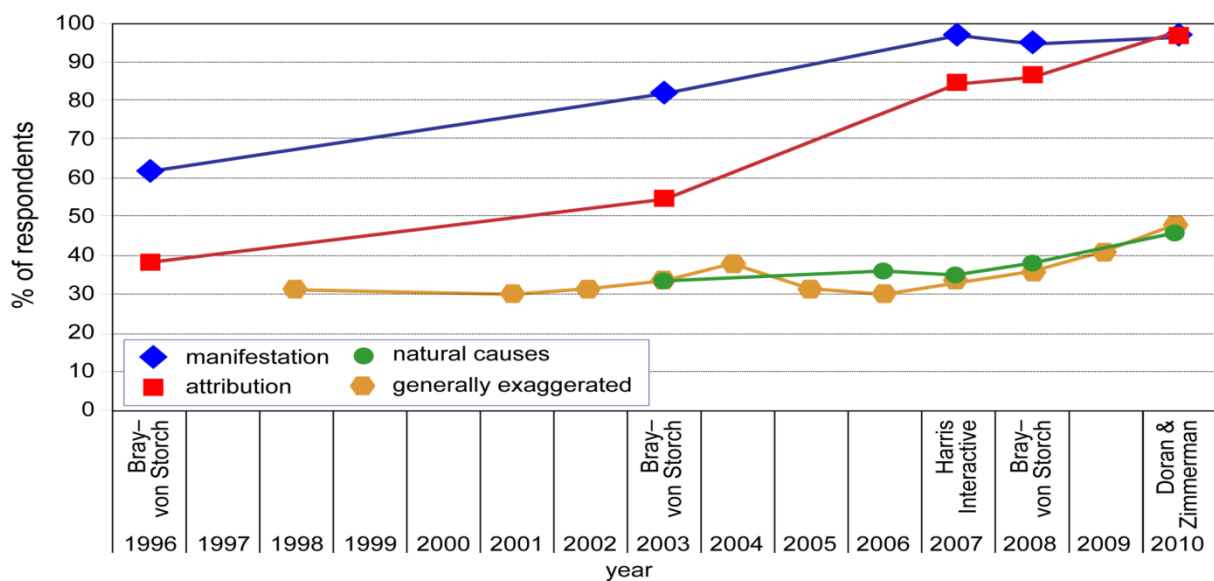


Abbildung 7: Zeitliche Entwicklung der Zustimmung unter Wissenschaftlern, dass es wirklich wärmer wird („Manifestation“, blau) und diese Erwärmung im Wesentlichen auf menschliche Faktoren zurückgeführt werden kann („Attribution“, rot) nach verschiedenen Umfragen (nach Bray, 2011), sowie Einschätzung durch US-Bürger, inwieweit vor allem natürliche Faktoren für die Erwärmung verantwortlich sind (grün) bzw. ob die Berichterstattung über das Thema in der Regel übertreibt (braun; GALLUP Umfrage, siehe Newport, 2010).

Abbildung 7 zeigt über die Zeit einen stetig zunehmenden Konsensus unter Klimawissenschaftlern (Bray, 2011) im Hinblick auf Realität der Erwärmung und der Erklärung durch Treibhausgase; auf der anderen Seite sehen wir Statistiken, die von GALLUP (Newport, 2010) unter US-Bürgern erhoben wurde, inwieweit der Grund für die Erwärmung vor allem natürliche Faktoren seien und ansonsten die Berichterstattung die Sorge über den Klimawandel überzeichne. Zumindest in den USA folgt die öffentliche Meinung nicht dem Wissensanspruch der Wissenschaft. In Deutschland haben wir so lange Reihen nicht, aber Gallup (Pugliese, A., and J. Ray, 2011) beschreibt einen Rückgang auf die Frage „How serious of a threat is global warming to you and your family?“ um 10% sowohl in den USA als auch in Westeuropa von 2007-2008 gegenüber 2010. In ähnlicher Weise fragte der Spiegel (2010) „Haben Sie persönlich Angst vor dem Klimawandel?“, und bekam 62% Zustimmung (38% Ablehnung) in 2006, aber nur noch 42% Zustimmung (58% Ablehnung) in 2010.

Es ist also zumindest eine plausible Hypothese, dass die Kommunikation von Bedarf und Wissen zwischen Wissenschaft und Klimaforschung nicht gut läuft. Den Kommunikationsstrang zwischen regionalen und lokalen Entscheidern in Gemeinden und Kreisen längs der deutschen Nordseeküste untersuchten Bray und Martinez (2011) – und fragten u.a. welche Informationsquellen verwendet werden, wenn es um Klimaanpassung geht: Fernsehen, Zeitungen, Radio, Bücher, öffentliche wissenschaftliche Vorträge, Ausstellungen und Museen, Persönlicher Kontakt zu Wissenschaftlern, Wissenschaftliche Publikationen? Die Antworten konzentrierten sich deutlich auf Fernsehen und Zeitungen, während ein Austausch mit der Wissenschaft selbst selten berichtet wurde. Man kann daraus schließen, dass wissenschaftliches Wissen erst nach einer Metamorphose in sozialen und medialen Konstruktionsprozessen (von Storch, 2009) in der Gesellschaft wirksam wird.

Für die Wissenschaft, die Gesellschaft wirksam sein will, muß dies bedeuten, dass neue Kanäle zum Austausch von Wissen, Fragen und Antworten aufzubauen sind. Wissen über *Klimadynamik*, zukünftige *Perspektiven*, *Klimawirkungen*, gesellschaftliche *Verletzlichkeit* und die Wirksamkeit von *Vermeidungs- und Anpassungsmaßnahmen*. Den Prozess der Einbettung wissenschaftlichen Wissens in gesellschaftliche Kontexte heißt *“Klima Service”* (Changnon et al., 1990; Miles et al., 2006). Wenn es um regionale Fragen geht (Bundesländer, Kreise, Gemeinden), und die Anpassung oft im Vordergrund steht, dann ist die Rede von *“regionalem Klima Service”* (von Storch und Meinke, 2008; von Storch et al., 2011).

Die wissenschaftliche Dienstleistung eines regionalen Klimateams besteht u.a.

1. Analyse der kulturellen Konstrukte, einschl. deren medialer Verstärkungen (z.B. Neverla und von Storch, 2010); hier ist das Konzept der postnormalen Wissenschaft, oder genauer: Wissenschaft in einem postnormalen Kontext von Belang (Funtowicz and Ravetz, 1985; Bray und von Storch, 1999; von Storch, 2011)
2. Erarbeitung von Reaktionsmöglichkeiten auf der lokalen und regionalen Skala – vor allem für die Anpassung aber auch für lokale Vermeidung (z.B. von Storch et al., 2008).
3. *Dialog* zwischen Entscheidern und Wissensmaklern (Meinke und von Storch, 2008; Schipper et al., 2009). Dazu wurde 2006 das Norddeutsche Klimabüro (<http://www.norddeutsches-klimabuero.de>) eingerichtet, um einen Austausch von Wissen, Fragen und Antworten zwischen Wissenschaft und *“Stakeholdern”* im Bereich des norddeutschen Klimawandels zu ermöglichen. Es werden Fragen und Bedarfe auf Seiten der *„Stakeholder“* bestimmt, und überprüft, inwieweit die wissenschaftlichen Antworten (und Fragen) verständlich und bedarfsgerecht sind. Ein wesentliches Werkzeug ist der web-basierte *„Klimaatlas“* (<http://www.norddeutscher-klimaatlas.de/>). Typische Stakeholder haben zu tun mit Küstenschutz, Landwirtschaft, off-shore Aktivitäten, Tourismus, Wassermanagement, Fischerei und Stadtplanung
4. Beschreibung des Konsens und Dissens in relevanten Klimafragen (Klima-Konsens-Reports). Im Bereich Nordeuropas sind in 2008 ein Bericht über das Wissen in Bezug auf das Ostsee-einzugsgebiet (BACC, 2008) und ein Bericht über das Wissen im Großraum Hamburg (von Storch und Claussen, 2010) erschienen.
5. Beschreibung von vergangenem, derzeitigem und zukünftig möglichem Wandel (Rekonstruktionen und Szenarien). Für Nordeuropa ist dazu der sich dynamisch entwickelnde Datensatz *“CoastDat”* (Weisse et al., 2009) entstanden. Eine Hierarchie von globalen, und regionalen Klimamodellen, und Wirkungsmodellen (etwa in Bezug auf Strömungen, Sturmwaterstände und Seegang) beschreibt im Detail den veränderlichen Klimawandel und seine Wirkung in der jüngeren Vergangenheit und in möglichen Zukünften. CoastDat enthält raum-zeitlich detaillierte Beschreibungen von vergangenen und derzeitigen Veränderungen in Nordeuropa (seit 1948) – vor allem im Hinblick auf Stürme, Windverhältnisse, Seegang, Sturmfluten, Strömungen; aber auch regionale Schadstofftransporte wie Blei

– sowie Szenarien (100 Jahre) möglicher, klimatischer Bedingungen in Nordeuropa und Nord- und Ostsee.

CoastDat wird verwendet von staatliche Stellen, insbesondere solche mit Verantwortung für Küstenschutz und regionalen Schiffsverkehr, von Firmen mit Interessen an Risiken (Schiffbau; offshore Aktivitäten) und Potentialen (Windenergie) und die Öffentlichkeit / Medien, die nach Deutung von Ereignissen und der Darstellung von Perspektiven und Optionen fragt. Bisherige Anwendungen haben abgehoben auf (vgl. Weisse et al., 2009): Schiffs-Design und –Sicherheit, Off-shore Windenergie, Interpretation von Messungen, Ölunfälle und chronische Belastungen, Umweltverschmutzung, Ozeanische Energiequellen sowie Szenarien zukünftiger Seegangs- und Sturmflut-Statistiken.

6. Direkter Austausch und Diskussion zu Themen der Klimawissenschaft und Klimapolitik mit Laien z.B. über einen Weblog (z.B. <http://klimazwiebel.blogspot.com/>).

4. Take-home

Bei der Diskussion der Klimafrage, nach der Klimadynamik, der Wirkung und geeigneter Klimapolitiken, wird bisweilen die Grundaussage vergessen festzuhalten: **Klimawandel ist real, kann mit derzeitigem Wissen nur beim Wirken der Treibhausgase erklärt werden, und verlangt unsere Aufmerksamkeit.** Es ist möglich, die Geschwindigkeit des Klimawandels in Maßen zu steuern, ein Absenken auf null (Anhalten) ist aber auf absehbare Zeit (wenige Jahrzehnte) plausiblerweise nicht erreichbar – so dass eine Anpassung an einen gewissen Klimawandel unabweisbar ist.

Diese Anpassung an den Klimawandel stellt sich gerade auch als regionale und lokale Frage dar, die Antworten von Bundesländern, Städten und Gemeinden abfordert. Dabei spielt Wissenschaft eine wesentliche beratende Rolle, nämlich durch Bereitstellung von erforderlichem Wissen, um die komplexe Situation des Klimawandels in gesellschaftliche Kontexte einzuordnen, und durch Klärung von Randbedingungen (Zusammenhänge, Wirksamkeit) von Maßnahmen. Dies zu leisten ist Aufgabe des Klimaservice.

5. Danksagung

Dieser Beitrag entstand aus Anlass der Verabschiedung von Prof. Uwe Grünwald aus dem aktiven Dienst an der TU Cottbus. Ich hege besonderen Respekt für Professor Grünwald als einer jener besonnenen Wissenschaftler, die der Versuchung des politischen Spiels für die Galerie widerstehen. Es war mir daher eine besondere Ehre, an dem Kolloquium zu Ehren von Herrn Grünwald teilzunehmen.

Ansonsten danke ich meinen Kollegen Eduardo Zorita und Jonas Bhend für deren Hilfe, ihre Resultate für den vorliegenden Kontext aufzubereiten. Beate Gardeike hat Abbildung 2 gestaltet.

6. Literatur

Barkhordarian, A., J. Bhend and H. von Storch: Consistency of observed near surface temperature trends with climate change projections over the Mediterranean region, *Clim. Dyn.* DOI 10.1007/s00382-011-1060-y

Bhend, J., and H. von Storch, 2007: Consistency of observed winter precipitation trends in northern Europe with regional climate change projections, *Clim. Dyn.* 31: 17-28. DOI 10.1007/s00382-007-0335-9

- Bhend, J., and H. von Storch, 2009: Is greenhouse gas forcing a plausible explanation for the observed warming in the Baltic Sea catchment area?, *Boreal Env. Res.*, 14:81-88
- Bray, D., 2010: The scientific consensus of climate change revisited. *Env. Sci. Pol.* 13: 340 – 350
- Bray, D. und G. Martinez, 2011: *A survey of the perceptions of regional political decision makers concerning climate change and adaptation in the German Baltic region*. BALTEX report, im Druck
- Bray, D. and H. von Storch, 1999: Climate Science. An empirical example of postnormal science. *Bull. Amer. Met. Soc.* 80: 439-456
- Changnon, S. A., P. J. Lamb and K. G. Hubbard, 1990: Regional Climate Centers: New institutions for climate services and climate-impact research. *Bulletin of the American Meteorological Society* 71(4), 527-537
- Funtowicz, S.O. and J.R. Ravetz, 1985: Three types of risk assessment: a methodological analysis. In C. Whipple and V.T. Covello (eds): *Risk Analysis in the Private Sector*, New York, Plenum, 217-231
- Geden, O., 2010: Abkehr von 2 Grad Ziel? Skizze einer klimapolitischen Akzentverschiebung. *Arbeitspapier der Stiftung Wissenschaft und Politik*, Berlin, 22 pp.
- Hasselmann, K., 1979: On the signal-to-noise problem in atmospheric response studies. B.D., Shaw (Ed.): *Meteorology over the tropical oceans*, Royal Met. Soc., Bracknell, Berkshire, England, 251-259
- Hasselmann, K., 1993: Optimal fingerprints for the detection of time dependent climate change. *J. Climate* 6, 1957 - 1971
- Hasselmann, K., 1998: Conventional and Bayesian approach to climate change detection and attribution. *Quart. J. R. Meteor. Soc.* 124: 2541-2565
- Hegerl, G.C., H. von Storch, K. Hasselmann, B.D. Santer, U. Cubasch, und P.D. Jones, 1996: Detecting anthropogenic climate change with an optimal fingerprint method. *J. Climate* 9, 2281-2306
- Houghton J.T., G.J. Jenkins und J.J. Ephraums (eds) , 1990: *Climate Change. The IPCC scientific assessment*. Cambridge University Press, 365 pp.
- Houghton J.T., B.A. Callander und S.K. Varney (eds), 1992: *Climate Change 1992*. Cambridge University Press, 200 pp
- Houghton JT et al. (eds), 1996: *Climate Change, 1995. The Science of Climate Change. Contribution of the Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press
- Houghton JT et al. (eds), 2001: *Climate Change 2001. The Scientific Basis. Contribution of the Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC*. Cambridge University Press
- IDAG, 2005: Detecting and attributing external influences on the climate system. A review of recent advances. *J. Climate* 18, 1291-1314
- Kulkarni, A., und H. von Storch, 1995: Monte Carlo experiments on the effect of serial correlation on the Mann-Kendall-test of trends. - *Meteor. Z* 4 NF 82-85
- Meinke, I., und H. von Storch, 2008: Regional Climate Offices as link between climate research and decision makers. Extended Abstract for International Disaster Reduction Conference (IDRC), 25.-29.08, Davos, Switzerland, 938-941
- Miles, E. L., A. K. Snover, L. C. Whitely Binder, E. S. Sarachik, P. W. Mote and N. Mantua, 2006: An approach to designing a national climate service. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103(52): 19616 – 19623
- Neverla, I., und H. von Storch, 2010: Wer den Hype braucht. *Die Presse*, 24. Juli 2010

Newport F., 2010: Americans' Global Warming Concerns Continue to Drop. Multiple indicators show less concern, more feelings that global warming is exaggerated. <http://www.gallup.com/poll/126560/americans-global-warming-concerns-continue-drop.aspx>, am 29. Juli 2011

Pugliese, A., und J. Ray, 2011: Fewer Americans, Europeans View Global Warming as a Threat. Worldwide, 42% see serious risk, similar to 2007-2008. <http://www.gallup.com/poll/147203/Fewer-Americans-Europeans-View-Global-Warming-Threat.aspx>, am 29. Juli 2011

Rybski, D., A. Bunde, S. Havlin und H. von Storch, 2006: Long-term persistence in climate and the detection problem. *Geophys. Res. Lett.* 33, L06718, doi:10.1029/2005GL025591

Schipper, J. W., I. Meinke, S. Zacharias, R. Treffeisen, C. Kottmeier, H. von Storch, und P. Lemke, 2009: Regionale Helmholtz Klimabüros bilden bundesweites Netz. *DMG Nachrichten* 1-2009, 10-12

Schwartz, P., 1991: *The art of the long view*. John Wiley & Sons, 272 pp.

Solomon, S., D. Qin, M. Manning, M. Marquis, K. Averyt, M.M.B. Tignor, H. Le Roy Miller jr., and Z. Chen (eds), 2007: *Climate change 2007. The physical basis*. Cambridge University Press, 996 pp.

SPIEGEL, 2010: SPIEGEL-Umfrage: Die Deutschen und der Klimawandel. <http://www.spiegel.de/fotostrecke/fotostrecke-53287.html> (am 29. July 2011)

Steffen, W., R.A. Sanderson, P. D. Tyson, J. Jäger, P. A. Matson, B. Moore III, F. Oldfield, K. Richardson, H.-J. Schellnhuber, B. L. Turner and R. J. Wasson, 2005: *Global Change and the Earth System: A Planet Under Pressure* Springer Publisher, Global Change- The IGBP Series, 344 pp

Stehr, N., and H. von Storch, 1999: An anatomy of climate determinism. In: H. Kaupen-Haas (Ed.): *Wissenschaftlicher Rassismus - Analysen einer Kontinuität in den Human- und Naturwissenschaften*. Campus-Verlag Frankfurt a.M. - New York (1999), 137-185, ISBN 3-593-36228-7

von Storch, H., 2009: Klimaforschung und Politikberatung - zwischen Bringeschuld und Postnormalität. *Leviathan, Berliner Zeitschrift für Sozialwissenschaften* 2009, 37:305–317, DOI 10.1007/s11578-009-0015-8

von Storch, 2011: Climate science, IPCC, postnormality and the crisis of trust, *Norwegian Academy of Science and Letters*, in press

von Storch, H., M. Claussen und KlimaCampus Autoren Team, 2010: *Klimabericht für die Metropolregion Hamburg*, Springer Verlag Heidelberg Dordrecht London New York, DOI 10.1007/978-3-642-16035-6, 321 pp

von Storch, H., G. Gönner, 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. and I. Meinke, 2008: Regional climate offices and regional assessment reports needed. *Nature geosciences* 1 (2), 78, doi:10.1038/ngeo111

von Storch, H., und I. Meinke, 2011: Klimaszenarien und mögliche Entwicklungen in Deutschland. in: Gebhardt, H., R. Glaser, U. Radtke und P. Reuber (Hrsg.): *Geographie - Physische Geographie und Humangeographie*, 2 Aufl., Spektrum Verlag, Heidelberg

von Storch, H., I. Meinke, N. Stehr, B. Ratter, W. Krauss, R.A. Pielke jr., R. Grundmann, M. Reckermann und R. Weisse, 2011: Regional Climate Services illustrated with experiences from Northern Europe. *Zeitschrift für Umweltpolitik & Umweltrecht* 1/2011, 1-15

Weisse, R., H. von Storch, U. Callies, A. Chrastansky, F. Feser, I. Grabemann, H. Günther, A. Plüss, T. Stoye, J. Tellkamp, J. Winterfeldt und 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.* 90: 849-860. <http://dx.doi.org/10.1175/2008BAMS2713.1>

Zorita, E., T. Stocker und H. von Storch, 2009: How unusual is the recent series of warm years? *Geophys. Res. Lett.* 35, L24706, doi:10.1029/2008GL036228

Zwiers, F.W., 1999: *The detection of climate change*. In: H. von Storch and G. Flöser (Eds.): *Anthropogenic Climate Change*. Springer Verlag, 163-209, ISBN 3-540-65033-4