

Die deutsche Nordseeküste und der Klimawandel

Hans von Storch, Julika Doerffer, Insa Meinke

1. Einleitung	1
2. Bisherige Klimaänderungen.....	1
2.1 Methoden zur Bestimmung bisheriger Klimaänderungen	1
2.2 Bisherige Klimaänderungen in Norddeutschland	5
3. Zukünftige Klimaänderungen.....	9
3.1 Methodik der Klimamodellierung.....	9
3.2 Regionale Klimaänderungen in Norddeutschland.....	11
Zusammenfassung	16
Literatur.....	16

1. Einleitung

Küstenregionen sind von Natur aus dynamische Systeme, in denen Veränderungen ein stetiger, natürlicher Prozess sind. Sie zählen zu den wichtigsten Lebensräumen der Menschheit und schon immer hat sich der Mensch hier den Veränderungen angepasst. Zu diesen Veränderungen zählt auch der Klimawandel und daraus resultierende Folgen für Ozeane und Küsten. Der Klimawandel ist jedoch kein neues Phänomen, denn das Klima verändert sich stetig auf Grund natürlicher Ursachen. Analysiert man das Wetter über längere Zeiträume (Jahrzehnte), erhält man Auskunft über das Klima und seine Änderungen. Seit Beginn der Industrialisierung wirkt sich die Freisetzung von Treibhausgasen durch den Menschen zusätzlich auf das Klima aus. Der Klimawandel prägt sich regional unterschiedlich aus. Auf die regionale Ausprägung von vergangenen und möglichen zukünftigen Klimaänderungen in Norddeutschland soll im Folgenden eingegangen werden. Dabei liegen die Schwerpunkte auf der Methodik zur Beschreibung des vergangenen Klimas und zur Projektion eines sich in Zukunft ändernden Klimas und den aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen zum regionalen Klimawandel in Norddeutschland.

2. Bisherige Klimaänderungen

2.1 Methoden zur Bestimmung bisheriger Klimaänderungen

Wetterdaten sind seit den letzten 150 Jahren systematisch mit Wetter- und Messstationen an vielen Orten auf der Erde aufgezeichnet worden. Aus den Anfangszeiten dieser instrumentellen Messungen gibt es jedoch nur in Ausnahmefällen homogene Daten. Sie sind

meistens stark von der direkten veränderlichen Umwelt beeinflusst, so dass unterschiedliche Messungen zu zwei verschiedenen Zeitpunkten nicht zwingend eine Veränderung beschreiben sondern auf Änderungen im Umfeld oder auf eine Änderung in der Messmethode zurückzuführen sein können. An Messstationen werden deshalb hohe Anforderungen gestellt, wie die Homogenität der Messreihen oder die Repräsentanz der Station für die weitere Umgebung.

Aus den über einen relativ langen Zeitraum erfassten Messgrößen wie der Lufttemperatur, der Luftfeuchte, dem Niederschlag, der Windrichtung und -geschwindigkeit, dem Luftdruck etc. wird die Statistik des Wetters abgeleitet – das Klima. Der „relativ lange Zeitraum“ ist von der Weltorganisation für Meteorologie als Referenzzeitraum von 30 Jahren festgelegt. Die festgelegten Intervalle sind die schon abgeschlossenen Zeiträume von 1931 bis 1960 und 1961 bis 1990, sowie die derzeitige Periode von 1991 bis 2020. Sie dienen vor allem der Vergleichbarkeit der klimatischen Größen untereinander.

Neben den instrumentellen Messungen bieten sich zusätzlich andere Aufzeichnungen als nützliche Klimaindikatoren an, wie z.B. historische Aufzeichnungen oder Tagebücher mit Ernteerträgen, Reparaturkosten für Deiche oder die Anzahl eisfreier Tage von Seen und Flüssen. Solche indirekten Klimaindikatoren werden als Proxydaten bezeichnet. Klimaproxydaten können zur Rekonstruktion des Klimas der Vergangenheit herangezogen werden und dienen als Informationsgrundlage für Zeiträume in denen noch keine oder nur eingeschränkte instrumentelle Messungen existierten. Schätzungen über weiter zurückliegende Änderungen des Klimas können auch über Proxydaten aus natürlichen „Klimaarchiven“ gemacht werden. Trends über mehrere Jahrhunderte können beispielsweise aus dem Rückzug von Gletschern oder aus Bohrkernen abgeleitet werden. Aus Baumringen, marinen, limnischen und terrestrischen Sedimenten oder Korallen können zudem saisonale Klimaschwankungen gewonnen werden und somit sind sie auch für einzelne Jahreszeit repräsentativ.

Ein wichtiges Instrument der Vergangenheitsanalyse sind Eisbohrkerne, die vor allem aus Landeischilden in Grönland oder der Antarktis gewonnen werden. Seit Jahrmillionen lagern sich hier Schneeschichten übereinander die anhand verschiedener Parameter Informationen über das vergangene Klima bereitstellen. Eine aufschlussreiche Quelle sind Isotopenanalysen. Aus dem Verhältnis der Sauerstoff-Isotope 16 und 18 lässt sich näherungsweise die Temperatur zum Zeitpunkt des Schneefalls bestimmen. Der Staubgehalt und die Gaszusammensetzung in den winzigen Luftbläschen geben Auskunft über die damalige Atmosphäre. Die Ergebnisse solcher Analysen zeigen einen deutlichen Zusammenhang: Tiefe Temperaturen korrespondieren mit einem niedrigeren Anteil an den Treibhausgasen Kohlendioxid und Methan (Abb. 1). Ein weiteres sehr nützliches Klimaarchiv sind fossile Pollen. Durch Pollenanalysen lassen sich Vegetationstypen bestimmen die

Rückschlüsse auf das Klima der Vergangenheit zulassen. Die Aussagekraft von Pollenanalysen reicht jedoch nur bis zu einem Zeitraum von etwa 10 000 Jahren zurück.

Insgesamt sind jedoch die Aussagen, die sich mit Hilfe der Proxydaten treffen lassen, mit großen Unsicherheiten behaftet und erst das Zusammentragen aller verfügbaren instrumentellen und historischen Aufzeichnungen erlaubt einigermaßen gesicherte Aussagen. Im Allgemeinen steigen die Unsicherheiten für weiter zurückliegende Zeiten an.

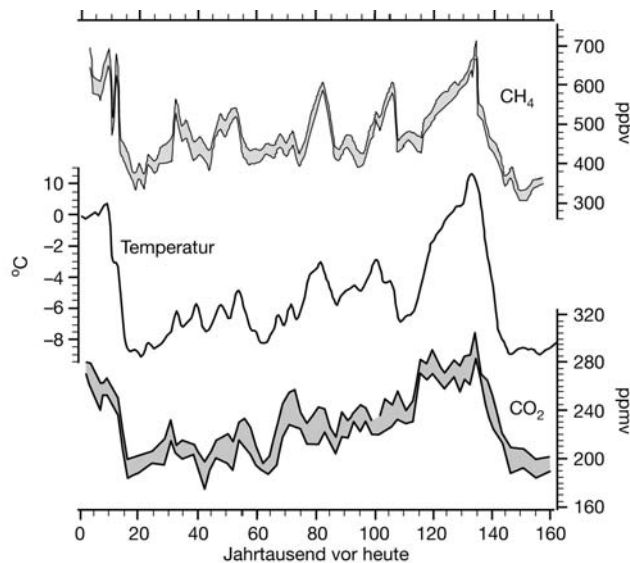


Abb. 1: Rekonstruierte Zeitreihen für Temperatur, Kohlendioxid- und Methankonzentration über die letzten 160 000 Jahre aus dem Vostok-Eisbohrkern (Antarktis) (aus von Storch et al. 1999).

2.2 Globaler Klimawandel der Vergangenheit

Das Klimasystem ist ständigen Änderungen unterworfen. Im zyklischen Wechsel von Kalt- und Warmzeiten verändert sich das Eis-Wasser-Verhältnis der Erde. Die in den Kaltzeiten anwachsenden Eismassen und Eisschilde führten weltweit zu einem Absinken des Meeresspiegels (Regression). Umgekehrt schmolz das Inlandeis in den Warmzeiten, was einen Anstieg des Meeresspiegels (Transgression) bzw. Meeresspiegel-Hochstände zur Folge hatte (Streif 2002) (Abb. 2).

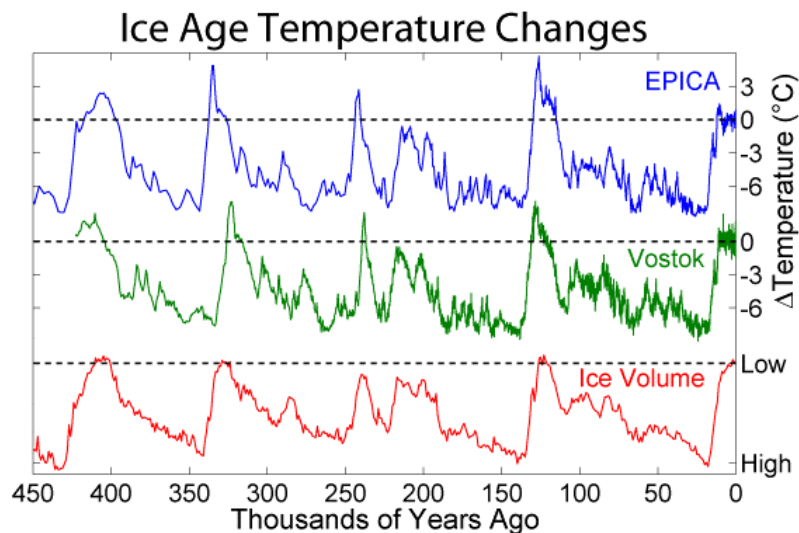


Abb. 2

Die beiden oberen Kurven der Abbildung zeigen die Änderung der geschätzten Temperatur an zwei Stellen in der Antarktis während der Glaziale/Interglaziale des Quartärs und als Vergleich in der unteren Kurve das geschätzte Anwachsen und Abschmelzen der globalen Eismassen. An den Kurven lässt sich eindeutig die hohe Korrelation von Temperaturänderungen in der Antarktis und dem Volumen der globalen Eismassen und damit dem Meeresspiegel ablesen (Abbildung von Robert A. Rohde nach Petit et al. 1999 und Lisiecki & Raymo 2005).

Auf dem Höhepunkt der letzten Warmzeit (vor etwa 125 000 Jahren) lag der mittlere globale Meeresspiegel wahrscheinlich 4-6 Meter höher als heute. Eisbohrkerndaten deuten darauf hin, dass die durchschnittlichen polaren Temperaturen zu dieser Zeit aufgrund von Abweichungen der Erdbahnparameter um 3 bis 5 °C höher lagen als heute. Ein Anstieg des Meeresspiegels war die physikalische Folge einer solchen Erwärmung. Zum einen nimmt das Volumen des Meerwassers durch seine Erwärmung zu, da Wasser sich durch Erwärmung ausdehnt und zum anderen nimmt die Wassermenge in den Weltmeeren insgesamt zu, vor allem durch das Abschmelzen der Eismassen auf Land. Auf dem Höhepunkt der letzten Kaltzeit hingegen, vor etwa 20 000 Jahren, lag die mittlere globale Temperatur 4 bis 7 °C tiefer als heute und der Meeresspiegel lag 120 m unter dem heutigen. Diese Beispiele machen deutlich, dass Temperaturänderungen in der Erdgeschichte in der Regel mit großen Meeresspiegelschwankungen einhergehen.

Änderungen des Meeresspiegels zeigen sich **global** in Ihrer räumlichen Verteilung jedoch sehr unterschiedlich, weil regional unterschiedliche Erwärmung, eng verknüpft mit Veränderungen der Meeresströmungen die Neigung der Meeresoberfläche beeinflusst. Zudem hebt und senkt sich das Land an manchen Küsten. (Landerer et al. 2007, IPCC 2007).

Seit etwa 11.000 Jahren befinden wir uns im Holozän, der jüngsten Warmphase des seit 2 bis 3 Millionen Jahren andauernden quartären Eiszeitalters. Auch in dieser Warmphase

änderte sich das Klima und aus zahlreiche Aufzeichnungen und Untersuchungen von Eisbohrkernen lassen sich kältere und wärmere Epochen ablesen. So war es vor rund 1000 Jahren vermutlich ähnlich warm wie heute (mittelalterliches Optimum), gefolgt von der „Kleinen Eiszeit“, die um 1600 bis 1700 mit Werten um 0,6 °C unter dem heutigen Niveau ihren Tiefpunkt erreichte (Schönwiese 2008). Die Verursachung der Klimaschwankungen jener Zeit ist noch ungenügend geklärt, obwohl der Sonnenaktivität und dem Vulkanismus dabei vermutlich hervorgehobene Bedeutung zukommt (IPCC 2007).

Trotz des Wechsels zwischen kälteren und wärmeren Phasen gilt das Klima des Holozäns insgesamt als recht stabil. Mit der Erwärmung gegen Ende der vorhergehenden Eiszeit setzten das endgültige Abschmelzen der großen Eisschilde und ein Meeresspiegelanstieg ein, der mit kurzen Unterbrechungen bis heute andauert. Dadurch wurde auch die Küstenlinie der Nordsee verändert und etwa 600 km landwärts und höher geschoben, bis vor 7 500 Jahren erste Brackwasserüberflutungen das Vorfeld der heutigen Inseln und Halligen erreichten. Mit dem weiteren Anstieg des Meeresspiegels versanken weite Teile der Geestlandschaft, gleichzeitig entstanden neue Landschaftselemente – die heutigen Inseln, Watten und Marschen (Streif 2002).

2.3 Bisherige Klimaänderungen in Norddeutschland

Änderung der Temperaturen

Langjährige Reihen der Wetteraufzeichnungen zeigen, dass sich das Klima in Deutschland ändert. Wie im weltweiten Durchschnitt waren auch in Deutschland die 1990er Jahre das wärmste Jahrzehnt im 20. Jahrhundert. Allerdings verlief die Erwärmung während des 20. Jh. nicht linear (Abb. 4). Einer starken Erwärmung bis 1911 folgte eine wechselhafte Periode. Die 1940er Jahre waren außergewöhnlich warm. Nach einer erneuten Abkühlung ist seit Ende der 1970er Jahre ein kontinuierlicher und rapider Anstieg zu beobachten. Insgesamt hat die Jahresmitteltemperatur in den letzten 100 Jahren je nach Region zwischen 0 und 2,3 °C zugenommen, wobei sich vor allem die winterliche Erwärmung verstärkt hat, gefolgt von Frühling und Sommer (Abb. 3). Der durchschnittliche Wert für Deutschland von etwa 1,2 °C liegt damit deutlich über der durchschnittlichen globalen Erwärmung von 0,8 °C (Zebisch et al. 2005, Gerstengarbe & Werner, 2007, Schönwiese, 2007).