

Das Klima der letzten 10 000 Jahre: Eine Verknüpfung aus Beobachtungs- daten, Umweltarchiven und Modell- studien

Gerrit Lohmann

Um den vom Menschen verursachten Anteil am derzeitigen Klimawandel verlässlich vorhersagen zu können, ist eine Abgrenzung zur Stärke natürlicher Klimavariabilität wichtig. Sind die milden Winter der letzten Jahrzehnte bereits die Vorboten einer umfassenden Klimaveränderung?

Zur Beantwortung dieser Frage ist ein Verständnis der atmosphärischen und ozeanischen Dynamik notwendig. Zum Beispiel bestimmen die Lage und die Stärke der Westwinde in unseren Breiten, ob milde oder harte Winter auftreten. Um die heutige Klimaveränderung vor dem Hintergrund natürlicher Schwankungen zu bewerten, ist es daher notwendig, das vergangene Klima zu rekonstruieren. Dazu werden historische Daten herangezogen. Verlässliche Temperaturmessungen sind jedoch nur für die letzten 50 - 150 Jahre verfügbar. Bedingt durch die industrielle Entwicklung ist das Klima in dieser Periode aber schon gestört. Für eine Rekonstruktion natürlicher Klimaschwankungen über längere Zeiträume eignen sich die Daten aus Eiskernen, Meeressedimenten und Korallen. Die Analyse dieser Archive erlaubt Aussagen zur Verletzlichkeit des Klimasystems und die Quantifizierung abrupter Klimaänderungen.

Für das Verständnis heutiger und vergangener Klimazustände sowie die Rekonstruktion von Klimaschwankungen sind Verfahren geeignet, die natür-

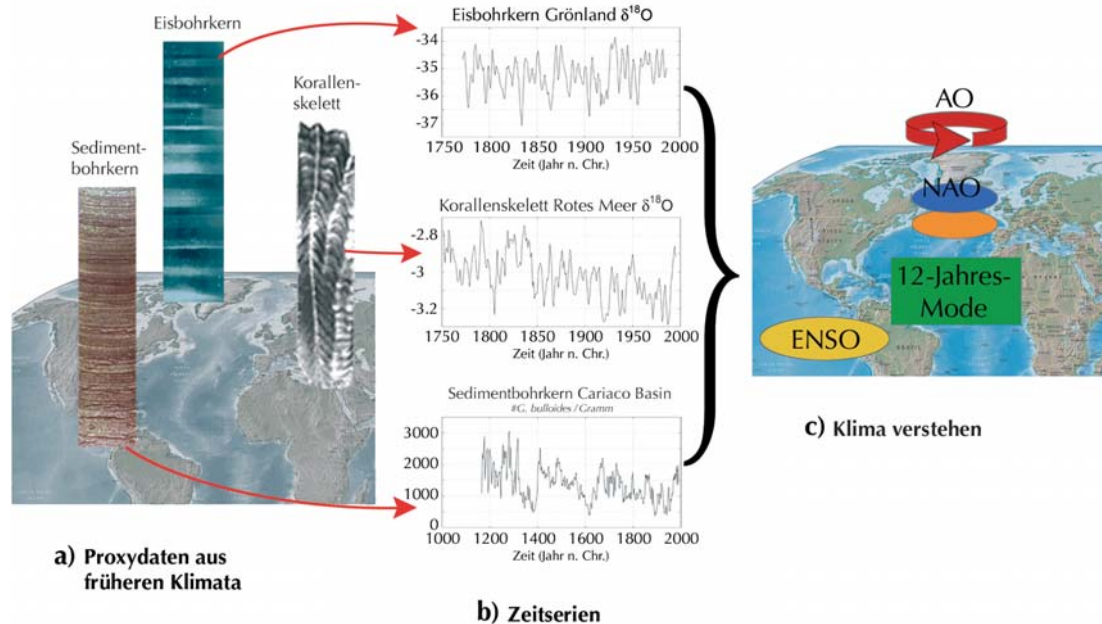
The climate of the last 10 000 years: Combining observational data with environmental archives and model studies

Gerrit Lohmann

To reliably predict the anthropogenic influence on present climate change it is important to differentiate it from the strength of natural climate variability. Are the mild winters of the last decades already the precursor of a global warming?

To answer this question it is necessary to understand the dynamics of atmosphere and ocean. In our latitudes, for example, location and strength of the westerlies determine whether the winters are mild or hard. To assess present climate change against the background of natural variations we must therefore reconstruct the climate of the past, using historical data. Reliable temperature measurements, however, are only available for the last 50 - 150 years and due to the industrial development the climate has already been disturbed during that period. Data from ice cores, sea sediments and corals are suitable to reconstruct natural climate variations over longer periods. Analysing these archives permits statements on the vulnerability of the climate system and the quantification of abrupt climate changes.

To understand present and past climatic conditions and to reconstruct climatic variations we need methods that identify natural circulation patterns aided by model or historical data (Figure 5). In the ideal case, this method supplies us with a reconstruction of climate modes and brings the instrumental data of the last 50-150 years into a long-term context.



liche Zirkulationsmuster mit Hilfe von Modell- oder historischen Daten identifizieren (Abb. 5). Im Idealfall liefert dieses Verfahren eine Rekonstruktion von Klimaschwankungen und ordnet die instrumentellen Daten der letzten 50 - 150 Jahre in einen längerfristigen Kontext ein.

Um dominante Klimaveränderungen während der letzten 10 000 Jahre (Holozän) zu identifizieren, werden unterschiedliche Datensätze der globalen Meeresoberflächentemperatur analysiert. Insbesondere soll die Frage geklärt werden, ob die beobachtete Klimavariabilität im letzten Jahrhundert typisch für das gesamte Holozän ist. Unsere Studie konzentriert sich daher auf die mögliche Rolle der Arktischen Oszillation (AO) und der Nordatlantischen Oszillation (NAO) als antreibende Mechanismen für Temperaturänderungen im Holozän.* Für diese Untersuchungen werden gemeinsam mit unseren Partnern

Abb. 5: Schema zur Interpretation von geologischen Daten mit jahresgenauer Datierung a), am Beispiel von Eiskernen, Meeressedimenten und einer Korallenchronologie b). In c) sind einige bekannte Klimamoden schematisch dargestellt: AO (Arktische Oszillation), NAO (Nordatlantische Oszillation), quasi-dekadische Schwingungen im Atlantik, ENSO (El Niño - Southern Oscillation)

Fig. 5: Scheme for the interpretation of geological data with dating per year a) referring to ice cores, sea sediments and a coral chronology (b). In (c) some known climate modes are shown schematically: AO (Arctic Oscillation), NAO (North Atlantic Oscillation), quasi-decadal oscillations in the Atlantic, ENSO (El Niño - Southern Oscillation)

an der Universität Bremen, dem Max-Planck-Institut für Meteorologie Hamburg sowie der Universität Kiel Datensätze der Meeresoberflächentemperaturen statistisch analysiert und mit Modellergebnissen verglichen (Abb. 6).

Die Klimarekonstruktionen aus Sedimenten zeigen eine Abkühlung in hohen Breiten und eine Erwärmung in niedrigen Breiten (Abb. 6a). Dieser Temperaturentrend ist räumlich jedoch nicht einheitlich und deutet auf einen Übergang von einer positiven AO/NAO-Phase im frühen Holozän (mit vermehrten Westwinden in unseren Breiten) zu einer negativen AO/NAO-Phase während des späten Holozäns. Ein derartiger Übergang wurde in gleicher Weise durch Modellrechnungen mit einem gekoppelten Atmosphäre-Ozean-Modell bestätigt (Abb. 6b). Die Abbildung zeigt, dass die Temperaturentrends gut übereinstimmen. Mit Hilfe des Modells lassen sich Gebiete identifizieren, die auf Klimaänderungen besonders empfindlich reagieren. Der Vergleich der rekonstruierten Klimadaten mit Modellen liefert einen neuen Zugang zur Interpretation von Klimadaten, einen Test für die verwendeten Klimamodelle, sowie eine Abschätzung natürlicher Klimatrends vor dem Hintergrund der erwarteten Klimaveränderungen.

* Zur Dynamik der Arktischen Oszillation siehe auch den Beitrag von Dethloff et al.

Different records of the global sea surface temperature are analysed to identify dominant climate modes during the last 10,000 years (Holocene). Special attention is given to the question whether the observed climate variability of the last century is typical for the whole Holocene. Therefore, our study concentrates on the possible role of the Arctic Oscillation (AO) and the North Atlantic Oscillation (NAO) as driving mechanisms for the changes in temperature during the Holocene. For these examinations, records of sea surface temperatures are statistically analysed and compared with model results (Figure 6). Cooperating partners are Bremen University, the Max Planck Institute for Meteorology in Hamburg and Kiel University.*

The climate reconstruction from sediments shows a cooling in high latitudes and a warming in low latitudes (Fig. 6a). This temperature trend, however, is heterogenic and can be compared with a transition of the AO/NAO pattern from a positive phase in the early Holocene (with increased westerlies in our latitudes) to a negative phase during the late Holocene. Such a transition was equally confirmed by model calculations with a coupled atmosphere-ocean model (Figure 6b). The figure shows that temperature trends match well. With the model we can identify regions that react to climate changes in a particularly sensitive way. Comparing the reconstructed climate data with models offers us a new access to the interpretation of climate data, a test for the climate models as well as an evaluation of natural climate trends against the background of expected climate changes.

* Regarding the dynamics of the Arctic Oscillation see Dethloff et al.

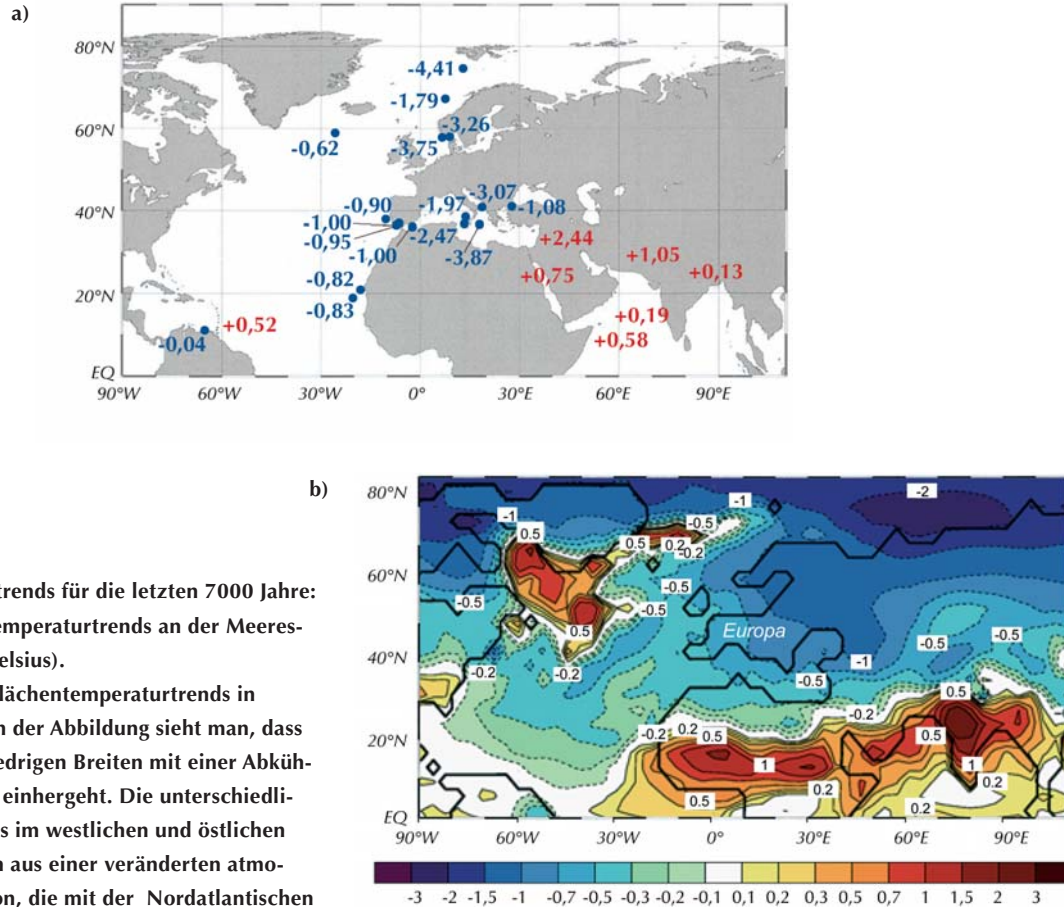


Abb. 6: Temperaturtrends für die letzten 7000 Jahre:
 a) Rekonstruierte Temperaturtrends an der Meeresoberfläche (in Grad Celsius).

b) Simulierte Oberflächentemperaturtrends in einem Klimamodell. In der Abbildung sieht man, dass eine Erwärmung in niedrigen Breiten mit einer Abkühlung in hohen Breiten einhergeht. Die unterschiedlichen Temperaturtrends im westlichen und östlichen Mittelmeer resultieren aus einer veränderten atmosphärischen Zirkulation, die mit der Nordatlantischen Oszillation (NAO) verknüpft ist.

Fig. 6: Temperature trends for the last 7,000 years:

a) Reconstructed temperature trends at the sea surface (in °C).

b) Simulated surface temperature trends in a climate model. The figure shows that a warming in low latitudes is combined with a cooling in high latitudes. The different temperature trends in the western and eastern Mediterranean result from an altered atmospheric circulation, coupled with the North Atlantic Oscillation (NAO).