

UmweltWissen

Erforschung und Vorhersage des Klimawandels



Forschung on the rocks: Die Bergung eines Eisbohrkerns.

Um eine Vorstellung über das zukünftige Klima entwickeln zu können, muss man in die Vergangenheit blicken. Das vergangene Klima rekonstruieren Wissenschaftler mittels sogenannter Klimaarchive. Als Klimaarchiv wird alles bezeichnet, was Informationen über das [Klima der Vergangenheit](#) enthält, wie zum Beispiel Eisbohrkerne.

Mit den Daten der Klimaarchive entwickeln Forscher wissenschaftliche Theorien über das Klimasystem. Da man Klimatheorien nicht im Labor testen kann, werden sie als mathematische Modelle auf Computern programmiert. Wenn ein Computermodell das vergangene Klimageschehen realistisch simulieren kann, dann hat sich die zugrunde liegende Theorie – zumindest vorläufig – nicht als falsch erwiesen.

Mit Hilfe der Computermodelle das zukünftige Klima vorherzusagen, ist die Königsdisziplin der Klimaforschung. Die Modellvorhersagen haben aber nicht zu vernachlässigende Schwächen.

1 Die Klimaforschung macht keine Wettervorhersagen

Wetter ist, was wir momentan spüren und sehen können: Sonnenschein, Bewölkung, Regen, Wind, Hitze oder Kälte. Es ist der kurzfristige, messbare Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort. Das Wetter über einen Zeitraum von mehreren Tagen wird Witterung genannt. Das Wetter in einem größeren Gebiet wird als Wetterlage bezeichnet.

Klima ist der für eine Region typische jährliche Ablauf der Witterung. In der Regel betrachtet man einen Zeitraum von mindestens 30 Jahren. Es gibt beispielsweise mildes, feuchtes, mediterranes oder kontinentales Klima. Das Klima entsteht durch Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre, Wasser- und Eisflächen, Pflanzenbedeckung und anderen Einflüssen. Das Klimasystem wird von der Sonne als Energiequelle angetrieben.

2 Änderungen des Klimas

Um die verschiedenen, sich überlagernden Ursachen für Klimaänderungen untersuchen zu können, unterscheidet die Klimaforschung zwischen Klimavariabilität, Klimaschwankung und Klimaänderung (► [Klimawandel – Warum ändert sich unser Klima?](#)).

Klimavariabilität könnte man vereinfacht als Hintergrundrauschen bezeichnen, wie etwa den Jahreszeitenwechsel. Hingegen sind Klimaschwankungen Veränderungen, bei denen Eigenschaften des Klimas in einem mindestens 10-jährigen Wechsel hin und her schwanken. Darunter fallen auch längerfristige Veränderungen, beispielsweise ausgelöst durch Änderungen der Sonnenaktivität. Wichtig ist das Schwanken. Wenn kein Schwanken, sondern eine Änderung in nur eine Richtung beobachtet wird, dann sprechen Klimaforscher von einer Klimaänderung. Ein prominentes Beispiel ist die gegenwärtige Klimaerwärmung. Fachleute nehmen an, dass wir keine Schwankung, sondern eine echte Änderung des Klimas erleben.

3 Klimaarchive

Je nachdem wie weit die Forscher zurück in die Vergangenheit blicken wollen, müssen sie ganz unterschiedliche Klimaarchive auswerten. Die ältesten Erdepochen haben ihre Spuren in **geologischen Formationen** beziehungsweise Schichtfolgen hinterlassen und sind vorwiegend das Arbeitsgebiet von Geologen und Geophysikern. Eine Schwierigkeit bei der Rekonstruktion der frühen Epochen ist, dass die alten Formationen durch die Kontinentaldrift aus den Klimazonen, in denen sie gebildet worden sind, heraus verschoben wurden.

Für die jüngeren Erdepochen gibt es vielfältigere Klimaarchive. So erkannte man unter anderem, dass man aus den **Formen der Erdoberfläche** auf das frühere Klima schließen kann. Beispielsweise haben die Gletscher der Eiszeiten beim Abschmelzen typische Ablagerungen von Geröll, Kies oder Sand zurück gelassen, anhand derer man die ehemaligen Eislagen nachvollziehen kann.

Die Spuren, die das Leben hinterlassen hat (Pflanzen- und Tierreste, Pollen etc.), sind vor allem für die jüngsten Erdepochen wichtig. **Wachstumsschichten von Korallenriffen** oder **Jahresringe von Bäumen** sind zum Beispiel aussagekräftige, biologische Klimaarchive. Bei unseren heimischen Bäumen wächst im Frühjahr zunächst das hellere Frühholz. Gegen Ende des Jahres, vor der Ruhephase im Winter, bildet sich das dunklere Spätholz. Je besser die klimatischen Bedingungen für die jeweilige Baumart sind, desto breiter sind die Jahresringe.

Besonders interessant für die wissenschaftliche Untersuchung von Baumringen, die **Dendrochronologie**, sind Stämme von Bäumen, deren Lebenszeiten sich überlappt haben. Durch Überlagerung ihrer Ringmuster kann man langjährige Zeitreihen, sogenannte **Jahringkalender**, zusammenstellen.

► [Der Hohenheimer Jahringkalender](#) reicht beispielsweise 12.500 Jahre zurück.



Abb. 1: Für Jahresringkalender eignen sich Balken aus alten Fachwerkhäusern, Hölzer aus historischen Bauten und aus archäologischen Fundstellen. Auch noch ältere Bäume, die in Kiesgruben oder Mooren konserviert wurden, können verwendet werden. Wichtig ist, dass jeder Ring genau datiert werden kann, wie etwa bei der abgebildeten Balkenprobe aus dem Rathaus von Göttenroth.

Ablagerungen auf dem Grund von Seen können ebenfalls informative Klimaarchive sein, denn in manchen Seen setzen sich ungestörte Jahresschichten ab: In den gemäßigten Breiten, wie etwa in Europa, sinken im Frühjahr die Schwebstoffe aus den Schmelzwässern der Umgebung zu Boden, während sich darüber im restlichen Verlauf des Jahres eine Schicht aus abgestorbenen Pflanzenteilen, Algen und Blütenpollen bildet. Klimaforscher können aus diesen Ablagerungen (Sedimenten) mit großer Verlässlichkeit die Entwicklung der benachbarten Pflanzenwelt und des regionale Klimas teilweise für mehrere Hunderttausend Jahre rekonstruieren.

Die Klimaarchive in den **Ablagerungen auf dem Grund der Ozeane** reichen viele Hundert Millionen Jahre zurück. Je nachdem, ob die Ablagerungen durch Abtragung auf dem Festland oder durch biologische Prozesse im Meerwasser (etwa durch Schalen von abgestorbenen Meeresamöben, den sogenannten Foraminiferen) entstanden sind, lassen sich zum Beispiel Temperaturen, Veränderungen des Erdmagnetfelds, Meeresspiegelschwankungen oder Niederschlagsverhältnisse erforschen.

Ein Klimaarchiv von besonderer Bedeutung sind **Eisbohrkerne**. Die Luftbläschen, die in tiefen Schichten der Eiskappen von Arktis und Antarktis eingeschlossen sind, geben Aufschluss über die frühere Zusammensetzung der Atmosphäre und ihre Treibhausgasgehalte. Aus der Konzentration der Wasserisotope kann die Temperatur der Vergangenheit rekonstruiert und mit Hilfe eingeschlossener Spurenstoffe können die Schichten von Eisbohrkernen bis zu Jahrmillionen zurück datiert werden.

Unersetzlich sind natürlich die **Wetterbeobachtungen und Klimamessungen** des Menschen. Im Meteorologischen Observatorium Hohenpeißenberg, der weltweit ältesten Bergwetterstation, wurden bereits 1758 erste Wetterbeobachtungen notiert. Die ältesten systematischen Aufzeichnungen des Wetters sind etwa 300 Jahren alt.

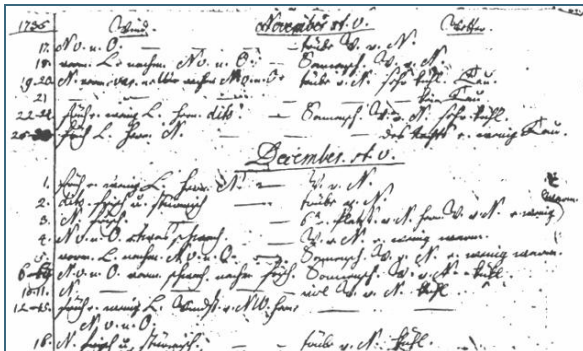


Abb. 2: Ein Beispiel für historische Aufzeichnungen sind die Wetterbeobachtungen für Teile des Novembers und Dezembers 1735 des deutschen Missionars Geisler in Madras (heute Chennai), Indien.

Außerdem gibt es unzählige **historische Aufzeichnungen** wie Weinchroniken, Tagebücher, Jagd- und Erntekalender oder Flusspegel, von denen man ebenfalls auf frühere Klimabedingungen schließen kann. Die ältesten menschlichen, etwa 10.000 Jahre alten Aufzeichnungen, aus denen sich Hinweise zum Klima ableiten lassen, sind Höhlenmalereien.

4 Computermodelle

Mit dem Wissen aus den Klimaarchiven entwickeln Wissenschaftler mathematische Theorien über das Klimageschehen und die Ursachen für Klimaänderungen. Die ersten mathematischen Formeln zur Beschreibung der Atmosphäre wurden 1904 vom norwegischen Physiker Vilhelm Bjerknes veröffentlicht und beschränkten sich auf die Vorhersage des Wetters. Das erste Klimamodell, ein mathematisches Modell zur Beschreibung der atmosphärischen Zirkulation, wurde 1956 vom Amerikaner Norman Phillips veröffentlicht. Eine bedeutende frühe Anwendung von Klimamodellen war 1967 die Simulation des Zusammenhangs von steigenden Treibhausgasgehalten auf die Klimaerwärmung.

Durch die Fortschritte bei der Computertechnik erlangten Modelle der klimatischen Zirkulation seit den 1970ern immer größere Bedeutung. Mit steigender Rechnerleistung in den 1980ern wurden Klimamo-

delle um Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre und Erdoberfläche erweitert. In den 1990ern kamen Einflüsse von Ozeanen, Meereisbedeckung und Schwebeteilchen in der Luft hinzu. Mit den jüngsten Weiterentwicklungen wurden klimarelevante Auswirkungen von Kohlenstoff- und Nährstoffkreisläufen, des Pflanzenwachstums und luftchemischer Prozesse eingeführt.

Aktuell arbeiten Wissenschaftler daran, feinere zeitliche und räumliche Berechnungsschritte zu programmieren und die Realitätsnähe von Klimamodellen durch die Simulation von Wolkenbildung und gegenseitiger Beeinflussung von Atmosphäre und Ökosystemen zu verbessern. Obwohl auch die komplexesten Klimamodelle noch immer stark vereinfachte Abbilder der Realität sind und ihre Berechnungen erheblichen Unsicherheiten unterliegen, haben sie maßgeblich dazu beigetragen, die komplexen Prozesse des Klimageschehens und ihre Wechselwirkungen besser zu verstehen.

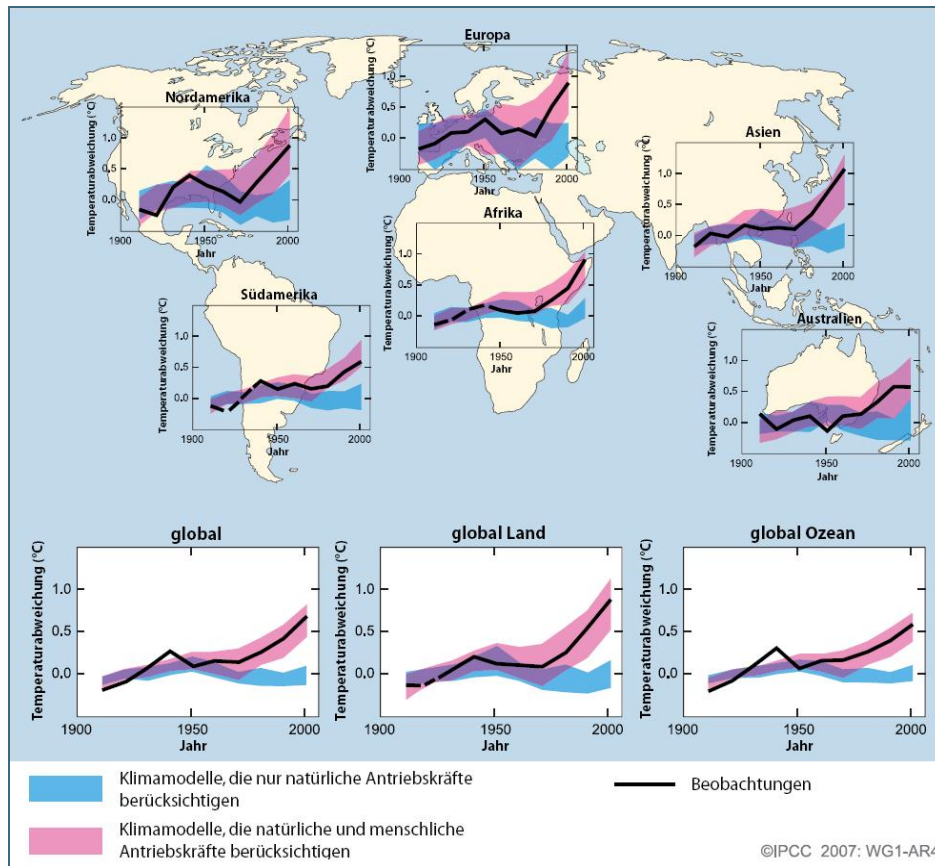


Abb. 3: Eine bedeutende aktuelle Anwendung von Klimamodellen ist der Nachweis, dass der Mensch die gegenwärtig messbare Klimaerwärmung durch den Ausstoß von Treibhausgasen mit verursacht hat.

Im Rahmen dieses Nachweises hat der Weltklimarat (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) dargelegt, wie sich die Temperatur zwischen 1858 und 2000 entwickelt hätte, wenn man

- nur natürliche Ursachen und
- natürliche und menschlichen Einflüsse

für die Berechnung des Klimawandels zugrunde legt.

5 Vorhersage des Klimawandels

Man geht davon aus, dass ein Klimamodell, das die grundlegenden physikalischen Prozesse des Klimas unter vergangenen, überprüfbar Rahmenbedingungen zuverlässig simuliert, auch für die Vorhersage des Klimageschehens angewendet werden kann. Für vorausschauende Klimasimulationen hat der Weltklimarat eine Reihe von zukünftig denkbaren Rahmenbedingungen festgesetzt. Diese sogenannten Emissionsszenarien beruhen auf unterschiedlichen Annahmen über die soziale, wirtschaftliche und technologische Entwicklung der Menschheit und dem jeweils damit verbundenen Ausstoß von Treibhausgasen. Nichtvorhersehbare, natürliche Einflüsse wie Schwankungen der Sonnenaktivität oder Vulkanausbrüche werden in den Szenarien nicht berücksichtigt.

Aufgrund der Unsicherheiten in den zugrunde liegenden Annahmen gibt es mittlerweile 40 Emissionsszenarien, die sich in vier Szenarienfamilien beziehungsweise sechs Szenariengruppen einteilen lassen. Jede Gruppe wird als gleich stichhaltig betrachtet:

- **A1**: schnelles Wirtschaftswachstum, bedeutende Fortschritte bei effizienten Technologien, gebremstes Bevölkerungswachstum.
Die A1-Familie teilt sich in drei Gruppen auf: **A1FI** stützt sich auf die Annahme, dass wir intensiv fossile Energiequellen nutzen werden, während **A1T** auf der Nutzung nichtfossiler Energiequellen und **A1B** auf einer ausgewogenen Nutzung aller Energiequellen beruhen.
- **A2**: schnelles Wirtschaftswachstum, geringer technologischer Fortschritt, ungebremstes Bevölkerungswachstum.
- **B1**: wie A1, aber mit weitgehender Umstellung der Wirtschaft zugunsten einer Dienstleistungsgesellschaft, die günstigste Zukunftsperspektive.
- **B2**: Mischform aus B1 und A2.

Die vom Weltklimarat veröffentlichten Klimasimulationen beschäftigen sich also hauptsächlich mit dem Einfluss des Menschen auf das Klima, denn das ist der einzige Einfluss, den wir steuern können. Klimaverändernde Naturkatastrophen wie Vulkanausbrüche können wir ohnehin nicht beeinflussen oder vorhersagen. Aufgrund dieser Vereinfachung handelt es sich bei den vorausschauenden Klimasimulationen nicht um Klimavorhersagen im eigentlichen Sinn, sondern um Studien über den möglichen Einfluss des Menschen auf das zukünftige Klima, also um Klimaszenarien.

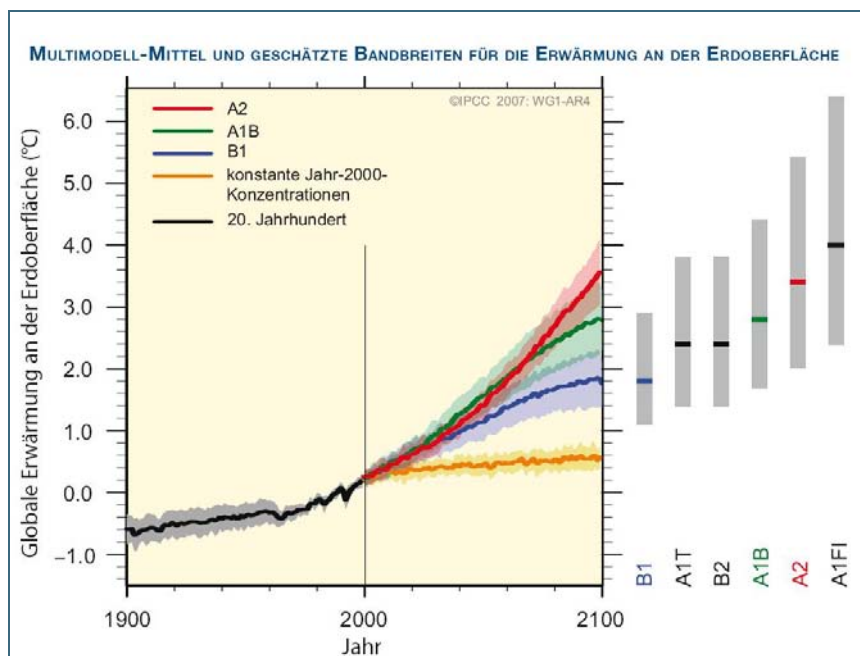


Abb. 4: Die durchgezogenen Linien kennzeichnen die mittlere Erwärmung an der Erdoberfläche (relativ zum Zeitraum 1980–99), die von verschiedenen Klimamodellen für einzelne Szenarien berechnet wurden. Die Schattierung kennzeichnet die Bandbreite des mittleren Simulationsfehlers, also der Unsicherheit in den Szenarien.

Die grauen Balken auf der rechten Seite zeigen das Mittel und die abgeschätzte wahrscheinliche Bandbreite für die sechs wichtigsten Szenariengruppen. Die Bandbreite der bis zum Ende des Jahrhunderts simulierten Erwärmung reicht dabei von 1,1 bis 6,4 °C.

Obwohl die Einschränkung auf den Einfluss des Menschen vollkommen gerechtfertigt ist, ist sie die Achillessehne der Klimaszenarien des Weltklimarats. Immer wieder wird von Journalisten, Wissenschaftlern und Politikern der Eindruck erweckt, es wäre tatsächlich das zukünftige Klima berechnet worden. In der Folge entzünden sich regelmäßig öffentliche Diskussionen über die Zuverlässigkeit der „Klimavorhersagen“, in deren Verlauf der Weltklimarat und die (internationale) Klimaschutzpolitik in Frage gestellt und Bürger verunsichert werden. Die eigentlichen Kernaussagen der Klimaszenarien und die daraus abgeleitete Notwendigkeit Umwelt- und Klimaschutz zu betreiben, werden dabei in den Hintergrund gedrängt.

6 Fazit

Die heutigen Klimamodelle sind eine Zusammenfassung unseres Wissens über das Klimasystem und seine Veränderungen. Die darauf basierenden Klimaszenarien liefern gegenwärtig die verlässlichsten Abschätzungen des zukünftigen Klimas. Dennoch können wir das zukünftige Klimageschehen nicht mit Sicherheit vorhersagen, weil Klimamodelle und die Annahmen über zukünftige Rahmenbedingungen immer Vereinfachungen der Wirklichkeit bleiben müssen. Ungeachtet der Unsicherheiten ist sich die Fachwelt jedoch einig, dass wir mit der derzeitigen globalen Erwärmung keine kurzfristige Klimaschwankung, sondern eine echte Klimaänderung erleben.

Die globale Erwärmung hat weit reichende Folgen. Sie zu ignorieren, können wir uns nicht leisten. Die Anpassung von Nahrungsmittelproduktion, Wasser- und Energieversorgung, Transportwesen, Stadtplanung und aller anderen betroffenen Handlungsfelder an die mittelfristig absehbaren Folgen des Klimawandels ist zwingend notwendig.

Für den ► [Umwelt- und Klimaschutz](#) sind die Unsicherheiten in den Klimaszenarien zweitrangig, denn das Ausmaß selbst gemachter Probleme muss in jedem Fall so wirkungsvoll wie möglich verringert werden. Der Schutz unserer natürlichen Lebensgrundlagen benötigt daher keine Rechtfertigung durch Computermodelle. Aber Computermodelle können uns helfen, die richtigen Strategien zu entwickeln.

7 Weiterführende Publikationen aus der Reihe UmweltWissen

- [Klimawandel – Warum ändert sich unser Klima?](#)
- [Die Klima der Vergangenheit](#)
- [Cleverer Umweltschutz – Energiesparen](#)
- [Cleverer Umweltschutz – Auto, Sprit und Umwelt](#)
- [Erdwärme](#)
- [Sonnenenergie](#)
- [Erneuerbare Energien – Linkliste](#)
- [Klimaschutzpolitik](#)
- [Treibhausgase](#)
- [Ozonschicht und Ozonloch](#)
- [FCKW und FCKW-Ersatzstoffe](#)

Haben Sie Interesse an aktuellen Informationen zum Umweltschutz im Alltag? Dann bestellen Sie doch unseren **Newsletter**. Schicken Sie einfach eine E-Mail an: umweltwissen@lfu.bayern.de

8 Literatur

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2008): [Bayerns Klima im Wandel – erkennen und handeln](#). 92 S., Augsburg.

ENDLICHER, W. UND GERSTENGARBE, F.-W. (2007): [Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke und Ausblicke](#). Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e. V.: 134 S., Potsdam.

GATES, W. L. (2003): [Ein kurzer Überblick über die Geschichte der Klimamodellierung](#). In: promet. Deutscher Wetterdienst. Jahrg. 29, Nr. 1–4, S. 3–5.

IPCC INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2007): Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen. Vierter Sachstandsbericht des IPCC (AR4), [Klimaänderung 2007](#), Zusammenfassungen für politische Entscheidungsträger.

KESSLER, A. (1984): [Was ist Paläoklimatologie?](#) Mitteilungen der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft. Heft 2/1984, S. 50–52.

9 Klimaforschung im Internet

Bayerisches Landesamt für Umwelt: [Klimaprojektionen für das 21. Jahrhundert](#)

Max-Planck-Gesellschaft: [Die Geschichte der Klimaforschung und des IPCC](#)

Universität Freiburg: [Historische Klimadatenbank](#)

Universität Augsburg: [Links zur Klimaforschung](#)

10 Ansprechpartner

Für Einzelfallberatungen bei konkreten Anliegen zum Umwelt- und Gesundheitsschutz vor Ort oder in Ihrer Nachbarschaft sind in der Regel Ihr Landratsamt bzw. Ihre Stadt- oder Gemeindeverwaltung zuständig. Bitte fragen Sie dort nach dem passenden Ansprechpartner.

Private Anfragen an das Bayerische Landesamt für Umwelt richten Sie bitte an unser Bürgerbüro:

E-Mail: oeffentlichkeitsarbeit@lfu.bayern.de

Fragen und Anregungen zu Inhalten, Redaktion und Themenwahl der Publikationen von UmweltWissen sowie Anfragen bezüglich Recherche und Erstellung von Materialien für die Umweltbildung und -beratung richten Sie bitte an: UmweltWissen am Bayerischen Landesamt für Umwelt:

Telefon: 08 21 / 90 71 – 56 71

E-Mail: umweltwissen@lfu.bayern.de

Internet: www.lfu.bayern.de/umweltwissen

Impressum:

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg

Telefon: (0821) 90 71 – 0

Telefax: (0821) 90 71 – 55 56

E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de

Internet: www.lfu.bayern.de

Bearbeitung:

UmweltWissen
Ref. 12 / Peter Miehle, Birgit Haas

Stand:

Dezember 2008

Bildnachweis:

Department of Geophysics, Niels Bohr Institute, University of Copenhagen
(www.glaciology.gfy.ku.dk/ngrip): Seite 1

Rüdiger Glaser, Historische Klimadatenbank, Universität Freiburg: Seite 2

Intergovernmental Panel on Climate Change, Genf (WG1-AR4): Seite 4 und 5

Stefan Kühn / Dresden: Seite 3

Aktualisierung der Links 01/10: Carolin Himmelhan

Sie haben diese Veröffentlichung auf Papier, wollen aber auf die verlinkten Inhalte zugreifen?

Die jeweils aktuellste Ausgabe finden Sie im Internet unter:

▶ www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw_80_klimawandel_forschung_vorhersage.pdf oder

▶ www.lfu.bayern.de: UmweltWissen > Klima und Energie