



DMG

Deutsche Meteorologische Gesellschaft

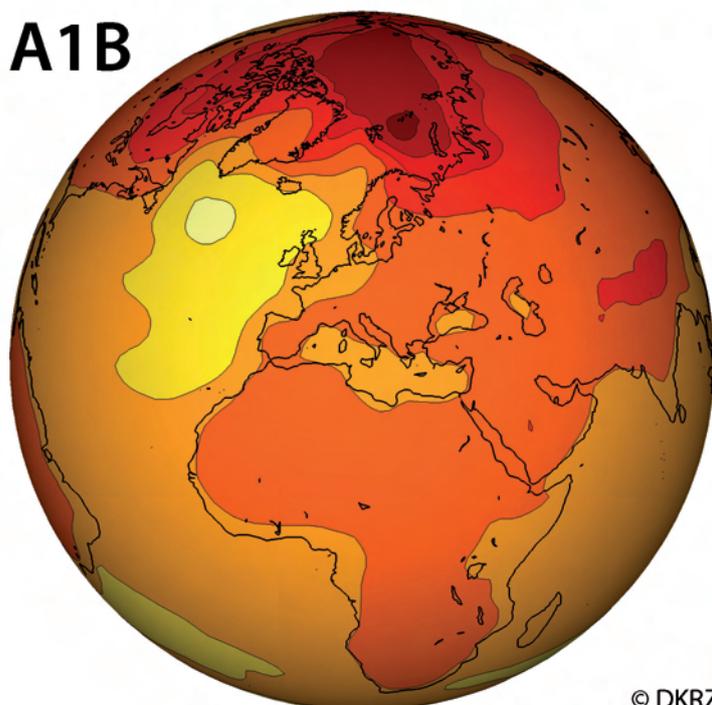
Mitteilungen DMG 01 / 2007

IPCC 2007

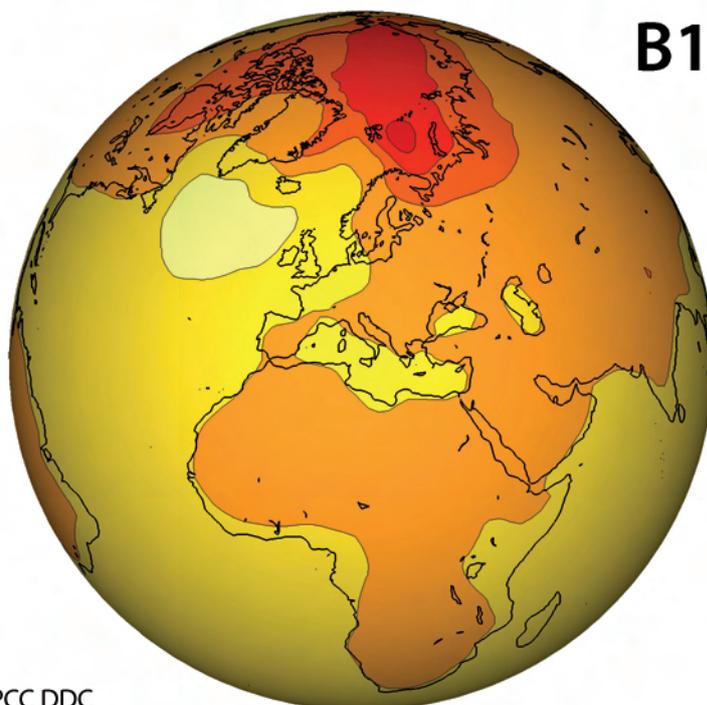
Klimaszenarien für das 21. Jahrhundert

IPCC AR4: Temperaturänderung für 2080-2099 gegenüber 1980-1999

A1B



B1



© DKRZ / IPCC DDC



0 1 2 3 4 5 6 7 [°C]

Hochaufgelöste regionale Klimaszenarien für Deutschland, Österreich und die Schweiz

Daniela Jacob, Holger Göttel, Philip Lorenz
MPI-M, Hamburg

Zusammenfassung

Es ist unumstritten, dass sich das Klima in den letzten Jahrzehnten gewandelt hat. Um Aussagen treffen zu können, wie es sich zukünftig ändern könnte, wurden globale und regionale Klimamodelle entwickelt, deren Güte durch die Simulation der vergangenen Klimaentwicklung und durch den Vergleich zu unabhängigen Beobachtungen eingeschätzt wird.

Klimaszenarien für die Zukunft werden mit unterschiedlichen Emissionsentwicklungen für Treibhausgase wie z.B. CO₂ und SO₂ durchgeführt. Abhängig davon, welche Emissionsentwicklung zu Grunde liegt, erhöht sich die globale mittlere Temperatur um 1,1°C bis 5,4°C bis Ende des 21. Jahrhunderts in globalen, gekoppelten Atmosphäre-Ozean-Modellen. Will man Aussagen über regionale Änderungen treffen, bettet man regionale Modelle in die globalen Modelle ein. Am Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M) wurde dafür das regionale Klimamodell REMO entwickelt und in das globale Modell ECHAM5/MPI-OM genestet.

Im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) wurden am MPI-M Regionalisierungen für die drei IPCC-Szenarien B1, A1B und A2 (vergleichsweise niedriger, mittlerer und hoher Anstieg der Emissionsraten) durchgeführt. Folgende Ergebnisse lassen sich für das Ende des 21. Jahrhunderts zusammenfassen:

- Anstieg der mittleren Jahrestemperatur in Deutschland bis zu 4°C (abhängig von der Emissionsrate und Region), dabei erwärmt sich der Süden und Südosten am stärksten.
- Im Sommer in weiten Teilen Deutschlands weniger Niederschläge.
- Im Winter im Süden und Südosten mehr Niederschlag.
- Schneeanteil am Gesamtniederschlag nimmt ab.

Von besonderem Interesse ist es zu erfahren, ob und wenn ja, in welchem Umfang extreme bzw. seltene Ereignisse (z. B. Hitzewellen, Starkniederschläge) vorkommen werden. Dazu werden derzeit detaillierte Analysen der Klimaszenarien am MPI-M durchgeführt.

In diesem Heft befindet sich ebenfalls ein Artikel über statistische Regionalisierung von Klimaszenarien. (Seite 6 ff.) Auch diese Arbeit wurde im Auftrag des UBA durchgeführt und basiert auf denselben globalen Klimaszenarien. Im Laufe dieses Jahres ist eine Synthese der Ergebnisse geplant.

Einleitung

Es ist unumstritten, dass sich das Klima der Erde in den letzten Dekaden gewandelt hat, wie zahlreiche Aufzeichnungen meteorologischer und hydrologischer Dienste weltweit zeigen. Von besonderem Interesse ist hierbei die Frage, ob und wenn ja, wie sich extreme bzw. seltene Ereignisse verändert haben und gegebenenfalls verändern werden. Zu diesen Ereignissen gehören Starkniederschläge, die zu Erdbeben und Überschwemmungen führen können, ebenso wie Hitzewellen und Dürren. In den letzten 10 bis 15 Jahren scheinen immer häufiger extreme Ereignisse in Europa aufzutreten, wie zum Beispiel der heiße Sommer 2003, in dem die Abweichungen der Tagestemperatur vom langjährigen beobachteten Mittel fast 10°C erreichten.

Um herauszufinden, welche Veränderungen das Klima in der Zukunft durchmachen könnte, wurden globale Klimamodelle entwickelt, die zusammen mit verschiedenen Annahmen über die Treibhausgasentwicklung in der Atmosphäre mögliche Entwicklungen des Klimas in den nächsten 100 Jahren berechnen. Diese Computermodelle können als mathematische Abbilder des Erdsystems gesehen werden, da sie die physikalischen und biogeochemischen Prozesse im Erdsystem numerisch beschreiben und so real wie möglich berechnen. Um die Güte der Klimamodelle einschätzen zu können, werden sie zunächst für die Berechnung vergangener Zeiten eingesetzt. Bevorzugt wird hierzu eine Zeitperiode gewählt, in der zahlreiche Beobachtungen weltweit vorliegen. Gute Rekonstruktionen der Lufttemperatur in 2 m über der Erdoberfläche gibt es ab ca. 1900 und seit etwa 1950 nimmt die Dichte und Güte der Messdaten deutlich zu.

Klimaszenarien

Die bis heute neueste Serie von IPCC-Szenarien folgt abgestimmten möglichen Entwicklungslinien, so genannten Storylines, die unterschiedlichen Entwicklungen der Weltwirtschaft, des Bevölkerungswachstums und anderer Faktoren folgen (NAKICENOVIC et al., 2000). Die auf Grund dieser Annahmen berechneten Emissionen von Treibhausgasen (u.a. CO₂) und SO₂ werden in die globalen und regionalen Klimamodelle eingespeist und bewirken durch zahlreiche nicht-lineare Wechselwirkungen Veränderungen des globalen und regionalen Klimas.

Sollen nun Aussagen über mögliche regionale oder lokale Klimaänderungen und ihre Auswirkungen gemacht werden, so muss die Brücke zwischen der globalen Klimaänderungsberechnung und den Auswirkungen auf die Region geschlagen werden. Hierzu werden dynamische regionale Klimamodelle mit viel Detailinformation aus der Region und ihrer Umgebung in die

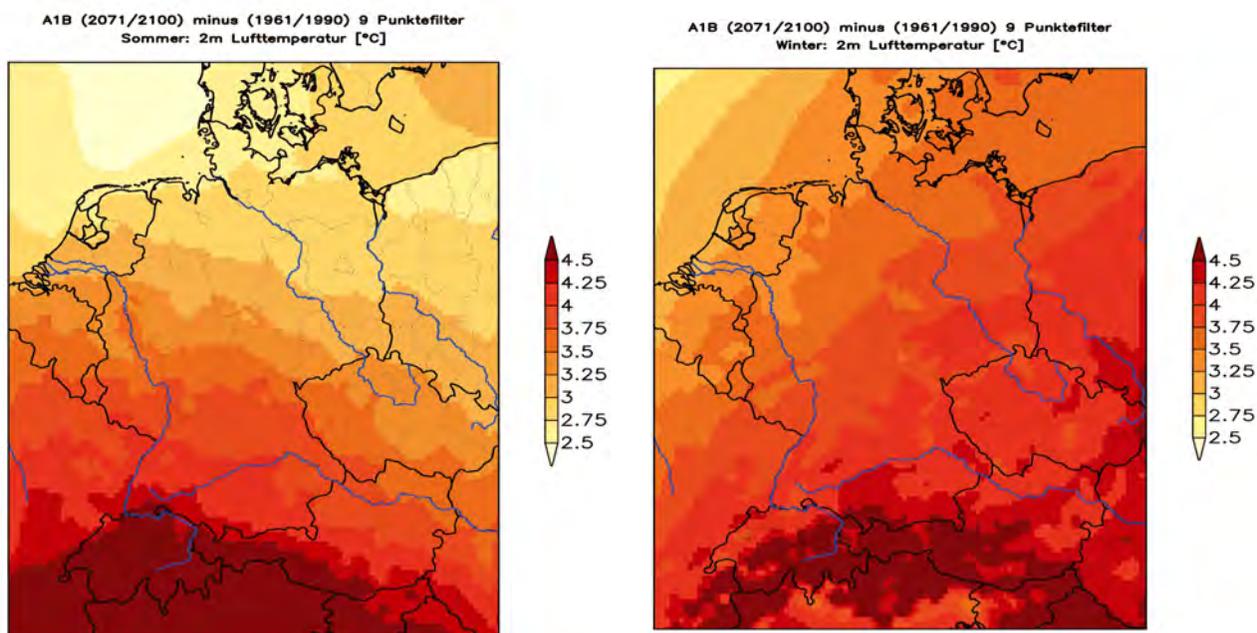


Abb. 2: Relative Temperaturänderung im Sommer (linkes Bild) und im Winter (rechtes Bild) für die Jahre 2071-2100 gegenüber dem Vergleichszeitraum 1961-90 unter der Annahme des A1B-Szenarios. Das Änderungssignal wurde mit einem digitalen neun Punktefilter geglättet.

globalen Modelle eingebettet. Wie mit einer Lupe kann dann das Klima der Region im Detail untersucht werden.

Im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) hat das MPI-M Szenarien für mögliche Klimaänderungen in Deutschland bis zum Jahr 2100 erarbeitet. Es wurde darin vom Deutschen Klimarechenzentrum Hamburg unterstützt. Das hierfür eingesetzte regionale Klimamodell REMO (JACOB, 2001; JACOB et al., 2007) zeigt die Klimaentwicklung des vergangenen Jahrhunderts recht realitätsnah, wie der Vergleich zu Beobachtungen ergibt. Diese Überprüfung ist notwendig, um die Güte der Modellergebnisse zu bewerten. REMO liefert detaillierte Informationen, auch in strukturiertem Gelände. Gerade für dieses ist etwa die Modellierung von Niederschlagsveränderungen besonders kompliziert, weil die Ergiebigkeit der lokalen Niederschläge stark von der Form und Anströmrichtung des Geländes beeinflusst ist.

Die Klimasimulationen mit dem hydrostatischen dreidimensionalen Modell REMO wurden mit einer räumlichen Auflösung von 10 km durchgeführt. Hierbei liefern diese Simulationen Erkenntnisse, die es bislang noch nicht in dieser Detailliertheit gab. Dieses verdeutlicht Abb. 1 (siehe Umschlagsinnenseite hinten), die mit verschiedenen, räumlichen REMO-Auflösungen simulierte Niederschlagsverteilung über den Alpen mit Beobachtungsdaten von FREI et al. (2003) vergleicht. Mit 50 km Auflösung lassen sich grob die Alpen identifizieren, mit 20 km werden schon deutlich regionale Niederschlags-Unterschiede repräsentiert (nicht dargestellt), die sich an Hauptgebirgsketten und -Tälern ausrichten, und auch der Schwarzwald ist schon erkennbar. Aber erst mit 10 km lassen sich die beiden beobachteten Niederschlagsmaxima im Norden und im Süden des

Schwarzwalds mit REMO getrennt simulieren. Trotz der relativ kleinen Gitterweiten können nicht alle regionalen Details modelliert werden, insbesondere dürfen die Ergebnisse nicht gitterpunktweise betrachtet werden, da diese Modelle auf Grund ihrer numerischen Verfahren nicht gitterpunktsgenau sind. Es wird empfohlen über neun Boxen zu mitteln und nur größere Regionen zu betrachten.

Zukünftiges Klima

Bis zum Jahre 2100 wurden mit REMO Simulationen für die drei Szenarien B1, A1B und A2 durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Klimasimulationen lassen sich auf folgende Aussage verdichten: Je nach Anstieg der Treibhausgase könnten bis zum Ende des Jahrhunderts die Jahresmitteltemperaturen in Deutschland um mehr als 3,5°C im Vergleich zu den letzten 50 Jahren steigen. Die Entwicklung der jährlichen Niederschlagssummen zeigt eine ausgeprägte dekadische Variabilität, jedoch keinen generellen Trend.

Die Ergebnisse im Detail: Mehr Treibhausgase führen im Sommer in Deutschland zu einer mittleren Erwärmung, die im Zeitraum 2071-2100 für das A1B-Szenario regional zwischen 2,5°C und 3,5°C liegt (s. Abb. 2, links). Diese Erwärmung wird sich saisonal und regional unterschiedlich stark ausprägen. Am stärksten dürften sich im Sommer der Süden und Südwesten Deutschlands erwärmen, im Winter der Süden und Südosten. Bis zum Jahr 2100 könnten die Winter hier um mehr als 4°C wärmer werden als im Zeitraum 1961 bis 1990.

Gleichzeitig könnten in Zukunft – im Vergleich zum Zeitraum 1961 bis 1990 – die sommerlichen Niederschläge großflächig abnehmen. Besonders stark gehen die Sommerniederschläge in Süd- und Südwest-Deutschland sowie in Nord-Ostdeutschland zurück.

Hier könnte es bis zum Ende dieses Jahrhunderts im Vergleich zu heute ein Minus von bis zu 30 Prozent bei den Sommerniederschlägen geben (vgl. Abb. 3 links, siehe Umschlagsinnenseite hinten). Im Gegensatz hierzu könnte im Winter ganz Deutschland feuchter werden. Vor allem in den Mittelgebirgen Süd- und Südwest-Deutschlands ist über ein Drittel mehr Niederschlag zu erwarten als heute (vgl. Abb. 3 rechts, siehe Umschlagsinnenseite hinten). Blickt man zum deutschen Küstenraum, so fällt auf, dass bis zum Jahr 2100 die Erwärmung der Ostseeküste mit 2,8°C etwas stärker sein könnte als die der Nordseeküste (2,5°C). Obwohl sich an beiden Küsten die jährliche Niederschlagsmenge nicht ändert, dürfte den Touristen gefallen, dass es im Sommer bis zu 25 Prozent weniger regnen könnte. Im Winter gibt es jedoch bis zu 30 Prozent mehr Niederschlag.

Wegen gleichzeitig steigender Wintertemperaturen in den Alpen – bis zum Ende des Jahrhunderts könnten es mehr als 4°C sein – wird der Niederschlag häufiger als Regen denn als Schnee fallen. Fiel in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts dort im Jahr etwa ein Drittel des Gesamtniederschlags als Schnee, könnte es bis Ende des 21. Jahrhunderts nur noch ein Sechstel sein. Diese Veränderungen haben zur Folge, dass sich die Zahl der Tage mit mehr als 3 cm Schneehöhe pro Jahr reduzieren, und zwar stärker in niedrigen Regionen wie z. B. Garmisch-Partenkirchen und Mittenwald, für die Abnahmen um deutlich mehr als die Hälfte möglich sein können. In den höheren Regionen wie Zermatt und St. Moritz wird jedoch nur eine Reduktion um ca. ein Drittel berechnet. Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts könnten daher die schneebedeckten Flächen im Alpenraum sehr stark schrumpfen, wenn die Erwärmung stark zu nimmt (z.B. > 4°C). Doch auch schon bei einer Temperaturzunahme von 3°C, wie sie bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts simuliert wird, können sehr große schneebedeckte Flächen verschwinden, die heute noch als schneesicher gelten.

Diese schnellen und tiefgreifenden Veränderungen des Klimas in Deutschland können gravierende Folgen für die Menschen und die Umwelt haben. Die Schadenpotentiale extremer Wetterereignisse wie Hitzewellen, Starkniederschläge und Stürme sind oftmals noch wesentlich größer als jene der schleichenden Klimaände-

rungen. Deswegen sind zur Zeit am MPI-M detaillierte Analysen der Klimaszenarien in Arbeit, um Aussagen zur Häufigkeit und Stärke künftiger Extremereignisse machen zu können.

Danksagung

Wir danken Katharina Bülow, Stefan Hagemann und Sven Kotlarski vom Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg, die zur Erstellung der Abbildungen und Auswertungen der REMO-Ergebnisse beigetragen haben.

Literatur

- FREI C., CHRISTENSEN, J.H., DEQUE, M., JACOB, D., JONES, R.G., P.L. VIDALE, 2003: Daily precipitation statistics in regional climate models: Evaluation and intercomparison for the European Alps. – *J. Geophys. Res.* **108** (D3), 4124, doi:10.1029/2002JD002287.
- JACOB, D., 2001: A note to the simulation of the annual and inter-annual variability of the water budget over the Baltic Sea drainage basin. – *Meteor. Atmos. Phys.* **77**, 61–73.
- JACOB, D., BÄRRING, L., CHRISTENSEN, O.B., CHRISTENSEN, J.H., HAGEMANN, S., HIRSCHI, M., KJELLSTRÖM, E., LENDERINK, G., ROCKEL, B., SCHÄR, C., SENEVI-RATNE, S.I., SOMOT, S., VAN ULDEN, A., B. VAN DEN HURK, 2007: An inter-comparison of regional climate models for Europe: Design of the experiments and model performance. – *PRUDENCE Special Issue, Climatic Change* **81**, Supplement 1, May 2007.
- NAKICENOVIC, N., ALCAMO, J., DAVIS, G., DE VRIES, B., FENHANN, J., GAFFIN, S., GREGORY, K., GRÜBLER, A., JUNG, T.Y., KRAM, T., LA ROVERE, E.L., MICHAELIS, L., MORI, S., MORITA, T., PEPPER, W., PITCHER, H., PRICE, L., RAIHI, K., ROEHL, A., ROGNER, H.-H., SANKOVSKI, A., SCHLESINGER, M., SHUKLA, P., SMITH, S., SWART, R., VAN ROOIJEN, S., VICTOR, N., Z. DADI, 2000: IPCC Special Report on Emissions Scenarios. – Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.