

# Neue detaillierte Klimasimulationen für Europa erweitern die Grundlage für Handlungsstrategien

## Die wesentlichen Ergebnisse in der Zusammenfassung

Im Rahmen eines Klimaforums an der Brandenburgischen Technischen Universität in Cottbus werden am 11. Dezember 2008 Ergebnisse neuer Klimasimulationen mit dem regionalen Klimamodell COSMO-CLM vorgestellt. Die Simulationen liefern detaillierte Erkenntnisse zu möglichen Klimaentwicklungen in Europa.

Dabei zeigt die Analyse der Rechnungen ein geteiltes Bild für Europas Zukunft im 21. Jh. Die globale Erwärmung wird Europa nicht verschonen. Allerdings fällt sie regional durchaus unterschiedlich aus. Besonders stark ist der Nordosten Europas von der Erwärmung betroffen. Auch in Südeuropa rund ums Mittelmeer steigen die Temperaturen zum Teil kräftig. In Mitteleuropa fällt die Erwärmung hingegen etwas moderater aus. Noch stärker ist der Kontrast beim Niederschlag. Während in Nordeuropa die Jahresniederschläge eher zunehmen, gehen sie in Südeuropa zum Teil deutlich zurück. Mitteleuropa und damit auch Deutschland befinden sich in der Übergangszone zwischen den beiden gegenläufigen Klimaentwicklungen. So ergeben die Simulationen für Deutschland eher gleichbleibende teilweise sogar leicht zunehmende Jahressummen. Allerdings müssen die Änderungen jahreszeitlich differenziert betrachtet werden. So steigen die Temperaturen in Nordeuropa eher im Winter und Frühjahr an, während sich im Mittelmeerraum die Sommermonate am stärksten erwärmen. Für Deutschland ist die Temperaturzunahme im Spätsommer und Herbst etwas stärker als im Winter. Das Frühjahr zeigt hingegen eine deutlich geringere Erwärmung als der Jahresdurchschnitt. Beim Niederschlag wird die ausgeglichene bzw. leicht ansteigende Jahresmenge von einer saisonalen Verschiebung begleitet. Diese führt zu einer Abnahme der Niederschläge im Sommer, insbesondere im Juli und August, die durch eine Zunahme in den übrigen Jahreszeiten, insbesondere im Frühjahr und im Spätherbst, kompensiert wird.

Außerdem verdeutlichen die Simulationen, dass die Klimaänderungen zeitlich nicht gleichmäßig verlaufen. So steigt die Erwärmung in der 2. Hälfte dieses Jahrhunderts deutlich stärker an und kann bis zum Ende des Jh. in Deutschland über 4 Grad betragen. Auch die saisonale Niederschlagsverschiebung intensiviert sich und kann zu einem deutlichen Rückgang sommerlicher Niederschläge um bis zu 30 % führen.

Neu an dieser Studie ist die Abschätzung des Einflusses der internen Variabilität des Modellsystems auf die simulierten Klimaänderungen. Dazu wurde die Klimaentwicklung für einen vorgegebenen Verlauf der Treibhausgasemissionen mehrfach gerechnet. Aus den Unterschieden zwischen den Simulationen lassen sich Schwankungsbreiten für die simulierten Klimaänderungen ableiten, die durch die Variabilität des Klimasystems bedingt und daher unvermeidbar sind.

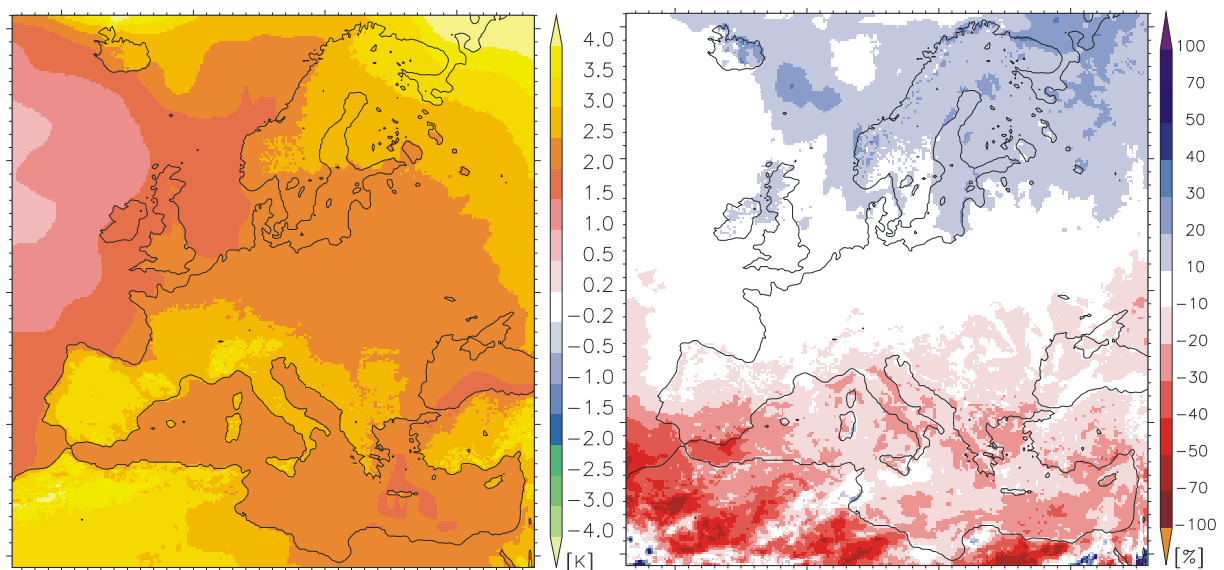
Die Auswertungen der Ergebnisse für verschiedene Treibhausgas-Emissions-Szenarien, Regionen, Zeiträume und Jahreszeiten verbessern die Grundlage für die Ableitung von Handlungsstrategien zur regionalen Anpassung an den nicht mehr zu vermeidenden Klimawandel. Die Simulationen zeigen, dass der Temperaturanstieg in den gerechneten Szenarien nicht auf 2 Grad beschränkt bleibt und die Reduktion von Treibhausgasemissionen keinen weiteren Aufschub duldet. Die Ergebnisse verdeutlichen auch, dass wir jetzt mit der Entwicklung und Umsetzung geeigneter Anpassungsstrategien beginnen müssen, um uns rechtzeitig auf den Klimawandel einzustellen.

## Die Fakten

Die Ergebnisse der Klimaensemble-Simulationen mit dem Modell COSMO-CLM sind bisher für eine Reihe von Klimaparametern, eine Vielzahl von Regionen in Europa und mehrere Zeiträume ausgewertet worden. Auf Grund ihrer rund zehnfach höheren räumlichen Auflösung im Vergleich zu globalen Klimasimulationen lassen die Ergebnisse wesentlich kleinräumigere Analysen zu.

Der Anstieg der Jahresmitteltemperatur liegt für Mitteleuropa in allen Simulationen um bis zu einem Grad unter den Temperaturtrends der besonders stark von der Erwärmung betroffenen Regionen in Nord-Ost- und Südeuropa (siehe Abbildung). Bezogen auf den Referenzzeitraum 1961-1990 zeigen die Simulationen für Deutschland einen Temperaturanstieg bis zur Mitte des 21. Jh. (Klimamittel 2021-2050) zwischen 1 und 1,4 Grad, für das IPCC Treibhausgas-Szenario A1B, das zu einer Verdopplung der globalen CO<sub>2</sub>-Konzentration um 2060 führt. Während der folgenden 30 Jahre, also bis 2080, beschleunigt sich der Anstieg der Jahresmitteltemperaturen für das gleiche Szenario auf 2,2 bis 2,8 Grad und kann über den gesamten Simulationszeitraum von 140 Jahren (also bis 2100) auf Werte zwischen 2,7 und 4,5 Grad anwachsen.

Innerhalb Deutschlands unterscheiden sich die Änderungen der Jahresmittelwerte um bis zu einem halben Grad. Dabei steigt die Temperatur in Süddeutschland insbesondere im Sommer deutlich stärker an als in den küstennahen Regionen Norddeutschlands. Langfristig treten für Deutschland die größten Erwärmungen im Spätsommer und Herbst auf. So liegen die Temperaturanstiege der Monate Juli-September für den Zeitraum 2051-2080 zwischen 2,6 und 3,9 Grad (Szenario A1B) und damit über den Anstiegen der Wintermonate Dezember bis Februar mit 2,0 bis 3,0 Grad. Das Frühjahr zeigt auch für Deutschland die geringste Erwärmung. Bis 2050 bleibt sie für die Monate März bis Mai größtenteils unter einem Grad. Auch eine gleichbleibende Temperatur oder minimale Abnahme der Frühjahrstemperaturen scheint möglich. Dies gilt insbesondere für das schwächere B1 Szenario, das erst nach 2100 zu einer Verdopplung der globalen CO<sub>2</sub>-Konzentration führt. In den folgenden 30 Jahren steigen die Temperaturen im A1B Szenario um 0,8 bis 2,8 Grad. Die Erwärmung im Frühjahr bleibt damit weiterhin unter dem Jahresdurchschnitt, weist aber mit rund zwei Grad die größte Schwankungsbreite der simulierten monatlichen Temperaturanstiege auf.



*Änderung der Jahresmitteltemperatur (links) und des Jahresniederschlags (rechts) über Europa für das Szenario A1B aus einem Vergleich des Zeitraums 2051-2080 mit 1961-1990*

Beim Jahresniederschlag ist für Deutschland kein signifikanter Rückgang zu erkennen. Die Simulationen des A1B-Szenarios zeigen bis zur Mitte des Jahrhunderts sogar eine leichte Zunahme zwischen 0 und 6 Prozent. Dabei nehmen die Jahresniederschläge insbesondere in West- und Norddeutschland zu, während sie in Süddeutschland nahezu unverändert bleiben. Auch eine leichte Abnahme ist hier nicht auszuschließen. Die weitere Entwicklung zeigt keine dramatischen Veränderungen des Gesamtniederschlags in Deutschland (siehe Abbildung). Seine saisonale Verschiebung mit einer Abnahme in den Sommermonaten und einer Zunahme im übrigen Jahr bleibt zunächst noch relativ schwach. Sie macht sich erst in der 2. Hälfte des 21. Jh. deutlich bemerkbar und führt im A1B-Szenario für den Zeitraum 2051-2080 zu einem Rückgang der sommerlichen Niederschläge zwischen 12 und 28 Prozent. Die Jahressumme geht dabei wieder etwas zurück, bleibt aber im Vergleich zum Ausgangszustand nahezu unverändert. Die Abweichungen der simulierten Jahressummen liegen im A1B Szenario für den Zeitraum 2051-2080 im Vergleich zum Referenzzustand 1961-1990 zwischen -4 und +1 Prozent.

Für die Region Brandenburg ergeben sich unter Annahme des A1B-Szenarios Anstiege der Jahresmitteltemperatur bis 2050 von 1,0 bis 1,4 Grad und von 2,1 bis 2,8 Grad bis 2080 (vgl. mit der Periode 61-90), mit maximalen Erwärmungen von 2,5 bis 3,7 Grad im Spätsommer (August/September). Damit unterscheiden sich die Trends nicht wesentlich von der mittleren Temperaturentwicklung in Deutschland.

Beim Niederschlag ist bis 2080 keine Abnahme in den Jahreswerten zu erkennen. Die simulierten Änderungen schwanken zwischen -4,0 und +3,5 Prozent. Nach 2050 nehmen jedoch die Sommerniederschläge, analog zur gesamtdeutschen Entwicklung, stark ab. Insbesondere für die Monate Juli und August muss hier mit Rückgängen der mittleren monatlichen Niederschläge zwischen 8 und 32 Prozent gerechnet werden. Dieser Verlust wird durch entsprechende Zunahmen insbesondere zwischen Februar und April und im Oktober/November kompensiert. Insgesamt ist somit kein genereller Wassermangel zu befürchten. Die jahreszeitlichen Verschiebungen stellen jedoch eine technologische Herausforderung an ein angepasstes Wassermanagement dar.

## **Hintergrundinformationen**

Die Grundlage dieser Ergebnisse bilden Klimasimulationen mit dem regionalen Klimamodell COSMO-CLM. Bei diesem Modell handelt es sich um eine an Langzeitsimulationen angepasste Version des Modells COSMO, das beim Deutschen Wetterdienst für die täglichen Wettervorhersagen verwendet wird. Ermöglicht wurden die Simulationen von einem Konsortium wissenschaftlicher Institutionen, der sog. CLM-Community, das durch den Lehrstuhl für Umweltmeteorologie an der Brandenburgischen Technischen Universität in Cottbus koordiniert wird. Die technische Durchführung der Modellsimulationen erfolgte durch die Gruppe Modelle & Daten am Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M) auf Hochleistungsrechnern des Deutschen Klimarechenzentrums (DKRZ) in Hamburg. Die Rechnungen wurden gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und den DKRZ-Gesellschaftern. Die Daten werden archiviert und bereitgestellt über die CERA-Datenbank des World Data Center for Climate (WDCC).

Die Simulationen erfassen den Zeitraum von 1960 bis 2100 und das Gebiet Europas. Ihre räumliche Auflösung liegt bei rund 18 km. Die für diese Simulationen erforderlichen Randbedingungen stammen aus Modellsimulationen, die vom MPI-M mit dem globalen gekoppelten Atmosphäre-Ozean-Modell ECHAM5/MPI-OM durchgeführt worden sind. Die Ergebnisse dieser globalen Simulationen sind u.a. auch in den aktuellen 4. Sachstandsbericht

des IPCC zum globalen Klimawandel eingeflossen. Sowohl das gegenwärtige Klima als auch verschiedene Klimaszenarien wurden dabei mehrfach gerechnet (sog. Ensemble-Simulationen).

Das regionale Simulationsensemble besteht aus drei Modellrechnungen (sog. Realisierungen) für die jüngste Vergangenheit (1960-2000) und vier für das 21. Jahrhundert (2001-2100). Für die zukünftige Entwicklung der Treibhausgase wurden die IPCC-Emissionsszenarien A1B und B1 zugrunde gelegt und so die Simulationen der Vergangenheit mit jeweils zwei Modellrechnungen für jedes Szenario in die Zukunft fortgesetzt. Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Realisierungen ergeben sich dabei nur aus den Abweichungen in den Anfangszuständen der globalen Simulationen. Diese führen zu unterschiedlichen zeitlichen Abfolgen in den simulierten Wetterabläufen, entsprechen aber dem gleichen Klimaantrieb, der ausschließlich durch die jeweils angenommenen Treibhausgasemissionen vorgegeben wird. Über den gesamten Simulationszeitraum gemittelt, repräsentieren die unterschiedlichen Ergebnisse den gleichen Klimazustand. Die Abweichungen zwischen den verschiedenen Realisierungen sind eine Folge der internen Variabilität des Klimasystems. Die Vergleiche der beiden Realisierungen eines Emissionsszenarios mit den drei Simulationen des Gegenwartsklimas ermöglichen eine Abschätzung dieser Variabilität des Klimasystems und damit auch der natürlichen Unsicherheit, die mit jeder Projektion einer zukünftigen Klimaentwicklung unvermeidlich verbunden ist. Daher ergeben die regionalen Szenarienrechnungen immer Bereiche (von-bis) für die analysierten Klimaänderungen und nie einzelne Werte. So wird eine Spannweite dessen ermittelt, was unter den vorgegebenen Klimaantrieben möglich wäre. Diese Bereiche müssen derart interpretiert werden, dass jede Klimaänderung innerhalb des Bereiches gleich wahrscheinlich ist, also insbesondere der Mittelwert dieses Bereiches nicht die wahrscheinlichste Klimaänderung wiedergibt. Da diese Bereiche eine Folge der natürlichen Unsicherheiten der Klimaänderung sind, kann mit ihrer Hilfe die Belastbarkeit oder Verlässlichkeit der simulierten Klimaänderungen für verschiedene Regionen in Europa besser bewertet werden.