

# Regionale Klima-Szenarien – kein »Spiel ohne Grenzen«!

Klimamodelle belegen trotz aller Unsicherheit: »Es wird wärmer!«

Lothar Zimmermann

**Regionale Szenarien aus Klimamodellen ... schön und gut, aber was sagen sie uns denn eigentlich, wenn wir am liebsten »harte« Daten und Fakten zum künftigen Klimawandel hätten? Kann es so etwas wie sicheres Wissen über die Zukunft eigentlich geben? Wie wir alle wissen, ist dem nicht so, aber trotzdem gibt es Methoden, um künftige Entwicklungen abzuschätzen. Dazu gehört die Szenario-Technik.**

Es ist schwierig, die Zukunft vorherzusagen, sei es nun persönlich für einen selbst oder an der Börse, wenn wir Aktien kaufen und verkaufen. Beim Wetter merken wir das schon, wenn wir wissen wollen, wie es in vier Tagen aussieht. Wir erfahren die Unsicherheit am eigenen Leib, wenn unser lang geplantes Grillfest ins Wasser fällt.

## **Vielfalt der Szenarien verbessert die Vorhersage**

Nun wüssten wir gerne – und alle am Wald interessierten Menschen besonders – angesichts des Klimawandels, wie das Klima in der Zukunft sein wird. Welche Baumarten werden dann gut angepasst sein? Klimamodelle liefern uns hierfür Szenarien, d. h. mögliche künftige Klimaentwicklungen (sog. Klimaprojektionen), wenn bestimmte wirtschaftliche, gesellschaftliche und technologische Entwicklungen eintreffen, die den Ausstoß an Treibhausgasen und Aerosolen wesentlich bestimmen. Wenn wir viele unterschiedliche Szenarien berücksichtigen, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass wir auch die tatsächliche künftige Entwicklung damit abbilden. Solche »Ensemble«-Betrachtungen werden schon heute in der Wettervorhersage verwendet, um deren Trefferwahrscheinlichkeit zu erhöhen. Wir können wegen der chaotischen Struktur des Wetters nicht konkret vorhersagen, wie viel es beispielsweise am 31. Dezember 2043 regnen oder wie viel Niederschlag tatsächlich in den Jahren 2020–2050 fallen wird. Aber wenn wir ein gewisses Szenario der Entwicklung der Treibhausgase annehmen und mit Klimamodellen berechnen lassen, können wir sagen, wie viel Niederschlag dann im Mittel in einer hinreichenden langen Klimaperiode, beispielsweise 2021–2050, fallen wird.

## **Von »global« zu »regional«**

Betrachten wir nun ein pessimistisches, ein mittleres und ein optimistisches Szenario der künftigen Entwicklung der Treibhausgase, so erhalten wir schon eine Bandbreite der künftig möglichen Klimaentwicklungen. In den internationalen Berichten des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) finden sich solche Spannweiten beispielsweise für die

Entwicklung der globalen Temperatur in den nächsten 100 Jahren (s. Beitrag S. 34). Hier werden besonders die Ergebnisse globaler Klimamodelle dargestellt und auf Regionen wie Nordeuropa oder den Mittelmeerraum bezogen. Globale Klimamodelle erreichen wegen ihres Rechenaufwandes allerdings nur eine Auflösung von höchstens 250 km Rasterweite horizontal. Prozesse wie Wolkenbildung oder Konvektion im Ozean finden aber auf kleineren Skalen als diese Modellgitterabstände statt, so dass sie nicht direkt berechnet werden können. Ihr mittlerer Effekt jedoch lässt sich mit Hilfe einer auf physikalischen Prinzipien beruhenden Beziehung zwischen der großräumigen Strömung und diesen Vorgängen darstellen. Man spricht hier von Parametrisierung (BMBF 2003). Mit dieser Mittelung werden Änderungen beispielsweise im Niederschlag geglättet. Interessant für uns ist aber nicht die Änderung in Mitteleuropa, sondern wie sich die Niederschlagsverhältnisse in Bayern oder noch besser im borkenkäfergeplagten Westmittelfranken ändern. Deshalb rechnen regionale Klimamodelle die Ergebnisse der globalen Modelle auf diese Ebene herunter.

## **»Skalensprünge«**

Prinzipiell gibt es zwei unterschiedliche Regionalisierungsmethoden (KLIWA 2006): Die *statistischen* Methoden gehen z. B. davon aus, dass zwischen der großräumigen Druck- und Temperaturverteilung über dem Nordatlantik und Europa und den Witterungsgrößen an Klimastationen statistische Beziehungen bestehen. Auf dieser Grundlage können dann meteorologische Größen wie Temperatur und Niederschlag auf einzelne, regional höher aufgelöste Gebiete abgebildet werden. Dabei wird angenommen, dass die am historischen Datenmaterial gewonnenen Beziehungen auch künftig gelten.

*Dynamische* regionale Klimamodelle basieren auf den gleichen Prinzipien wie die globalen Klimamodelle, aber sie beziehen sich lediglich auf ein begrenztes Gebiet der Erde. Dabei betrachten sie ein Rechengebiet wie z. B. Europa mit einer horizontalen Skala von 1.000 bis 5.000 km Seitenlänge. Der Antrieb der regionalen Klimamodelle an den seitlichen Modellrändern kann mit den Ergebnissen aus dem globalen Klimamodell erfolgen. Solch eine eingebettete Kombination nennt man »genestet«. Dies kann auch mehrmals wiederholt

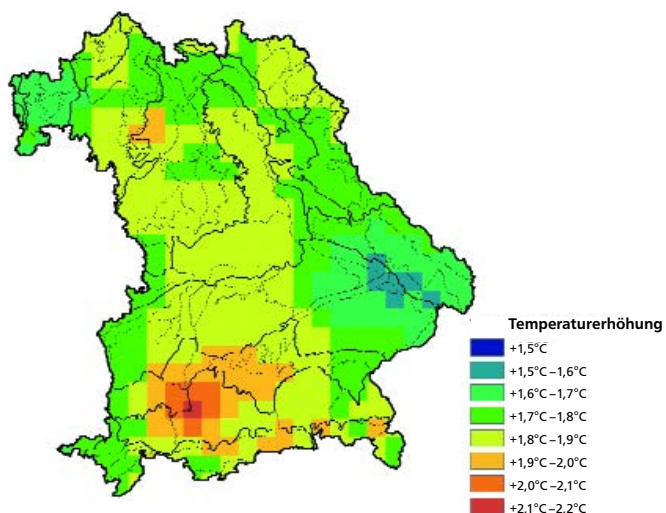


Abbildung 1: Regionales Klimamodell WETTREG (Firma CEC, Potsdam), Erhöhung der Jahresmitteltemperatur (2071–2100 zu 1961–90, SRES B1, Mittel aus 10 Realisationen) mit forstlichen Wuchsgebieten in Bayern

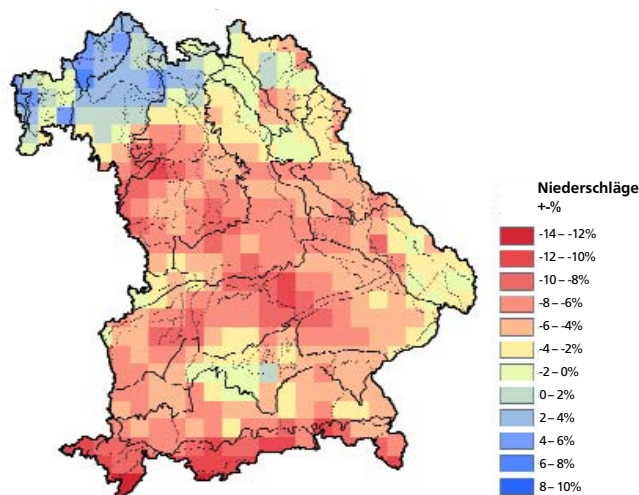


Abbildung 2: Regionales Klimamodell WETTREG (Firma CEC, Potsdam), Änderung der Niederschlagssummen (2071–2100 zu 1961–90, SRES B1, Mittel aus 10 Realisationen) mit forstlichen Wuchsgebieten in Bayern

werden (also von einem globalen Klimamodell zu einem regionalen Klimamodell mit grober Auflösung, dann zu einem regionalen Klimamodell mit feiner Auflösung), um die räumliche Auflösung über der betrachteten Region schrittweise zu erhöhen.

### Nur Unsicherheiten? Es gibt nichts Besseres!

Ein entscheidender Vorteil dynamischer regionaler Klimamodelle besteht in der verbesserten Beschreibung der Wechselwirkung atmosphärischer Prozesse mit der Topographie. Große Unsicherheiten bestehen noch in der Simulation des sommerlichen Wasserkreislaufs aufgrund von Schwierigkeiten bei der Behandlung der feuchten Konvektion zur Gewitterentstehung und der Bodenhydrologie. Die Güte regionaler Klimamodelle wird damit getestet, wie gut sie das derzeitige Klima nachsimulieren können. Hierzu wird das regionale Klimamodell mit interpolierten Messdaten (sog. Reanalysen) an seinen Rändern angetrieben. Die Ergebnistraster dieses »Validierungslaufs« werden dann zum einen wieder mit Messungen von Klimastationen im Rechengebiet verglichen, und zum anderen mit einem »Kontrolllauf«, in dem die seitlichen Randbedingungen vom globalen Klimamodell kommen, unter der Annahme derzeitiger CO<sub>2</sub>-Konzentrationen. Der Kontrolllauf ist wichtig, da sich die Klimaänderung aus dem Vergleich von Kontroll- zu Szenariolauf ergibt. Beim Szenariolauf wird das regionale Modell über die Ränder vom globalen Modell angetrieben, unter der Annahme zunehmender CO<sub>2</sub>-Konzentrationen. Der Fehler kann bei beiden Läufen als gleich angenommen werden. Darin liegt ein entscheidender Vorteil der Ableitung der Klimaänderung aus dem Vergleich zwischen Kontroll- und Szenariolauf.

Über die Güte der Simulation der regionalen Klimamodelle entscheidet, ob bei der Simulation des Kontrolllaufs ein

realistischer Antrieb des Modells an den Modellrändern durch die Ergebnisse des verwendeten globalen Klimamodells (z. B. in Bezug auf die Lage und Amplitude von Zugbahnen von Tiefdruckgebieten) vorliegt. Die Realitätsnähe der dynamischen regionalen Klimamodelle hängt damit wesentlich von der Güte der globalen Klimamodelle ab. Aber auch die statistischen Methoden setzen auf den Ergebnissen der globalen Klimamodelle auf, so dass auch statistisch basierte Regionalisierungsverfahren ungenaue Ergebnisse liefern, wenn die globalen Klimasimulationen nicht präzise sind. Je nach statistischem Verfahren (Leitgröße Temperatur oder Wetterlagen) wird die Information aus dem globalen Modell jedoch im Vergleich zu den dynamischen regionalen Klimamodellen mit einer geringeren Intensität genutzt. Damit wird auch der Fehlereinfluss des globalen Klimamodells auf die regionalen Klimaszenarien geringer.

### Aktuelle regionale Klimaszenarien für Deutschland

2006 wurden im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA 2006) zwei regionale Klimamodellierungen für ganz Deutschland mit drei unterschiedlichen Emissionsszenarien A2, A1B, B1 (siehe Kasten) angefertigt, um Ensemble-Szenarien zu erhalten. Hierzu wurden das dynamische regionale Klimamodell REMO (MPI 2007) sowie das statistische Modell WETTREG (CEC Potsdam) (Abbildung 1 und 2) verwendet. Beide bedienen sich der Ergebnisse des globalen Modells ECHAM5/MPI-OM. Der Vergleich beider Regionalisierungsmethoden erhöht auch den Umfang des Ensembles. Somit liegt für ganz Deutschland eine aktuelle, einheitliche Datenbasis vor, die in der Klimafolgenforschung genutzt werden kann. Hinzu kommen regionale Klimaszenarien in einzelnen Bundesländern mit dem Vorläufermodell ECHAM4 (KLIWA 2006, HLU 2006, SLUG 2003, TLUG 2006).

Die Weiterentwicklung globaler wie regionaler Klimamodellierung stellt einen kontinuierlichen Prozess dar, der wegen der rechenzeitintensiven Simulationen eng an die Weiterentwicklung der Rechnerkapazitäten gekoppelt ist. Sowohl bei globalen als auch bei regionalen Klimamodellen werden trotz einiger prinzipieller Schwierigkeiten große Anstrengungen zu deren Verbesserung unternommen. Sie führten in den letzten Jahren und werden auch künftig – diese Vorhersage ist berechtigt – zu vielversprechenden Fortschritten führen.

Trotzdem zeigten alle Klimaszenarien des zweiten Berichts des IPCC übereinstimmend, bestätigt im aktuellen dritten Bericht, dass es wärmer werden wird. Diese Sicherheit in der Unsicherheit haben wir und können unser Handeln danach ausrichten.

---

Dr. Lothar Zimmermann ist Mitarbeiter im Sachgebiet ›Klima und Wasserschutz‹ der LWF. Zuvor war er im Projekt KLIWA (›Klimaänderung und Auswirkungen für die Wasserwirtschaft‹) tätig. [zimm@lwf.uni-muenchen.de](mailto:zimm@lwf.uni-muenchen.de)

#### 40 neue Emissions-SRES-Szenarien beschreiben die Welt-Klimaentwicklung des 21. Jahrhunderts

Im IPCC Report 2001 wurden 40 neue SRES-Szenarien (nach: Second Report on Emission Szenarios) vorgestellt, die mögliche Entwicklungen im 21. Jahrhundert in den Bereichen Bevölkerungswachstum, ökonomische und soziale Entwicklung, technologische Veränderungen, Ressourcen-Verbrauch und Umweltmanagement berücksichtigen. Die 40 Szenarien werden in die vier Hauptgruppen A1, A2, B1 und B2 unterteilt.

Die *A1-Szenarien* beschreiben eine zukünftige Welt mit sehr starkem Wirtschaftswachstum, einer Weltbevölkerung, die in der Mitte des 21. Jahrhunderts ihr Maximum erreicht und danach abnimmt, und einer schnellen Einführung neuer und effizienterer Technologien. Die Welt wird zunehmend globaler, d. h. regionale Unterschiede bei den Einkommen, in kultureller und sozialer Hinsicht und in der technologischen Entwicklung gleichen sich weitgehend aus.

Die *A2-Szenarien* gehen von einer sehr heterogenen Welt aus, in der die lokalen Besonderheiten bewahrt bleiben, die Geburtenhäufigkeit weiter regional sehr unterschiedlich bleibt und die Weltbevölkerung daher ständig zunimmt. Die ökonomische Entwicklung ist primär regional bestimmt, das Wachstum des Bruttosozialprodukts und die technologische Entwicklung sind regional unterschiedlicher und langsamer als bei den anderen Hauptgruppen.

Die künftige Welt der *B1-Szenarien* entwickelt sich ähnlich global orientiert wie die der A1-Gruppe, jedoch mit einem schnellen Wandel der wirtschaftlichen Struktur zu einer Dienstleistungs- und Informationsökonomie, mit einer Reduktion des Materialverbrauchs und der Einführung sauberer und Ressourcen schonender Technologien. Die Entwicklung ist auf eine globale Lösung des Nachhaltigkeitsproblems im wirtschaftlichen, sozialen und Umwelt-Bereich ausgerichtet, einschließlich einer ausgewogenen Wohlstandsverteilung.

Das *B2-Szenario* setzt auf lokale Lösungen der wirtschaft-

#### Literatur

BMBF – BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (Hrsg.) (2003): *Herausforderung Klimawandel*. Broschüre

HLUG – HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (2006): *Integriertes Klimaschutzprogramm – INKLIM 2012*

KLIWA (Hrsg.) (2006): *Regionale Klimaszenarien für Süddeutschland. Abschätzungen der Auswirkungen für Süddeutschland*. KLIWA-Berichte, Heft 9

MPI – MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR METEOROLOGIE HAMBURG (Hrsg.) (2007): *Informationen zum regionalen Klimamodell REMO*

SLUG – SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (Hrsg.) (2003): *Informationen zu den regionalen Klimaszenarien in Sachsen*

TLUG – THÜRINGISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (Hrsg.) (2006): *Informationen zu den regionalen Klimaszenarien in Thüringen*

UBA – UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.) (2006): *Neue Daten zu den Klimaänderungen*

lichen, sozialen und umweltorientierten Nachhaltigkeitsfragen. Die Weltbevölkerung nimmt ständig zu, wenn auch weniger stark als bei den A2-Szenarien. Die Wirtschaftsentwicklung bewegt sich auf mittlerem Niveau, der technologische Wandel ist weniger schnell und regional unterschiedlicher als bei den A1- und B1-Szenarien. Der Umweltschutz und eine ausgewogene Verteilung des Wohlstandes spielen zwar ebenfalls eine wichtige Rolle, aber auf lokaler und regionaler Ebene.

Text nach: IPCC, 2001: *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Summary for Policymakers and Technical Summary of the Working Group I Report*, Cambridge 2001, 63 S.

#### SRES-Szenarien nach IPCC 2001

