

# Regionale Auswirkungen des Klimawandels über Deutschland und dem Rhein-Einzugsgebiet

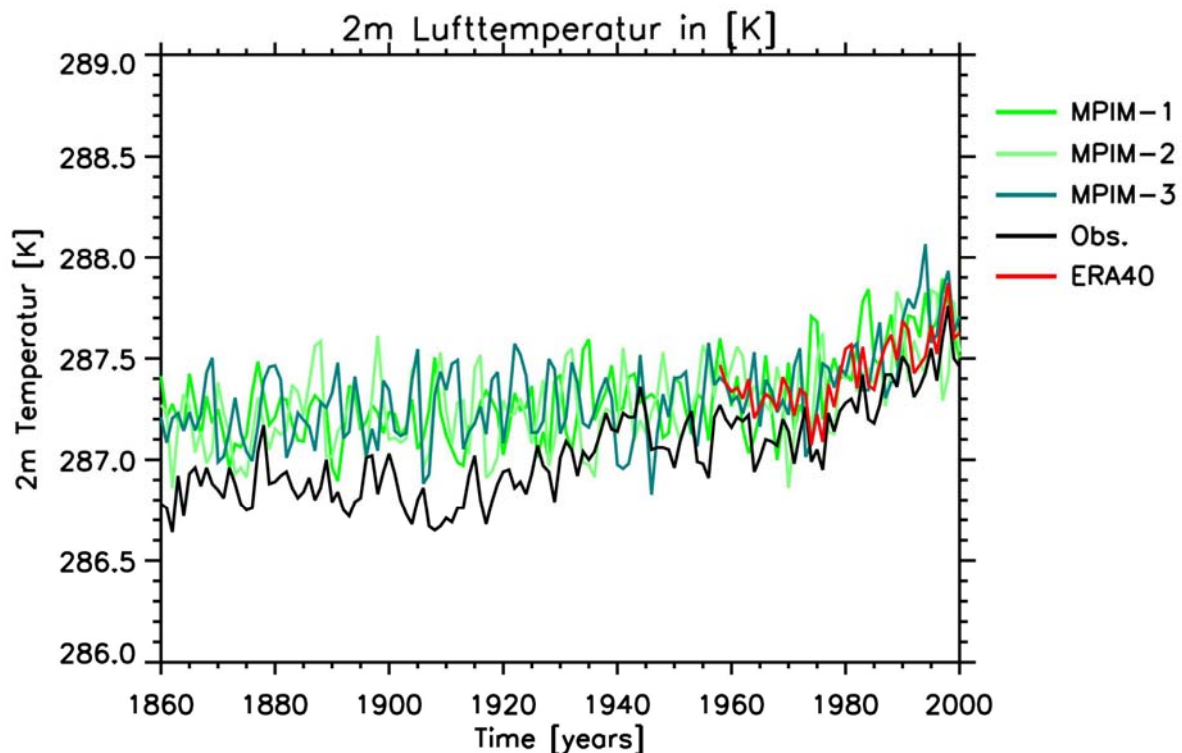
STEFAN HAGEMANN und DANIELA JACOB

Max-Planck-Institut für Meteorologie, Bundesstr. 53, 20146 Hamburg

Kontakt: [stefan.hagemann@zmaw.de](mailto:stefan.hagemann@zmaw.de), [daniela.jacob@zmaw.de](mailto:daniela.jacob@zmaw.de)

## 1 Einleitung

Es ist unumstritten, dass sich das Klima der Erde in den letzten Dekaden verändert 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  $10^{\circ}\text{C}$  erreichten.



**Abb. 1:** Rekonstruierte (Obs.: JONES ET AL. 2006; ERA40: UPPALA ET AL. 2005) und simulierte globale Jahresmittelwerte der bodennahen Lufttemperatur in 2m Höhe.

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. In Abb. 1 sind diese Rekonstruktionen in schwarz und rot dargestellt und zeigen somit den Verlauf der global gemittelten 2 m-Temperatur in Kelvin. Simulationsergebnisse verschiedener globaler Klimamodelle zeigen ähnliche Trends (J. F. Royer, pers. Kommunikation). Die grünen Kurven beschreiben Simulationen, die am Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M) mit dem neuen Klimamodellsystem ECHAM5/MPI-OM (JUNGCLAUS ET AL. 2006) im Jahr 2004 durchgeführt wurden. Sie liegen nahe an den Beobachtungen und zeigen realitätsnahe Ergebnisse. Obwohl sich die Modelle der verschiedenen europäischen Forschungszentren in der Simulation der 2 m Temperatur des letzten Jahrhunderts etwas unterscheiden (jedoch nur um ca. 1K), zeigen sie sehr ähnliche Trends für eine Projektion bis 2100. Diese Projektionen werden Klimaszenarien genannt und im nächsten Abschnitt beschrieben.

## 1.1 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 (NAKIĆENOVIĆ ET AL. 2000).

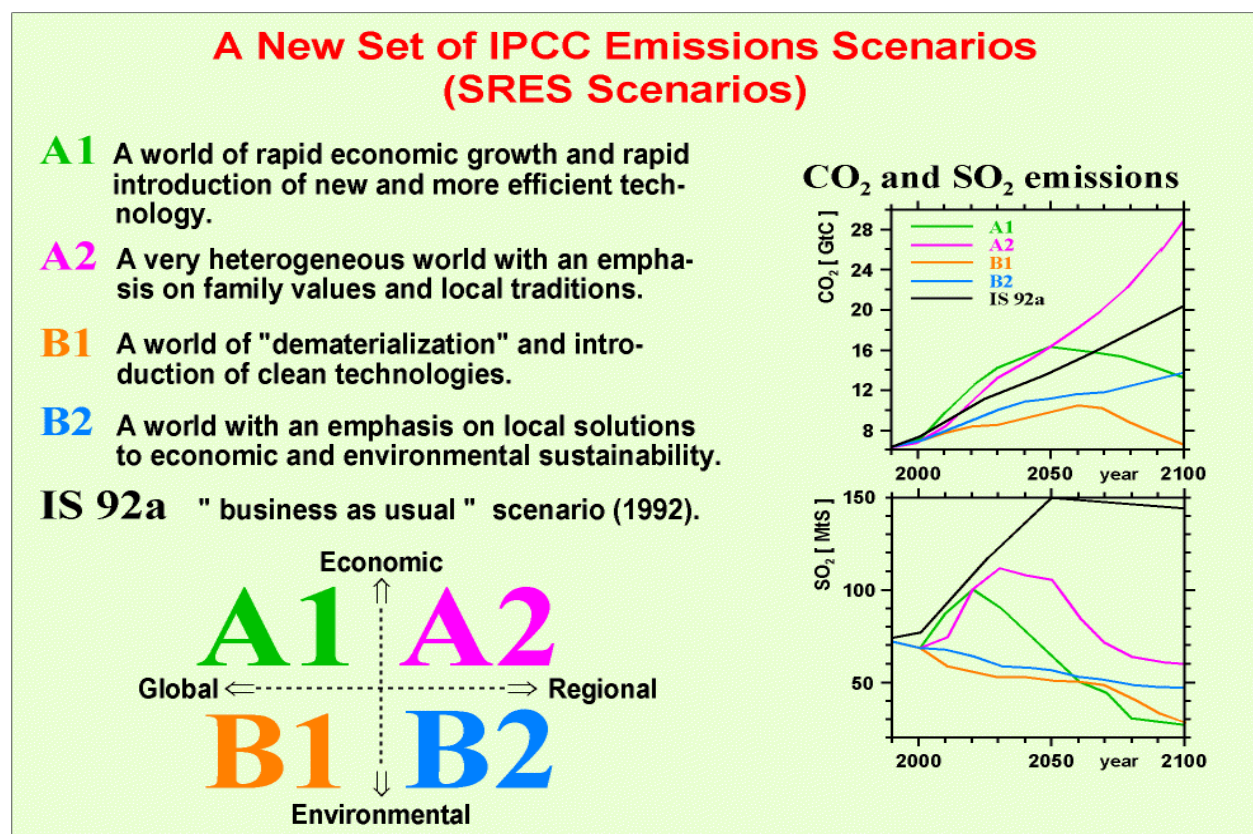
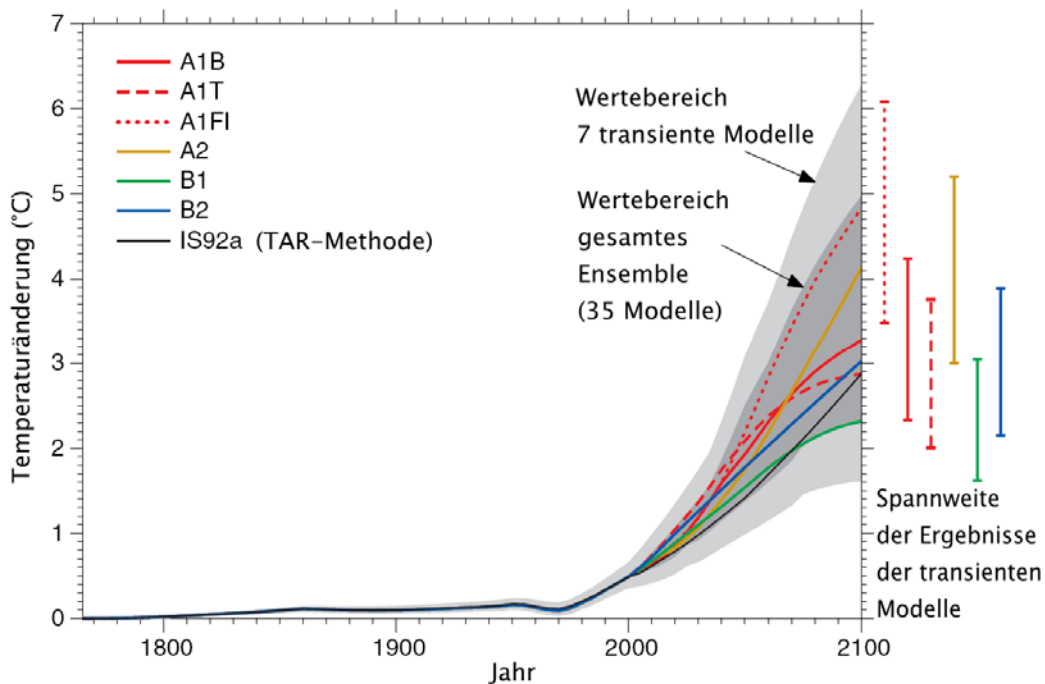


Abb. 2: Prinzipielle Struktur der IPCC-Szenarien

Abb. 2 zeigt die vier Hauptszenarien (A1, B1, A2, B2) und die zugehörigen Emissionsentwicklungen für CO<sub>2</sub> und SO<sub>2</sub> von 2000 bis 2100. Diese Emissionen werden in die globalen und regionalen Klimamodelle eingespeist und bewirken durch zahlreiche nicht-lineare Wechselwirkungen Veränderungen des globalen und regionalen Klimas.



**Abb. 3:** Änderungen der globalen mittleren bodennahen Temperatur wie sie von verschiedenen Modellen unter 7 verschiedenen Varianten der SRES Szenarien bis 2100 berechnet werden.

In Abb. 3 (aus dem IPCC-Bericht entnommen) sind Änderungen der globalen mittleren bodennahen Temperatur dargestellt, wie sie von verschiedenen Modellen unter 7 verschiedenen Varianten der SRES Szenarien bis 2100 berechnet werden. Betrachtet man die globale mittlere Temperaturänderung bis 2050, so liegt sie in allen Berechnungen um ungefähr  $1,5^\circ$ , während sich zum Ende des Jahrhunderts eine Spanne von ca.  $1,5^\circ$  bis  $5,5^\circ$  aufweitet.

## 1.2 Regionales Klima

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 regionale Klimamodelle mit viel Detailinformation aus der Region und ihrer Umgebung in die globalen Modelle eingebettet. Wie mit einer Lupe kann dann das Klima der Region im Detail untersucht werden.

Im Vortrag werden neben der Methode der Klimamodellierung Ergebnisse aus den neuesten regionalen Klimaszenarien mit einer räumlichen Auflösung von 10 km vorgestellt, deren Auswertung zur Zeit im Gange und noch nicht abgeschlossen ist. Hierbei liegt das Hauptaugenmerk auf den einzelnen Komponenten des Wasserkreislaufs und ihrer möglichen Veränderungen. Im folgenden werden vor allem Ergebnisse existierender, vorangegangener Studien präsentiert.

## 2 Ergebnisse

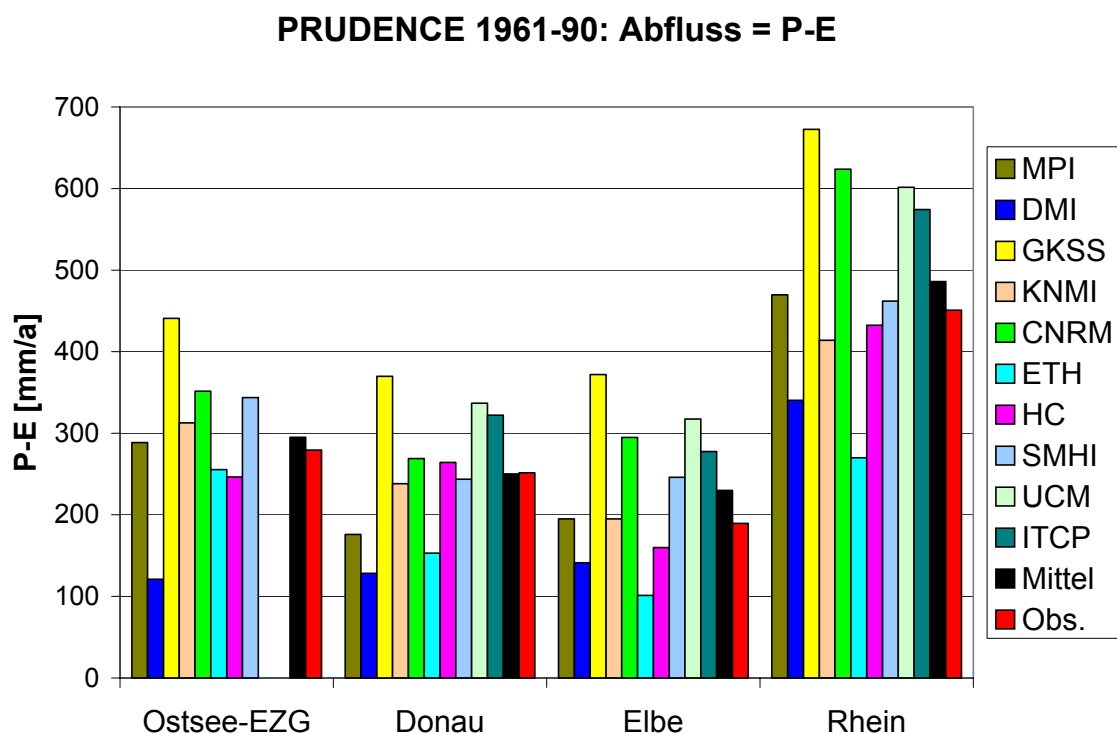
Um die Robustheit der projizierten, regionalen Klimaänderungen eines regionalen Klimamodells zu untersuchen, werden Vergleiche zu den Ergebnissen anderer regionaler Klimamodelle durchgeführt, wie es zum Beispiel in dem EU-Projekt PRUDENCE (CHRISTENSEN AND CHRISTENSEN 2006; Prudence.dmi.dk) geschehen ist. Derartige Vergleiche erhöhen die Sicherheit in den Aussagen und

zeigen die möglichen Schwankungsbreiten/Unsicherheiten, die auch heute noch in der Methode zu finden sind. Kapitel 2.1 zeigt als Beispiel einige Resultate aus dem PRUDENCE-Projekt.

Geschwindigkeit und Ausmaß des Klimawandels beeinflussen, wie und in welchem Tempo wir uns anpassen müssen. Daher müssen Entscheidungsträger in Verwaltungen und Unternehmen wissen, wie stark ungefähr und wo etwa sich künftig das Klima ändert. Es geht um Antwort auf die Frage: Welche Regionen in Deutschland werden in welchem Ausmaß vom Klimawandel betroffen sein? Mit dieser Frage beschäftigt sich Kapitel 2.2, das erste Ergebnisse aus den neuesten, hochaufgelösten Klimastudien zeigt, die am MPI-M für Deutschland erstellt wurden. Schließlich wird in Kapitel 2.3 am Beispiel des Rheineinzugsgebietes untersucht, wie sich der globale Klimawandel auf Extremereignisse in Deutschland auswirken könnte.

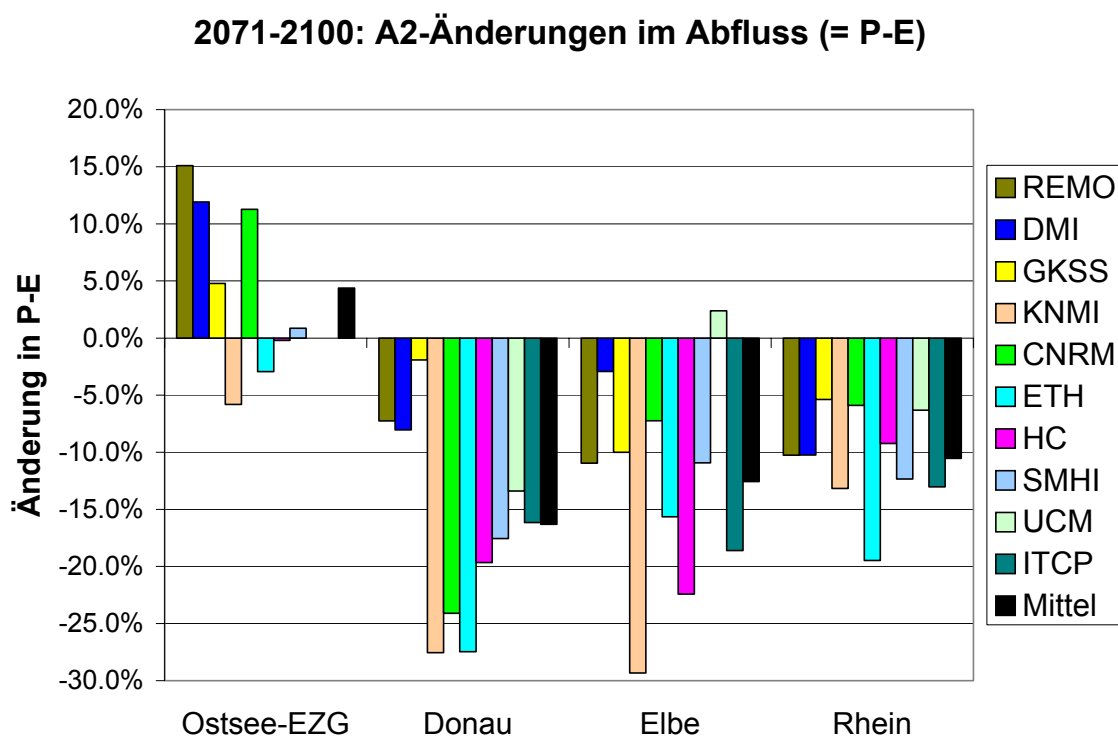
## 2.1 PRUDENCE-Resultate

In Abb. 4 ist der berechnete Abfluss als Niederschlag (P) minus Verdunstung (E) für vier große Einzugsgebiete für den Zeitraum 1961 bis 1990 dargestellt (HAGEMANN UND JACOB 2006). An dem Vergleich haben 10 regionale Klimamodelle aus Europa teilgenommen (siehe JACOB ET AL. 2006), der schwarze Balken beschreibt das Mittel über alle Modelle und der rote Balken die Beobachtungen. Das Modellmittel scheint der Realität am nächsten zu kommen und die Variation zwischen den Modellen erscheint immer noch relativ groß. Alle Modelle sind in der Lage, die klimatologische Wasserbilanz mit dem richtigen Vorzeichen zu beschreiben, jedoch mit unterschiedlicher Genauigkeit.



**Abb. 4:** Simulierter und beobachteter Abfluss (= Niederschlag P – Verdunstung E) in den Jahren 1961-1990 (HAGEMANN UND JACOB 2006)

Mögliche Änderungen des Abflusses für A2-Szenario-Bedingungen (NAKICENOVIC ET AL. 2000) und den Zeitraum 2071 bis 2100 sind in Abb. 5 für verschiedene Modelle und Einzugsgebiete dargestellt. Hierbei wird im A2-Szenario ein relativ starker, zukünftiger Anstieg der Treibhausgase angenommen. Bei dieser möglichen Zukunftsentwicklung scheint es für das Ostsee-Einzugsgebiet keinen klaren Trend zu geben, wohin gegen es eine deutliche Abnahme der Jahresabflüsse in den drei anderen Einzugsgebieten geben kann. Erstmals wird der Trend in P-E von allen Klimamodellen gleich prognostiziert: Die Jahresabflussmenge in Rhein, Elbe und Donau nimmt unter A2-Emissionsbedingungen bis 2100 eindeutig ab. Alle Modelle zeigen dies (UCM enthält nur Teile des Elbeeinzugsgebiets), jedoch mit unterschiedlicher Stärke: Die prognostizierten Reduktionen betragen je nach Modell und Einzugsgebiet zwischen 5% und 40%. Hierbei ist anzumerken, dass es sich um Abnahmen in den Jahresabflüssen handelt, die im wesentlichen auf Veränderungen in der Niederschlagsmenge und der Verdunstung zurückzuführen sind. Genauere Betrachtungen zeigen, dass es starke jahreszeitliche Unterschiede gibt.



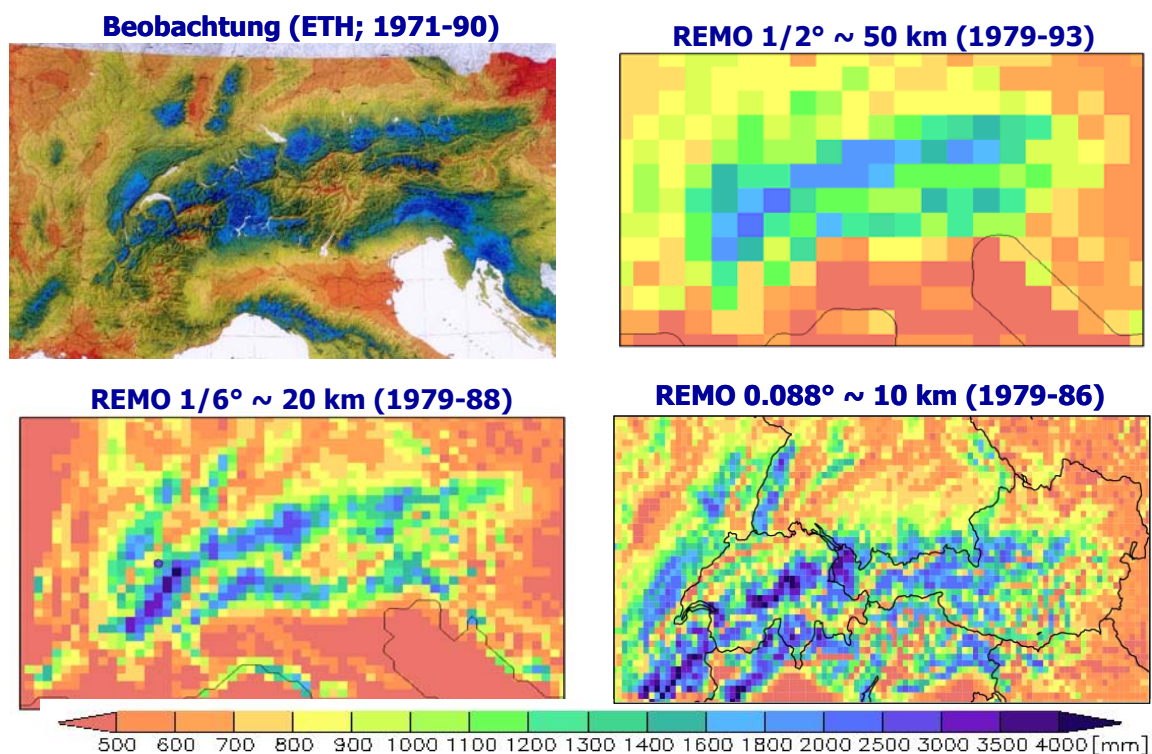
**Abb. 5:** Simulierte Änderungen des Abflusses (= Niederschlag P – Verdunstung E) in den Jahren 2071-2100 im Vergleich zu 1961-1990 (HAGEMANN UND JACOB 2006).

## 2.2 Hoch aufgelöste Erkenntnisse über Klimaänderungen in Deutschland

Geschwindigkeit und Ausmaß des Klimawandels beeinflussen, wie und in welchem Tempo wir uns anpassen müssen. Daher müssen Entscheidungsträger in Verwaltungen und Unternehmen wissen, wie stark ungefähr und wo etwa sich künftig das Klima ändert. Es geht um Antwort auf die Frage: Welche Regionen in Deutschland werden in welchem Ausmaß vom Klimawandel betroffen sein?

Im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) hat das MPI-M unter der Leitung von Dr. Daniela Jacob 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) zeigt die Klimaentwicklung des vergangenen Jahrhunderts realitätsnah, wie der Vergleich zu Beobachtungen ergibt. Diese Überprüfung ist notwendig, um die Güte der Modellergebnisse zu bewerten. REMO liefert detaillierte Informationen, zum Beispiel für die deutschen Mittelgebirge. Gerade für diese ist etwa die Modellierung von Niederschlagsveränderungen besonders kompliziert, weil die Ergiebigkeit der lokalen Niederschläge stark von der Form der Erdoberfläche beeinflusst ist. Sie hängt auch davon ab, aus welcher Richtung die Luftmassen das Gebirge anströmen. REMO bildet diese so genannten Luv- und Lee-Effekte — jene Gebiete, an denen Wolken vor dem Gebirge abregnen, und den Regenschatten hinter dem Gebirge — sehr gut ab. Die Klimasimulationen mit 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. 6, die 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, 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.

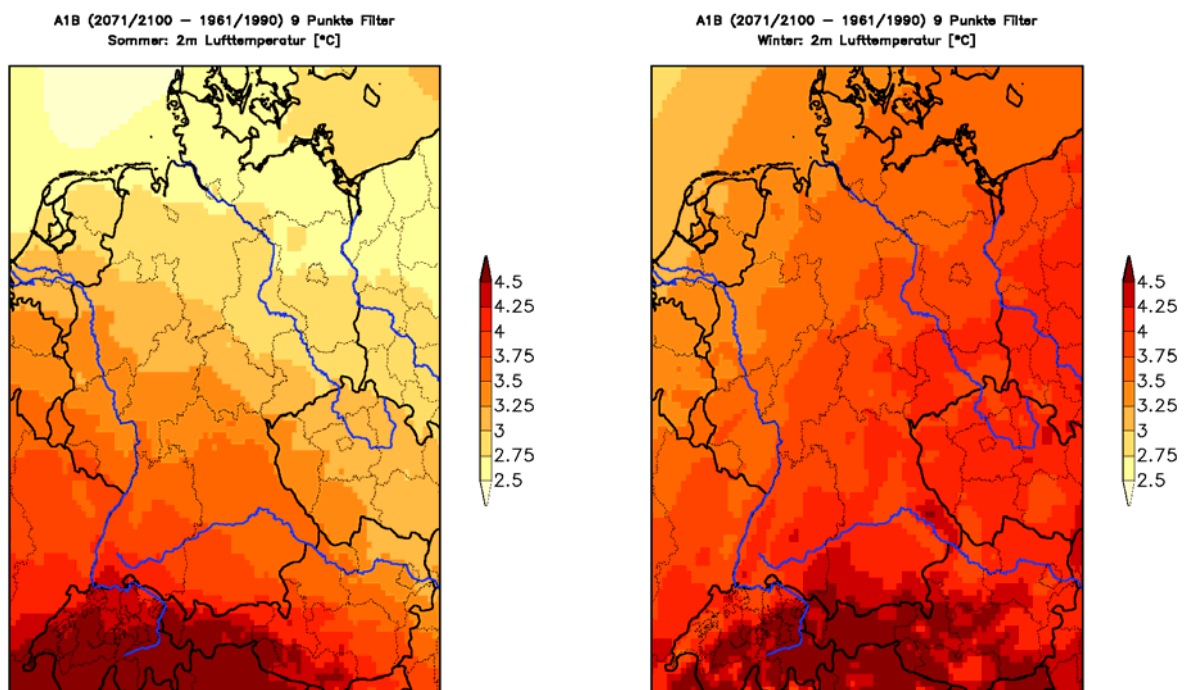


**Abb. 6:** Jahresniederschlagsmenge über dem Alpenraum aus Beobachtungen (oben links; FREI ET AL. 2003) und REMO-Simulationen mit einer horizontalen Auflösung von 50 km (oben rechts), 20 km (unten links) und 10 km (unten rechts).

Bis zum Jahre 2100 wurden Klimaänderungs-Simulationen mit REMO für die drei Szenarien B1, A1B und A2 durchgeführt, die grob als Szenarien mit eher niedrigen, mittleren und hohen Emissionsraten kategorisiert werden können. Die Ergebnisse dieser Klimasimulationen lassen sich auf folgende

Aussage verdichten: Je nach Anstieg der Treibhausgase könnten bis zum Ende des Jahrhunderts die Temperaturen in Deutschland — vor allem im Süden und Südosten — um mehr als 4°C im Vergleich zu den letzten 50 Jahren steigen. Im Sommer kann es in weiten Teilen Deutschlands weniger Niederschläge geben. Im Winter könnten im Süden und Südosten mehr Niederschläge fallen, wobei allerdings wegen der gestiegenen Temperaturen weniger Schneefallen wird.

Die Ergebnisse im Detail: Mehr Treibhausgase führen in Deutschland zu einer mittleren Erwärmung, die im Jahr 2100 — abhängig von der Höhe zukünftiger Treibhausgasemissionen — zwischen 2,5°C und 3,5°C liegt (Abb. 7). Diese Erwärmung wird sich saisonal und regional unterschiedlich stark ausprägen. Am stärksten dürften sich der Süden und Südosten Deutschlands im Winter erwärmen. Bis zum Jahr 2100 könnten die Winter hier um mehr als 4°C wärmer werden als im Zeitraum 1961 bis 1990 (Abb. 7 - rechts).

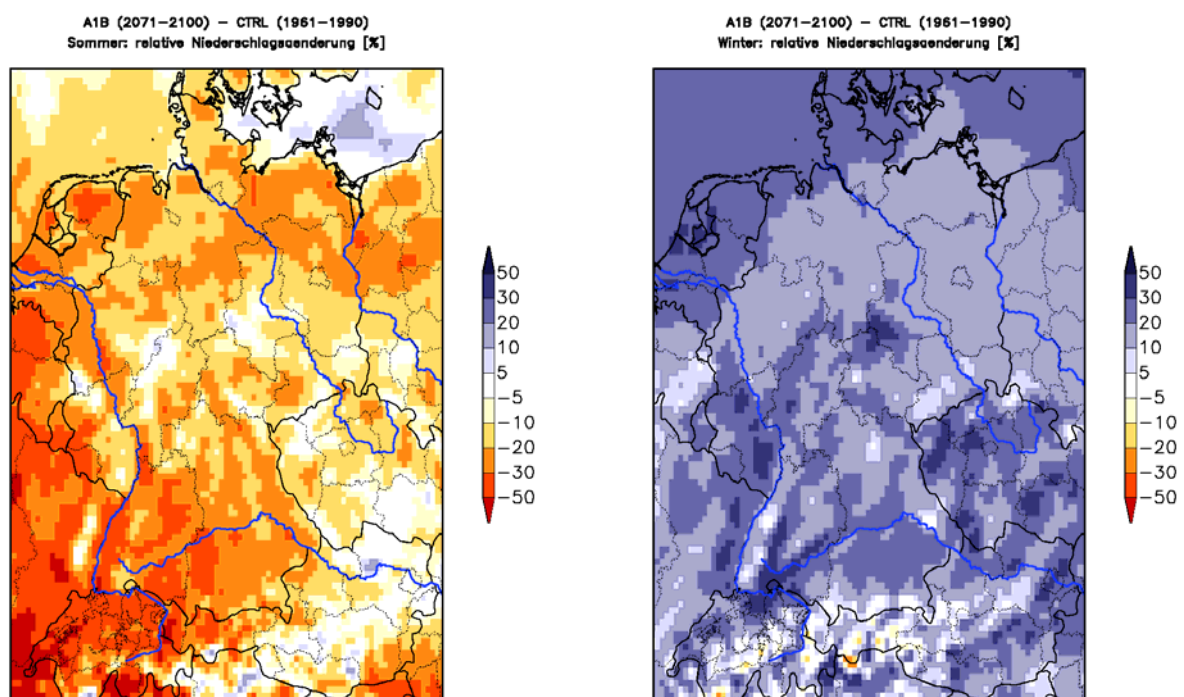


**Abb. 7:** Relative Temperaturänderung im Sommer (linkes Bild) und im Winter (rechtes Bild) für die Jahre 2071-2100 gegenüber dem Vergleichszeitraum 1961-90 unter der Annahme des A1B-Szenarios.

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 (Abb. 8 - links). Im Gegensatz hierzu könnte im Winter ganz Deutschland feuchter werden. Vor allem in den Mittelgebirgen Süd- und Südwest-Deutschlands ist dann über ein Drittel mehr Niederschlag zu erwarten als heute (Abb. 8 - rechts). 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.

An der Westseite des Schwarzwalds könnten die Niederschläge etwas abnehmen. Im Schwarzwald und an dessen Ostseite hingegen gibt es tendenziell mehr Niederschlag. Möglicher Grund für die geänderten Niederschläge im Schwarzwald könnte sein, dass Wetterlagen mit Ostwind zukünftig mehr Regen bringen, da die mitgeführte Luft wärmer ist und deswegen mehr Feuchtigkeit enthalten kann. Diese Erklärung ist aber noch relativ unsicher und wird in künftigen Studien noch genauer untersucht werden.

Blickt man zum deutschen Küstenraum, so fällt auf, dass bis zum Jahr 2100 die Erwärmung der Ostseeküste mit  $2,8^{\circ}\text{C}$  etwas stärker sein könnte als die der Nordseeküste ( $2,5^{\circ}\text{C}$ ). 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.



**Abb. 8:** Relative Niederschlagsänderung 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.

Diese schnellen und tief greifenden Veränderungen des Klimas in Deutschland können gravierende Folgen für die Menschen und die Umwelt haben. Die Schadenspotentiale extremer Wetterereignisse wie Hitzewellen, Starkniederschläge und Stürme sind oftmals noch wesentlich größer als jene der schleichenden Klimaänderungen. Deswegen sind zur Zeit am MPI-M detaillierte Analysen der Klimaszenarien in Arbeit, um Aussagen zur Häufigkeit und Stärke künftiger Extremereignisse machen zu können.

Im folgenden Kapitel 2.3 werden Ergebnisse über zukünftige Änderungen von Extremereignissen vorgestellt, die in früheren Studien mit dem regionalen Klimamodell REMO erstellt wurden.

## 2.3 Resultate bezüglich extremer Ereignisse für das Rhein-Einzugsgebiet

Im Folgenden werden REMO-Ergebnisse für das Rheineinzugsgebiet präsentiert, die unter der Annahme des B2 Szenario erstellt wurden, das im Vergleich zu A2 einen schwächeren Anstieg der globalen Mitteltemperatur prognostiziert.

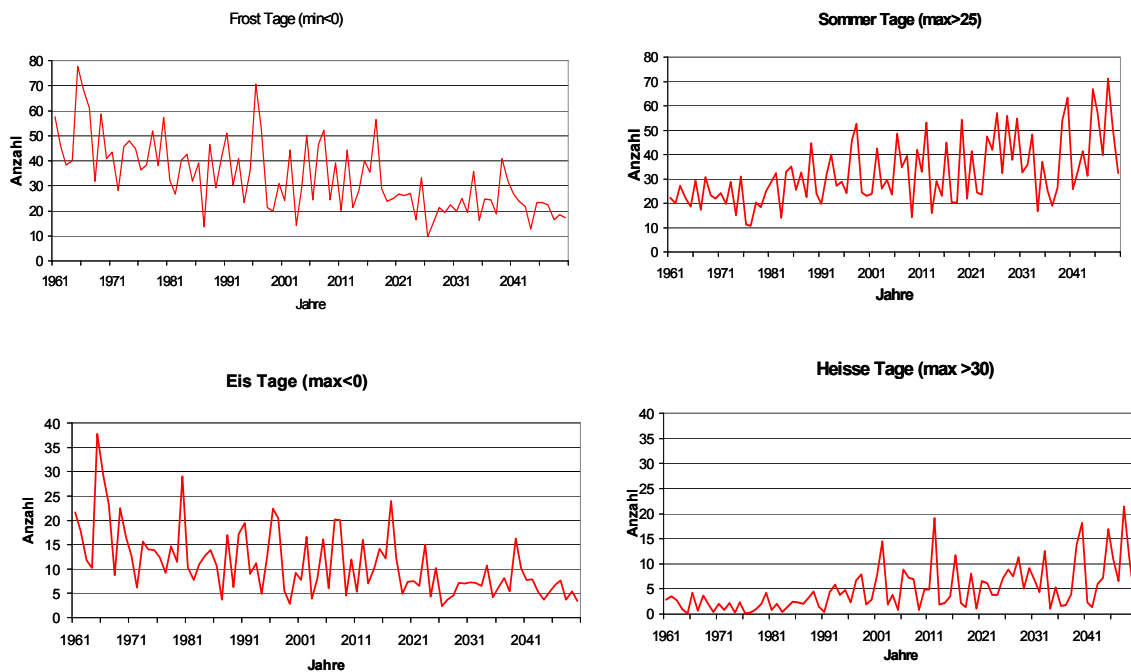


Abb. 9: REMO B2-Szenario-Ergebnisse für das Rhein-Einzugsgebiet

Zwischen 1960 und 2100 können die Sommertemperaturen am Rhein um ca.  $3^{\circ}\text{C}$  ansteigen, und die Zahl der Sommer- und heißen Tage wird dann zunehmen (Abb. 9). Zusätzlich wird es zu einem Anstieg der Anzahl der Sommertagsperioden kommen, d.h. der Perioden von aufeinanderfolgenden Tagen, wo die maximale Tagestemperatur über  $25^{\circ}\text{C}$  liegt (Abb. 10). Die Wintertemperaturen steigen ebenfalls, was einher geht mit einem Rückgang der Frost- und Eistage (Abb. 9). In den Winterniederschlägen ist hingegen kein klarer Trend zu finden ist (neuere REMO-Ergebnisse mit 10 km Auflösung zeigen einen Anstieg der Winterniederschläge). Sie scheinen etwa auf dem heutigen Niveau zu bleiben. Dagegen reduzieren sich in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts die Sommerniederschläge deutlich, was sich auch auf die Zahl der trockenen Tage auswirkt (Abb. 9). Die Abnahme im mittleren Rheinabfluss lässt sich dadurch erklären, dass sich in den Wintermonaten kaum etwas verändert, wohingegen es in den Sommermonaten deutlich weniger regnet und auf Grund der Temperaturzunahme auch noch mehr verdunstet. Somit steht weniger Wasser zum Abfluss zur Verfügung.

Die Zunahme der heißen Tage, die erhöhte Anzahl der Sommertagsperioden, sowie die Rückgänge im Sommer-Niederschlag und im Abfluss werden sich auch auf die Niedrigwasserstände im Rhein auswirken. So zeigt eine Studie mit REMO und dem HD-Modell (HAGEMANN AND DÜMENIL GATES 2001) in der 1/6-Grad Version (S. KOTLARSKI, pers. Kommunikation) unter der Annahme des B2-Szenarios, das bis zum Jahr 2050 die Niedrigwasserperioden mit einer Dauer bis zu 21 Tagen an der Abflussmessstation Kaub zunehmen können (Abb. 11).

Alle diese Aussagen gelten, wenn nicht gesondert angegeben, für das gesamte Rhein-Einzugsgebiet. Hierbei kann es regional durchaus zu starken Unterschieden kommen.

## Anzahl der Sommertagperioden mit $T_{\max} > 25\text{C}$

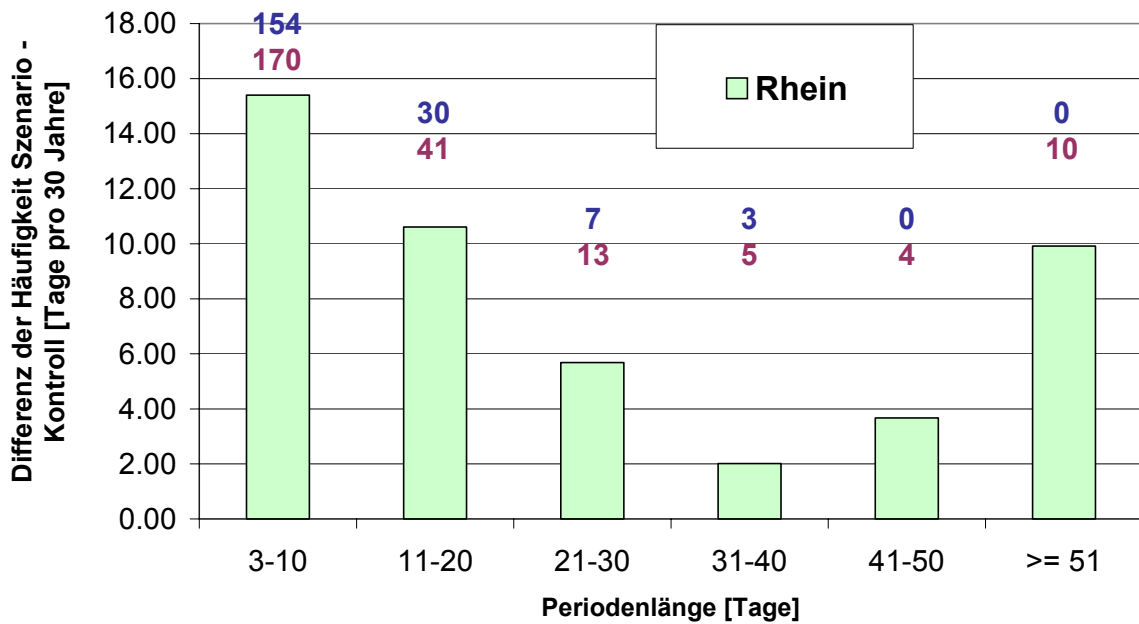


Abb. 10: Simulierte Änderung (REMO B2 Szenario) der Anzahl der Sommertagsperioden mit maximalen Tagestemperaturen über  $25^{\circ}\text{C}$  im Rhein-Einzugsgebiet für die Jahre 2071-2100 (rote Zahlen) im Vergleich zu 1961-1990 (blaue Zahlen).

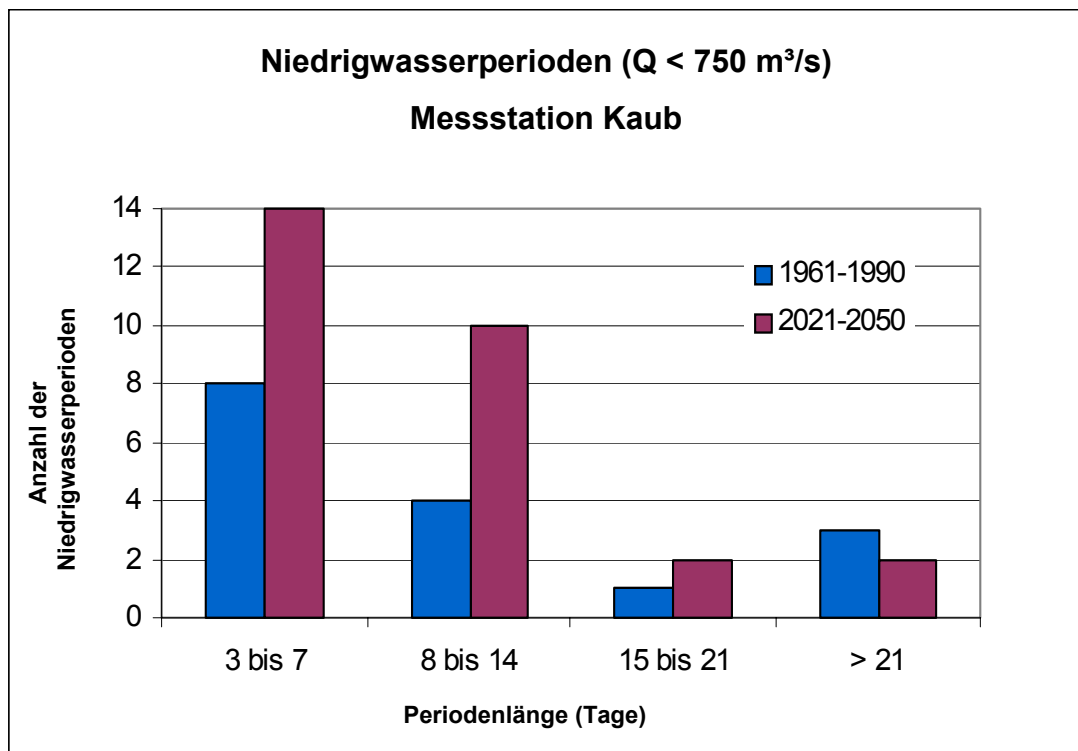


Abb. 11: Simulierte Anzahl der Niedrigwasserperioden (Abfluss kleiner als  $750\text{m}^3/\text{s}$ ) an der Messstation Kaub

### 3 Zusammenfassung

Es wurden Ergebnisse der regionalen Klimamodellierung vorgestellt, die vorwiegend mit dem regionalen Klimamodell REMO unter der Annahme verschiedener IPCC-Szenarien erstellt wurden. Wenn gleich die absoluten Werte der projizierten Klimaänderungen mit Unsicherheiten behaftet sind, so sind die generellen Trends diverser Auswirkungen der verschiedenen, möglichen globalen Emissionsentwicklungen über Deutschland relativ robust. Hierzu zählen die bei einer generellen Erwärmung erwartete Zunahme des Niederschlags im Winter, dessen Rückgang im Sommer und eine generelle Abnahme der Schneebedeckung im Winter. Ferner wird erwartet, dass die Zahl der heißen Tage und der Perioden mit Temperaturen über 25 °C zunehmen wird, dass die sommerlichen Starkniederschläge häufiger und heftiger werden, und dass die Niedrigwasserperioden (bis 20 Tage) zunehmen werden.

#### Danksagung

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

### 4 Literaturverzeichnis

- CHRISTENSEN, J.H., CHRISTENSEN, O.B. (2006): A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century, *Climatic Change* (PRUDENCE special issue), accepted.
- FREI C., CHRISTENSEN, J.H., DEQUE, M., JACOB, D., JONES, R.G., UND VIDALE P.L. (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.
- HAGEMANN, S., UND DÜMENIL GATES, L. (2001): Validation of the hydrological cycle of ECMWF and NCEP reanalyses using the MPI hydrological discharge model, *J Geophys Res* **106**, 1503-1510.
- HAGEMANN, S., UND JACOB, D. (2006): Gradient in the climate change signal of European discharge predicted by a multi-model ensemble, *Climatic Change*, PRUDENCE Special Issue, accepted
- 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, *Meteorol 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., SENEVIRATNE, S.I., SOMOT, S., VAN ULDEN, A., UND VAN DEN HURK, B. (2006): An inter-comparison of regional climate models for Europe: Design of the experiments and model performance, *Climatic Change* (PRUDENCE Special Issue), accepted.
- JONES, P.D., PARKER, D.E., OSBORN, T.J., UND BRIFFA, K.R. (2006): Global and hemispheric temperature anomalies--land and marine instrumental records. In Trends: A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.

- JUNGCLAUS, J.H., BOTZET, M., HAAK, H., KEENLYSIDE, N., LUO, J.-J., LATIF, M., MAROTZKE, J., MIKOLAJEWICZ, U., UND ROECKNER, E. (2006): Ocean circulation and tropical variability in the coupled model ECHAM5/MPI-OM, *J. Climate*, 19, 3952-3972
- 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., UND DADI, Z. (2000): IPCC Special Report on Emissions Scenarios, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- UPPALA, S., ET AL. (2005): The ERA-40 Re-analysis, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, Oct. 2005 Part B