

Januar 2004

Klimaentwicklung in der Schweiz bis 2050

Ein kurzer Überblick

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE, 3003 Bern
Kontaktperson: Michel Piot

Auftragnehmer:

OcCC, Organe consultatif pour le Changement Climatique
Schwarztorstrasse 9
3007 Bern

Bearbeitung:

Roland Hohmann
Urs Neu

In Absprache mit:

Christophe Frei
Rolf Philipona
Christoph Schär
Martin Wild

Diese Studie wurde im Rahmen des Forschungsprogramms „Energiewirtschaftliche Grundlagen“ des Bundesamts für Energie BFE erstellt. Für den Inhalt ist allein der/die Studiennehmer/in verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE

Worblentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen · Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 · office@bfe.admin.ch · www.ewg-bfe.ch

Klimaentwicklung in der Schweiz bis 2050

Durchschnittstemperatur

Global:

Die durchschnittliche globale Oberflächentemperatur wird von 1990 bis 2050 um 0.7 bis 2.6 K ansteigen. Dieser Bereich ergibt sich aus den SRES-Szenarien des *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) und verschiedenen Klimamodellen. Die SRES-Szenarien beschreiben die Emissionen wichtiger Treibhausgase und Aerosole basierend auf unterschiedlichen, aber plausiblen Annahmen über die technologische Entwicklung, die Bevölkerungsentwicklung, das wirtschaftliche Wachstum und die Globalisierung.

[Quelle: IPCC 2000; IPCC 2001]

Schweiz:

Im Rahmen des EU-Projekts PRUDENCE werden Klimaszenarien mit Hilfe von regionalen Klimamodellen für Europa hergeleitet und deren Unsicherheiten quantifiziert. Die hier aufgeführten Szenarien (und Unsicherheitsbereiche) wurden mit einem vorläufigen Satz von 6 Regionalmodellen und 2 globalen Emissionsszenarien (SRES A2 und B2) bestimmt. Dabei wurden zunächst Sommer- und Winterdurchschnittswerte für die Alpennordseite und die Alpensüdseite aus den Modellrechnungen für die Periode 2071 bis 2100 berechnet. Anschliessend wurden diese Werte unter Berücksichtigung der gesamten Bandbreite der SRES-Szenarien (gemäss IPCC 2001) auf das Jahr 2050 skaliert. Der Einbezug verschiedener Regionalmodelle sowie die Berücksichtigung verschiedener Emissionsszenarien bei der Skalierung quantifiziert zwei wesentliche Unsicherheitsfaktoren. Allerdings stützen sich die betrachteten Regionalmodelle auf Daten von demselben Globalmodell, weshalb davon ausgegangen werden muss, dass die Unsicherheiten in der vorliegenden Auswertung unterschätzt werden. Mit der Verfügbarkeit von weiteren Modellresultaten aus dem PRUDENCE Projekt, werden die Szenarien und Unsicherheiten in naher Zukunft noch verbessert werden.

Die Resultate sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Sie zeigen eine deutliche Erwärmung im Sommer und im Winter sowohl auf der Alpensüdseite als auch auf der Alpennordseite.

Tabelle 1: Aus regionalen Klimaszenarien berechnete Temperaturveränderungen in der Schweiz von 1990 bis 2050 [°C].						
	Alpennordseite			Alpensüdseite		
	tief	mittel	hoch	tief	mittel	hoch
Sommer (JJA)	+0.8	+2.3	+5.1	+1.0	+2.5	+5.6
Winter (DJF)	+0.7	+1.6	+3.2	+0.7	+1.6	+3.2

Die berechneten Werte decken die ganze Bandbreite der erwarteten Klimaänderung ab. Sie berücksichtigen die unterschiedlichen Entwicklungen der Szenarien sowie die Unsicherheiten aus den verschiedenen Klimamodellen. Sie berücksichtigen jedoch keine natürlichen Schwankungen, welche für die betrachtete Zeitperiode von 60 Jahren schätzungsweise 0.5-1.0 °C betragen

könnten. Der im mittleren Szenario erwartete Trend (im Jahresmittel ca. 2 °C pro 60 Jahre) entspricht ungefähr dem in den letzten 30 Jahren beobachteten Trend (Erwärmung um ca 1°C).

[Quelle: Frei 2003; IPCC 2000; IPCC 2001; Begert et al. 2003, Christensen et al. 2002]

Verschiebung der Saisonalität der Niederschläge

Im 21. Jahrhundert werden Niederschläge wahrscheinlich in mittleren bis hohen Breiten zunehmen. Modellrechnungen zeigen im Alpenraum tendenziell eine Abnahme der Niederschläge im Sommer und eine Zunahme der Niederschläge im Winter.

Die gleiche Tendenz ergibt die Regionalisierung der globalen Modellrechnungen. Ähnlich wie bei den Temperaturszenarien kann die regionale Veränderung der Niederschläge mit der globalen Klimaänderung verknüpft werden. Die so berechneten Sommer- und Winterdurchschnittswerte für die Alpennordseite und die Alpensüdseite sind in der Tabelle 2 zusammengestellt. Die Werte zeigen eine Abnahme der Sommerniederschläge und eine Zunahme der Winterniederschläge.

Die Abschätzungen der künftigen Entwicklung der Niederschläge sind mit grossen Unsicherheiten verbunden. Die Zunahme der winterlichen Niederschlagstätigkeit ist in Übereinstimmung mit Beobachtungen aus der Vergangenheit.

Tabelle 2: Aus regionalen Klimaszenarien berechnete Niederschlagsveränderungen in der Schweiz von 1990 bis 2050.						
	Alpennordseite			Alpensüdseite		
Sommer (JJA)	–3%	–15%	–35%	–5%	–23%	–45%
Winter (DJF)	+5%	+10%	+23%	+5%	+10%	+23%

[Quelle: Frei 2003; IPCC 2000; IPCC 2001, Schmidli et al. 2001]

Erwartete Zunahme der Extremereignisse im Niederschlagsbereich

Aufgrund des Prozessverständnisses und von Modellrechnungen wird heute mit einer Zunahme der Intensität von Starkniederschlägen im Winterhalbjahr gerechnet:

- Bei einer Intensivierung des Wasserkreislaufs könnten in den Alpen vor allem die Starkniederschläge von langer Dauer zunehmen.
- Die verfügbaren regionalen Modellanalysen zeigen für die 2. Hälfte des 21. Jahrhunderts eine Zunahme des maximalen jährlichen Tagesniederschlags um 10-25%.
- In einer Analyse von Regionalmodellen aus dem PRUDENCE Projekt wurde gefunden, dass andauernde (5-tägige) winterliche Niederschlagsereignisse mit einer Wiederkehrperiode von heute 15 Jahren in der zweiten Hälfte des 21. Jh. eine Wiederkehrperiode von 3-8 Jahren erreichen könnten (bei einer Verdoppelung der CO₂ Konzentration gegenüber heute).

- Eine umfassende Analyse von globalen Klimamodellen zeigt, dass bei einer Verdoppelung des CO₂-Gehalts der Atmosphäre extrem niederschlagsreiche Winter in der Schweiz (heutige Wiederkehrperiode 40 Jahre) 3–5 mal häufiger werden könnten.
- Die projizierte Zunahme von Starkniederschlägen deckt sich qualitativ mit der beobachteten Zunahme von intensiven Winterniederschlägen in der Schweiz.
- Es bestehen grosse Unterschiede im Muster der regionalen Veränderungen zwischen den einzelnen Modellen.

Aussagen über die Veränderung von Starkniederschlägen im Sommer sind noch sehr unsicher, da die verfügbaren Modellergebnisse stark variieren. Es gibt Hinweise darauf, dass die Intensität von Sommerniederschlägen nicht im selben Masse abnimmt wie der mittlere Sommerniederschlag (siehe Tabelle 2). In einigen Modellen wird trotz Abnahme der mittleren Niederschläge eine Zunahme von intensiven Sommerniederschlägen gefunden.

[Quelle: OcCC 2003, Frei and Schär 2001, Christensen and Christensen 2003, Schöll 2003]

Schneeschnmelze und Abflussbildung

Prognosen über die Verschiebung der Schneeschnmelze und den damit verbundenen Abflussspitzen sind schwierig. Allgemein wird davon ausgegangen, dass die wegen der tiefen Wintertemperaturen Hochwasser-freie Perioden verkürzt werden.

Die Rolle des Schnees als Rückhalt des Winterniederschlags und als Wasserlieferant bei der Schneeschnmelze ist in den Einzugsgebieten der Alpen, die stark nach der Höhe gegliederten sind, besonders wichtig. Als Folge der Erwärmung wird die Schneefallgrenze um einige hundert Meter ansteigen und in tiefen und mittleren Höhenlagen wird es vermehrt regnen und weniger schneien. In den hochalpinen Lagen führt die Zunahme der mittleren Winterniederschläge zu grösseren Schneemengen.

Im Mittelland wird die Häufigkeit der Winterhochwasser zunehmen. Bei hoch gelegener Nullgradgrenze können grössere Teile der Einzugsgebiete überregnet werden. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Starkniederschlag mit einer hohen Nullgradgrenze zusammenfällt und einen extremen Hochgebirgsabfluss verursacht, nimmt zu.

Im Frühling entstehen Hochwasser, wenn die Schneeschnmelze mit starken Niederschlägen zusammentrifft. Ob die grösseren Schneemengen in hochalpinen Lagen oder die vermehrten Regenfälle in mittleren und tiefen Höhenlagen für die Hochwasserbildung wichtiger ist, hängt von den Bedingungen in den jeweiligen Einzugsgebieten ab.

Im Sommer muss in Gebieten ohne wesentliche Schneemengen als Wasserspeicher (Alpensüdseite) infolge verminderter Niederschlagsmengen und erhöhter Temperatur im Durchschnitt mit einem verminderten Abfluss und verschärftem Niederwasser sowie mit trockeneren Böden gerechnet werden. Aber auch die von Schmelzwasser gespeisten Flüsse auf der Alpennordseite dürften bei kleineren Schneereserven im Sommer und Herbst geringere Abflüsse aufweisen.

[Quelle: OcCC 2003]

Die Entwicklung der Globalstrahlung

Die totale Sonnenstrahlung, die auf die Atmosphäre auftrifft („Solarkonstante“), schwankt im Bereich von 0.1% innerhalb des 11-jährigen Sonnenzyklus und rund 0.2% soweit Abschätzungen in die Vergangenheit zurückreichen. Beim Durchgang durch die Atmosphäre wird die Sonnenstrahlung durch atmosphärische Spurengase und Partikel sowohl gestreut als auch absorbiert. Veränderungen der auf der Erde auftreffenden gesamten kurzwelligen Strahlung (Globalstrahlung) sind primär von der Wolkenbedeckung und dem Gehalt an atmosphärischen Spurengasen und Aerosolpartikeln abhängig.

Aufgrund des anthropogenen Treibhauseffektes wird global eine Zunahme des Wasserdampfgehaltes erwartet. Ebenfalls wird weltweit vorläufig mit einer Zunahme der Aerosolkonzentrationen gerechnet. Die Entwicklung der Wolkenbedeckung ist hingegen noch unklar. Der gegenwärtige Kenntnisstand lässt wegen der Zunahme der Treibhausgase inkl. Wasserdampf und der direkten und indirekten Aerosoleffekte eine Abnahme der Globalstrahlung erwarten.

Von 1960 bis 1990 wurde eine weltweite Abnahme der Globalstrahlung beobachtet. Auch im Alpenraum wurde in den letzten 20 Jahren eine Abnahme gemessen. Diese Abnahme wurde sowohl auf der Alpennordseite, wo die Bewölkung zugenommen hat, als auch auf der Alpensüdseite, wo die Bewölkung abgenommen hat, festgestellt. Die beobachtete Entwicklung stimmt mit den Modellrechnungen relativ gut überein.

Die Modelle lassen eine weitere Abnahme der Globalstrahlung aufgrund der Wasserdampfzunahme in der Grössenordnung von global etwa 2 W/m^2 erwarten. Da in Europa im Gegensatz zur globalen Entwicklung nicht mit einer weiteren Zunahme der Aerosolkonzentration gerechnet wird, werden Aerosoleffekte kaum grosse Auswirkungen haben. Künftige Veränderungen der Wolkenbedeckung, die auch aufgrund von Veränderungen der atmosphärischen Zirkulation zustande kommen können, sind schwer abschätzbar. Für die Schweiz ist eine Abnahme der Globalstrahlung um wenige W/m^2 in den nächsten Jahrzehnten am wahrscheinlichsten.

Gleichzeitig hat jedoch die langwellige Einstrahlung an der Erdoberfläche zugenommen. Die Wärmestrahlung der Spurengase in der Atmosphäre (Treibhausgase) hat wegen der gestiegenen Konzentrationen zugenommen. Diese Zunahme ist ebenfalls unabhängig von Veränderungen der Wolkenbedeckung festzustellen und ist deutlich grösser als die Abnahme der kurzwelligen Globalstrahlung ($+5.2 \text{ W/m}^2$ langwellige gegenüber -2 W/m^2 kurzwellige Strahlung 1995-2002). Die gesamte Einstrahlung an der Erdoberfläche hat also zugenommen und korrespondiert mit der beobachteten Temperaturerhöhung. Auch diese Entwicklung wird sich in Zukunft wahrscheinlich fortsetzen.

[Quelle: Weltstrahlungszentrum Davos, ETH Zürich]

Literatur:

Bergert M., G. Seiz, T. Schlegel, M. Musa, G. Baudraz and M. Moesch, 2003: Homogenisierung von Klimamessreihen und Berechnung der Normwerte 1961-1990. Veröffentlichungen der MeteoSchweiz, 67, 170pp MeteoSchweiz, Zürich.

Christensen J.H., T. Carter and F. Giorgi, 2002: PRUDENCE employs new methods to assess European climate change. EOS, 82, 147. (siehe auch die web-Seite von PRUDENCE: <http://www.dmi.dk/f+u/klima/prudence/index.html>)

Christensen, J.H. and O.B. Christensen, 2003: Severe summertime flooding in Europe. Nature, 421, 805-806.

Frei C. , 2003: Klimaszenarien aus regionalen Klimamodellen von PRUDENCE, OcCC-Workshop.

Frei C. and C. Schär, 2001: Detection probability of trends in rare events: Theory and application to heavy precipitation in the Alpine region. J. Climate, 14, 1564-1584.

IPCC, 2000: Special Report on Emissions Scenarios, Camebridge, UK.

IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis, Camebridge, UK.

OcCC [Hrsg.] , 2003: Extremereignisse und Klimaänderung, Bern.

Schmidli J., C. Schmutz, C. Frei, H. Wanner and C. Schär, 2002: Mesoscale precipitation variability in the Alpine region during the 20th century. Int. J. Climatol., 22, 1049-1074.

Schöll R., 2003: Klimaszenarien für Starkniederschläge in Europa: Eine Analyse von regionalen Klimamodellen mit Extremwertstatistik. Diplomarbeit ETH-Zürich, 109 pp.

Bundesamt für Energie BFE

Worblentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen · Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 · office@bfe.admin.ch · www.ewg-bfe.ch