

## 4. Zur zukünftigen Entwicklung des Klimas im Alpenraum und in der Schweiz

*Autor: Dimitrios Gyalistras*

### 4.1. Einleitung

Die Abschätzung des zukünftigen Klimas der Alpen stellt angesichts einer Reihe von Unsicherheiten eine grosse Herausforderung dar. Die Unsicherheiten ergeben sich erstens aufgrund der grossen Komplexität des Klimasystems sowie der grossen natürlichen Variabilität des Klimas (siehe vorangehende Kapitel). Zweitens sind unsere empirischen und theoretischen Kenntnisse des Klimasystems limitiert, so dass immer mit überraschenden neuen Erkenntnissen zu rechnen ist. Schliesslich ist der zukünftige Verlauf der Antriebsfaktoren für das globale und regionale Klima, wie zum Beispiel die Sonnenaktivität oder der Vulkanismus, die zukünftigen Emissionen von Treibhausgasen und Sulfataerosolen oder Änderungen in der Landnutzung grundsätzlich unsicher.

Eine mögliche Strategie, um trotz dieser Schwierigkeiten zu brauchbaren Aussagen für die klimabezogene Planung und Entscheidungsfindung zu kommen, besteht darin, das Problem einer zukünftigen Klimaveränderung gleichzeitig mittels mehrerer, komplementärer Ansätze anzugehen. Hierzu gehören die Analyse empirischer Daten zu vergangenen Klimaschwankungen, Sensitivitätsstudien mit statistischen oder physikalischen Modellen, und schliesslich die Abschätzung möglicher klimatischer Zukünfte oder «Klimaszenarien» unter Zuhilfenahme aller verfügbaren Daten und Techniken (Carter et al. 1994, Gyalistras und Fischlin 1999).

Bei der Herleitung von Szenarien kommt Computersimulationen mit physikalisch basierten Modellen, insbesondere mit globalen, gekoppelten Zirkulationsmodellen der Atmosphäre und der Ozeane (Atmospheric-Oceanic General Circulation Models, AO-GCM), eine vorrangige Rolle zu. Der Grund ist, dass GCMs die vollständigsten uns momentan zur Verfügung stehenden Werkzeuge darstellen, um die wichtigsten Faktoren und Annahmen, welche

die Entwicklung des zukünftigen Klimas beeinflussen, in physikalisch konsistenter Weise abzubilden (Gates et al. 1996). Allerdings müssen die erhaltenen Resultate aufgrund der beschränkten Genauigkeit und relativ groben horizontalen Auflösung (typischerweise einige 100 km) der GCMs für regionale Betrachtungen mithilfe physikalischer oder statistischer Modelle auf die regionale Skala hinunterskaliert (z. B. von Storch 1995) und unter Einbezug der vorhandenen grossräumigen und regionalen Messdaten sorgfältig interpretiert werden. Hierfür bestehen im Raum Nordatlantik-Europa und den Alpen dank einer guten Datenbasis vergleichsweise gute Voraussetzungen.

Bis heute ist eine Vielzahl von Arbeiten erschienen, die sich mit der zu erwartenden Klimaveränderung im Alpenraum befassen. Eine Zusammenfassung des Wissensstands bis zirka 1996 und eine Zusammenstellung mehrerer, anhand verschiedenster Methoden errechneter Klimaszenarien für den Alpenraum finden sich in Gyalistras et al. (1998). In der Zwischenzeit sind einige neuere Arbeiten hinzugekommen, die einerseits methodische Fortschritte bei der Abschätzung regionaler Klimaveränderungen bringen (z. B. Schär et al. 1996, Fuentes et al. 1998, Neidhöfer 1999) und andererseits neuere Szenarien basierend auf Simulationen mit voll gekoppelten AO-GCMs dokumentieren (z. B. Burkhardt 1999, Neidhöfer 1999). Im Gegensatz zu den meisten früheren Studien, welche die Reaktion des globalen und regionalen Klimas lediglich bei einem schrittartigen Anstieg des CO<sub>2</sub>-Gehaltes untersuchten, gehen die neueren Berechnungen von einem stetig ansteigenden Gehalt von Treibhausgasen wie auch von Aerosolen aus, was die darauf aufbauenden Szenarien weit realistischer macht.

Im vorliegenden Kapitel wird analog zum Vorgehen in den vorangehenden Kapiteln der Einfluss der grossräumigen Prozesse bis auf die regionale und lokale Skala hinunterverfolgt. Dabei werden wir drei ausgewählte Aspekte bei der Abschätzung des zukünftigen Klimas des Alpenraums und der Schweiz näher ausleuchten. Zuerst wird in einem ersten Unterkapitel der heutige Wissensstand über mögliche zukünftige Veränderungen der grossräumigen Zirkulation im Bereich Nordatlantik und Europa zusammengefasst und ausführlich diskutiert. In einem zweiten Unterkapitel wird an zwei repräsentativen schweizerischen Standorten die Sensitivität des Niederschlags auf systematische Veränderungen in der Zirkulation quantitativ untersucht. In einem dritten Unterkapitel schliesslich werden einige ganz neue Klimaszenarien für den Alpenraum und die Schweiz näher vorgestellt und alle bestehenden Szenarien kritisch miteinander verglichen.