

Klimaszenarien für Österreich und deren Bedeutung für die Klimafolgenforschung

Andreas GOBIET^{1*}

Seit etwa 250 Jahren ist die Änderung der Treibhausgas-konzentrationen in der Atmosphäre hauptsächlich durch menschliche Aktivitäten gesteuert und die CO₂ Konzentration nahm in diesem Zeitraum von etwa 280 auf 400 ppm im Jahr 2014 zu - eine dramatische Änderung die zumindest in

den letzten 10.000 Jahren der Erdgeschichte beispiellos ist. Die Auswirkungen des daraus resultierenden anthropogenen Treibhauseffekts sind mittlerweile gut dokumentiert: Die globale Durchschnittstemperatur ist seit 1880 um 0,85°C angestiegen wobei der Trend über den Kontinenten stärker

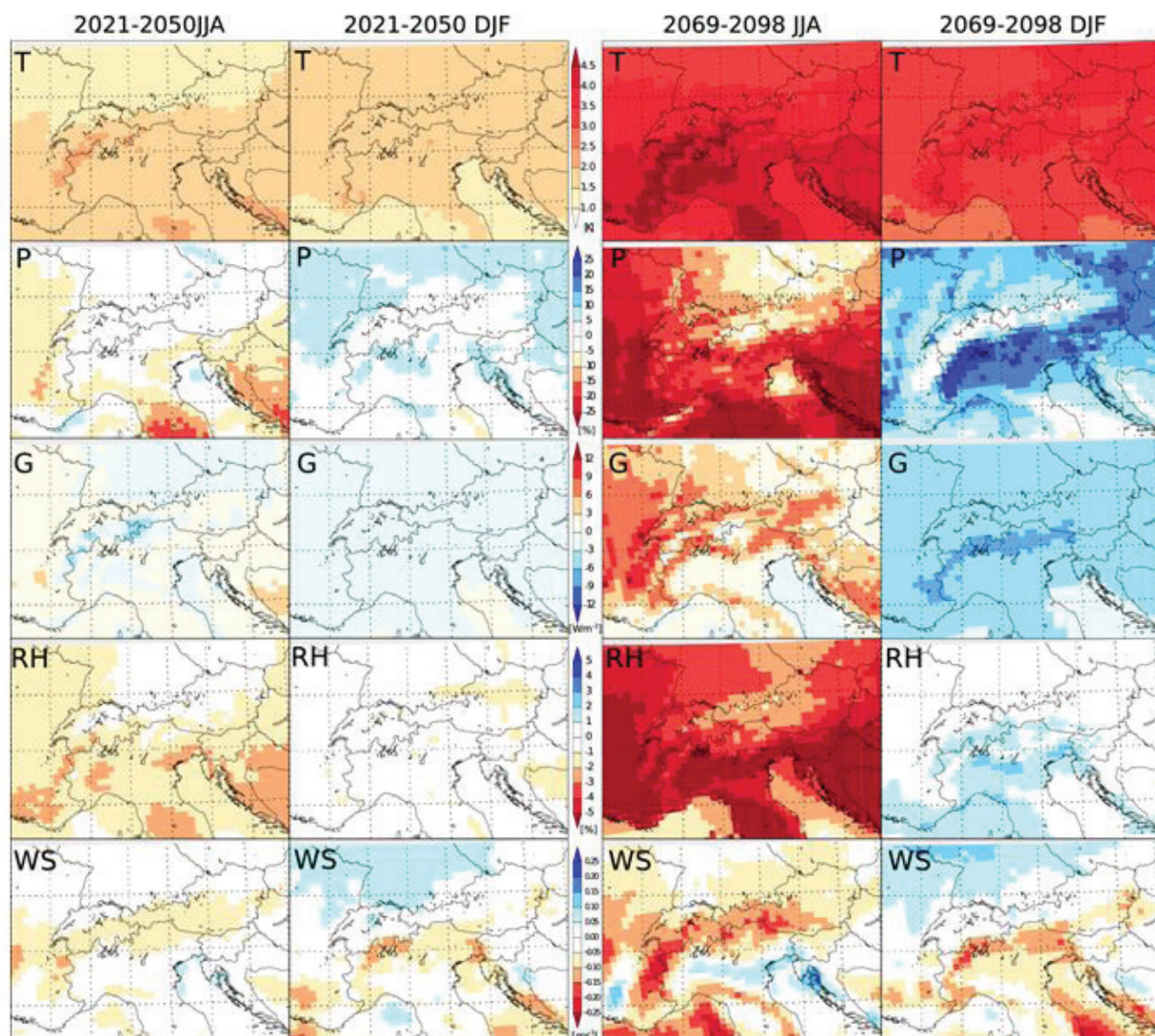


Abbildung 1: Räumliche Verteilung des erwarteten Klimawandels im Sommer (JJA) und Winter (DJF) in den Alpen: Temperatur (T), Niederschlag (P), Globalstrahlung (G), relative Feuchte (RH) und Windgeschwindigkeit (WS) im Vergleich zur Referenzperiode 1961-1990, links: 2021-2050, rechts: 2069-2098. Quelle: Gobiet *et al.* (2014).

¹ Universität Graz, Universitätsstraße 15, A-1010 GRAZ

* Ass.-Prof. Mag. Dr. Andreas GOBIET, andreas.gobiet@uni-graz.at



ausgeprägt und in Österreich nahezu 2°C beträgt (APCC, 2014). Gleichzeitig haben sich Niederschlagsmuster sowohl räumlich als auch saisonal verschoben und Veränderungen in der Häufigkeit und Intensität einiger extremer Wetterereignisse konnten festgestellt werden. Derartige Beobachtungen legen die Frage nach der zukünftigen Entwicklung des Klimas nahe, eine Frage die nur mit Hilfe komplexer Klimamodelle beantwortet werden kann. Dieser Beitrag gibt einen kurzen Überblick über Ergebnisse moderner Klimamodellierung, wobei insbesondere auf Klimaszenarien für den Alpenraum und Österreich eingegangen wird. Da das Klimasystem teilweise chaotisches Verhalten zeigt und Klimamodellierung mit Vereinfachungen und Fehlern behaftet ist, kann das Klima niemals exakt vorhergesagt

werden. Teilweise können diese Unsicherheiten durch Fortschritte in der Klimamodellierung verringert werden, aber eine gewisse Unschärfe ist durch die chaotische Natur des Klimasystems und unbekannte künftige Treibhausgas-Emissionen unvermeidbar. Eine exakte Vorhersage des künftigen Klimas ist also nicht möglich, aber es können in gewissen Bandbreiten wahrscheinlicher künftiger Entwicklungen vorhergesagt werden. Das wird durch die Betrachtung und statistische Auswertung einer Vielzahl unterschiedlicher Klimasimulationen möglich. Für Europa waren in den letzten Jahren Klimasimulationen aus dem Projekt ENSEMBLES (www.ensembles-eu.org) Stand der Wissenschaft. Diese werden derzeit von den Simulationen der EURO-CORDEX Initiative (<http://www.euro-cortex.net/>) abgelöst, welche regionale Klimaprojektionen für Europa in 12.5 km Gitterweite erstellt. EURO-CORDEX basiert auf den neuesten globalen Klimasimulationen (CMIP5) und den neuen IPCC Treibhausgas Emissionsszenarien („representative concentration pathways“; van Vuuren *et al.* (2011)), wurden aber für Österreich im Detail noch nicht untersucht. Die hier präsentierten Ergebnisse beruhen also auf ENSEMBLES und dem sogenannten A1B Emissionsszenario (Nakicenovic *et al.*, 2000) und besitzen eine Gitterweite von 25 km. Teile des Textes und die Abbildungen basieren auf dem Artikel von Gobiet *et al.* (2014), welcher auch Basis für die entsprechenden Teile des neuen Österreichischen Sachstandsbericht Klimawandel (APCC, 2014) ist.

Einen Überblick über die zu erwartenden Änderungen zeigen *Abbildung 1* und *Abbildung 2*. In *Abbildung 1* sind die mittleren erwarteten Änderungen der Temperatur, des Niederschlags, der Globalstrahlung, der relativen Luftfeuchte und der Windgeschwindigkeit für den Alpenraum im Vergleich zur Referenzperiode 1961-1990 für den Zeitraum 2021-2050 sowie 2069-2098 für Sommer und Winter dargestellt. Bis zur Mitte des Jahrhunderts

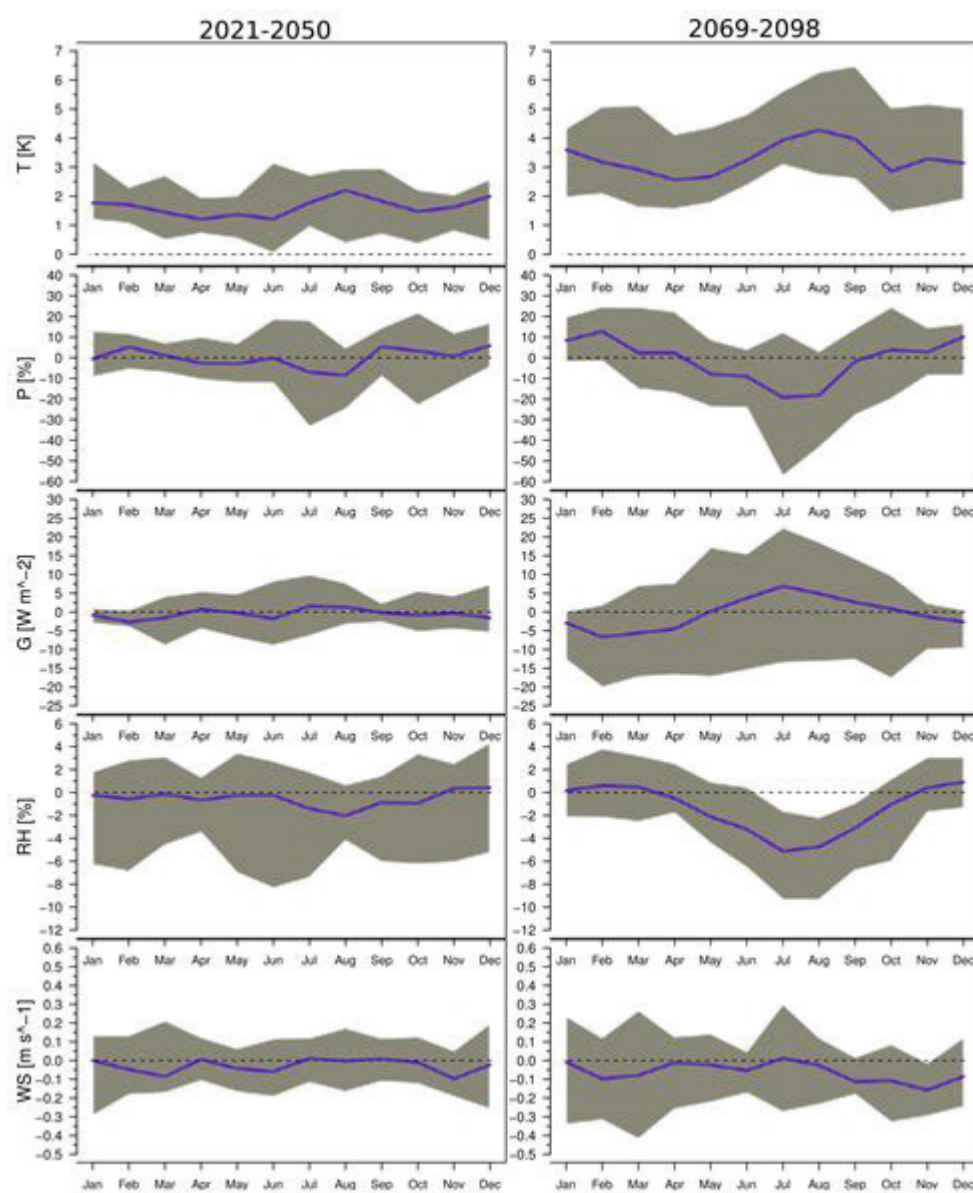


Abbildung 2: Jahresgang des erwarteten Klimawandels in den Alpen: Änderung der Temperatur (T), Niederschlag (P), Globalstrahlung (G), Relative Feuchte (RH) und Windgeschwindigkeit (WS) im Vergleich zur Referenzperiode 1961-1990, links: 2021-2050, rechts: 2069-2098. Die blaue Linie zeigt den Median und die graue Schattierung den 10-90 Perzentilebereich des multi-Modell Ensembles. Quelle: Gobiet *et al.* (2014).

wird im Alpenraum eine Erwärmung von etwa $+1.6^{\circ}\text{C}$ ($0,27^{\circ}\text{C}$ pro Jahrzehnt) im Winter und $+1.7^{\circ}\text{C}$ ($0,28$ pro Jahrzehnt) im Sommer erwartet. Bis zum Ende des Jahrhunderts wird unter Annahme des A1B Emissionsszenarios eine Erwärmung um etwa $+3.5^{\circ}\text{C}$ erwartet. Damit liegt der Alpenraum im Winter nahe dem Europa-Mittel und im Sommer leicht darüber. Die Unterschiede zwischen den Modellen sind im Vergleich zum Multimodell-Mittelwert relativ klein (Variationskoeffizient meist kleiner als 0.5) und alle Modelle zeigen eine Erwärmung an (siehe auch *Abbildung 2*). Daher ist es praktisch sicher, dass sich unter Annahme des A1B Emissionsszenarios der Alpenraum im 21. Jahrhundert weiter erwärmen wird. In *Abbildung 2* ist der Jahresgang der Änderung für die Perioden 2021-2050 und 2069-2098 dargestellt. Die mittlere Erwärmung ist im Winter und Spätsommer etwas stärker als in den restlichen Jahreszeiten, allerdings sind diese Unterschiede klein gegenüber der Bandbreite die durch die unterschiedlichen Simulationen aufgespannt wird.

Die erwarteten Niederschlagsänderungen weisen über Europa sehr starke regionale Unterschiede, wie etwa einen deutlichen Nord-Süd-Kontrast auf. Es muss mit einer Abnahme in den südlichen Teilen (insbesondere im Sommer) und einer Zunahme in den nördlichen Teilen Europas (insbesondere im Winter) gerechnet werden. Die Unterschiede zwischen den Modellen sind zwar deutlich größer als bei Temperatur (Variationskoeffizient meist deutlich größer als 1; ohne Abbildung), im Norden und Süden Europas aber im Vergleich zum Multimodell-Mittelwert immer noch relativ klein, daher kann auch dieses Muster als wahrscheinlich angesehen werden. Der Alpenraum liegt sehr nahe der Grenze zwischen zunehmenden und abnehmenden Niederschlägen (siehe *Abbildung 1*) und Niederschlagsszenarios sind hier mit sehr großen Unsicherheiten behaftet. Bis Mitte des 21. Jahrhunderts wird im Alpenraum eine mittlere Zunahme von $+3.7\%$ im Winter und eine Abnahme von -3.1% im Sommer erwartet. Der Multimodell-Mittelwert deutet auf den Einfluss des Alpenhauptkammes auf die räumliche Verteilung der Klimaänderung hin. Dabei wird eine Tendenz zur Niederschlagszunahme nördlich der Alpen im Frühling, Sommer und Herbst projiziert, während die südlichen und westlichen Teile des Alpenraumes Abnahmen aufweisen. Die mit dieser Nord-Süd-Trennung der Niederschlagsänderung verbundenen Unsicherheiten sind jedoch sehr groß. In *Abbildung 2* ist der Jahresgang der Änderung für die Perioden 2021-2050 und 2069-2098 dargestellt. Obwohl schon zu Mitte des 21. Jahrhunderts (links) die bereits be-

schriebene Tendenz zu mehr Niederschlag im Winter und weniger Niederschlag im Sommer im Median zu erkennen ist, zeigen die Modelle in dieser Periode keinerlei Einigkeit über die Richtung der Änderung und die Unsicherheiten sind sehr groß. Zu Ende des 21. Jahrhunderts (rechts), zeigt sich aber unter dem A1B Szenario eine sehr deutliche Tendenz zu trockeneren Verhältnissen im Sommer (etwa -20%) und feuchteren Verhältnissen im Winter (etwa $+10\%$). Die Szenarios für Globalstrahlung und relative Feuchte sind konsistent mit den Niederschlagsszenarios. In Bezug auf die mittlere Windgeschwindigkeit ist anzumerken, dass die Modelle keine signifikanten Änderungen anzeigen.

Die präsentierten Ergebnisse zeigen, dass der Alpenraum in Zukunft deutlich vom Klimawandel beeinflusst werden wird. Das bezieht sich nicht nur auf steigende Temperaturen, sondern auch auf deutliche saisonale Verschiebungen im Niederschlag und der Globalstrahlung. Weiters werden auch Änderungen in extremen Wettererscheinungen, insbesondere mehr Hitzewellen und intensivere Extremniederschläge [Gobiet *et al.*, 2013, APCC, 2014] und weiters für die Gesellschaft wichtige Änderungen wie etwa in der Schneesicherheit erwartet. Diese und weitere erwartete Auswirkungen des Klimawandels werden in der, diesem Beitrag zugrunde liegenden Präsentation im Detail diskutiert.

Literatur

- APCC (2014): Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14), Austrian Panel on Climate Change (APCC), Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, Österreich, 1096 Seiten, ISBN 978-3-7001-7699-2.
- Gobiet, A., S. Kotlarski, M. Beniston, G. Heinrich, J. Rajczak and M. Stoffel (2014): 21st century climate change in the European Alps-A review. *Sci. Total Environ.*, 493, 1138-1151, doi:10.1016/j.scitotenv.2013.07.050.
- 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., Roehrl, A., Rogner, H.-H., Sankovski, A., Schlesinger, M., Shukla, P., Smith, S., Swart, R., van Rooijen, S., Victor, N., Dadi, Z. (2000): IPCC Special Report on Emissions Scenarios, in , Cambridge, United Kingdom and New York, Cambridge University Press.
- van Vuuren, D.P., J. Edmonds, M. Kainuma, K. Riahi, A. Thomson, K. Hibbard, G.C. Hurtt, T. Kram, V. Krey, J. Lamarque, T. Masui, M. Meinshausen, N. Nakicenovic, S.J. Smith, and S.K. Rose (2011): The representative concentration pathways: an overview, *Clim. Change*, 109(1-2), 5-31, doi:10.1007/s10584-011-0148-z.