

ZUKUNFTSPROJEKTIONEN SAISONALER NIEDERSCHLÄGE AN DEN HOCHGEBIRGSSTATIONEN ZUGSPITZE UND SONNBLICK

JUCUNDUS JACOBEIT¹, SEVERIN KASPAR¹, ANDREAS PHILIPP¹

¹UNIVERSITÄT AUGSBURG, INSTITUT FÜR GEOGRAPHIE, ALTER POSTWEG 118, 86159 AUGSBURG

E-MAIL: JUCUNDUS.JACOBEIT@GEO.UNI-AUGSBURG.DE

Zusammenfassung: Künftige Änderungen der saisonalen Niederschläge im hochalpinen Raum (Zugspitze, Sonnblick) werden mit verschiedenen statistischen Downscaling-Modellen abgeschätzt. Während v. a. im Winter deutliche Zunahmen resultieren, zeigen sich im Sommer Abnahmen, v. a. am Sonnblick und zumindest gegen Ende des 21. Jahrhunderts auch an der Zugspitze. Außerhalb des Winters tendieren die Niederschläge 2071-2100 zu geringeren Werten als noch 2021-2050.

Abstract: Future changes in seasonal precipitation in the high-alpine area (Zugspitze, Sonnblick) are assessed by various statistical downscaling models. During winter distinct increases are indicated, whereas in summer decreases prevail, especially at Sonnblick and at least towards the end of the 21st century also at Zugspitze. Outside of winter, precipitation tends to lower values during 2071-2100 compared to 2021-2050.

Hintergrund

Im Zuge des fortschreitenden Klimawandels muss auch mit Änderungen der Niederschlagsverhältnisse gerechnet werden, die gerade für die Alpen als ‚Wasserturm Europas‘ von großer Bedeutung sind. Im vorangehenden Band der *Wissenschaftlichen Resultate* wurde bereits über Zukunftsprojektionen der Jahresniederschläge an den hochalpinen Stationen Zugspitze und Sonnblick berichtet

(Kaspar et al., 2017), die allerdings keine großen Änderungen im Laufe des 21. Jahrhunderts erkennen ließen. Da dies jedoch saisonale Änderungen mit teilweise entgegengesetztem Vorzeichen nicht ausschließt, soll in diesem Beitrag der Blick auf jahreszeitliche Differenzierungen gerichtet werden.

Methodik

Den Abschätzungen liegen verschiedene statistische Downscaling-Ansätze zugrunde (künstliche neuronale Netze (McCulloch et al., 1947) sowie klassifikationsbasierte Verfahren (Philipp et al., 2016)), über deren Performanz ebenfalls bereits in Kaspar et al. (2017) berichtet worden ist. Ergänzend werden eine Kombination aus beiden Verfahren sowie eine Synthese aus allen Ansätzen prozessiert. Die Kalibrierung der Downscaling-Modelle verwendet großskalige atmosphärische Prädiktoren aus Reanalyse-Datensätzen (Compo et al., 2011), dabei wird eine 15-fache Kreuzvalidierung implementiert. Die Zukunftsprojektionen beziehen sich auf zwei Zeiträume (2021-2050, 2071-2100) sowie zwei Szenarien (RCP4.5, RCP8.5, van Vuuren et al., 2011). Um künftige Niederschlagsänderungen im Vergleich zu einem historischen Referenzzeitraum (1971-2000) abzuschätzen, werden die großskaligen Prädiktorenwerte aus globalen Klimamodellen des CMIP5-Ensembles verwendet (Taylor et al., 2012), wobei im vorliegenden Beitrag fünf verschiedene Modelle ausgewählt wurden, eines davon (das Hamburger Erdsystemmodell MPI-ESM-LR) zusätzlich mit drei Realisationen. Berücksichtigt

man die 15 alternativen Downscalingmodell-Kalibrierungen, ergeben sich insgesamt 105 Abschätzungen (7×15) für jeden betrachteten Einzelfall (z. B. Winter 2071-2100, RCP8.5 Szenario, neuronale Netz-Methodik). Die Gesamtheit dieser Abschätzungen wird in Gestalt von Boxplots wiedergegeben (Abbildung 1 und 2), die zusätzlichen grünen bzw. roten Zahlen bezeichnen signifikant positive bzw. negative prozentuale Niederschlagsänderungen im Vergleich zur historischen Referenzperiode (Signifikanz nach Mann und Whitney (1947) bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %).

Saisonale Niederschlagsänderungen

Das deutlichste Änderungssignal in den Abbildung 1 und 2 ergibt sich im Winter mit generellen Niederschlagszunahmen, die im späteren Zeitraum beim stärkeren Szenario teils bis zu fast 20 % betragen können. Im Sommer dagegen dominieren am Sonnblick Abnahmen, während an der Zugspitze beide Vorzeichen vertreten sind. Allerdings herrscht auch hier im Vergleich zur früheren Projektionsperiode die Tendenz zu geringeren täglichen Niederschlagsraten im späteren Zukunftszeitraum vor, in dem die Änderungen gegenüber dem schwächeren Szenario beim stärkeren nochmals zu einem niedrigeren Niederschlagsniveau führen. Bemerkenswerterweise zeigt sich dieses Änderungsmuster bei beiden Stationen verbreitet auch in den Übergangsjahreszeiten, unabhängig vom Vorzeichen der Änderung gegenüber dem historischen Referenzzeitraum (mit dominierenden Zunahmen, v. a. im Frühjahr, und gelegentlichen Abnahmen im Herbst). Das sommerliche Änderungsmuster zwischen den beiden Zukunftszeiträumen reproduziert sich also auch bei äquinoktialen Niederschlagszunahmen im Vergleich zu 1971-2000.

Folgerungen

Wie lassen sich die projizierten Niederschlagsänderungen erklären? Generell wird der erhöhte Wasserdampfgehalt in einer künftig wärmeren Atmosphäre zunehmende Niederschläge begünstigen, wie sie in den Abbildungen 1 und 2 mehrheitlich vertreten sind. Im Sommer dagegen ist mit einem wachsenden antizyklonalen Einfluss zu rechnen (Riediger & Gratzki, 2014), der sich in abnehmenden Niederschlägen äußert, v. a. am Sonnblick und zumindest im späteren Zukunftszeitraum auch an der Zugspitze. Die vorherrschende Tendenz außerhalb des Winters, gegenüber der früheren Periode (2021-2050) im späteren Zeitraum (2071-2100) ein niedrigeres Niederschlagsniveau zu indizieren (sowohl bei Abnahmen als auch bei Zunahmen gegenüber 1971-2000), könnte darin begründet sein, dass bis Mitte des 21. Jahrhunderts die oben erwähnte Zunahme des Wasserdampfgehalts noch stärkere Auswirkungen zeigt, während anschließend bei fortschreitendem Klimawandel der steigende Antizyklonaleinfluss immer stärker zum Tragen gelangt (Jacobeit et al., 2017), hauptsächlich im Sommer, aber teilweise auch noch in die Übergangsjahreszeiten hinein wirkend. Ähnlich lässt sich begründen, dass außerhalb des Winters im späteren Zukunftszeitraum beim Vergleich der Szenarien das stärkere mit geringeren Niederschlägen als das schwächere in Erscheinung tritt. Sollten diese Projektionen tatsächlich eintreten, hätte dies weitreichende wasserwirtschaftliche Konsequenzen für den gesamten Alpenraum und seine Umgebung.

Literatur

Compo, G.P. et al.: The Twentieth Century Reanalysis Project. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 137, 1-28, 2011.

Kaspar, S., Philipp, A. und Jacobeit, J.: Statistisches Downscaling meteorologischer Variablen mit hydrologischer Relevanz an der Station Zugspitze und der Station Hoher Sonnblick. UFS – Wissenschaftliche Resultate 2015/2016, 57-59, 2017.

Jacobeit, J., Homann, M., Philipp, A. und Beck, C.: Atmospheric circulation types and extreme areal precipitation in southern central Europe. Advances in Science and Research, 14, 71-75, 2017.

Mann, H.B. und Whitney, R.: On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. The Annals of mathematical statistics, 50-60, 1947.

McCulloch, W.S. und Pitts, W.: A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. The Bulletin of mathematical biophysics, 5, 115-133, 1943.

Philipp, A., Beck, C., Huth, R. und Jacobeit, J.: Development and comparison of circulation type

classifications using the COST 733 dataset and software. International Journal of Climatology, 36, 2673-2691, 2016.

Riediger, U. und Gratzki, A.: Future weather types and their influence on mean and extreme climate indices for precipitation and temperature in Central Europe. Meteorologische Zeitschrift, 23, 231-252, 2014.

Taylor, K.E., Stouffer, R.J. und Meehl, G.A.: An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. Bulletin of the American Meteorological Society, 93, 485-489, 2012.

Van Vuuren et al: The representative concentration pathways: an overview. Climatic Change, 109, 5-31, 2011.

Danksagung

Die Dissertationsstudien von *Severin Kaspar* sind im Rahmen des Teilprojekts „Klimawandel und Wasserbilanz in Hochgebirgsregionen“ durchgeführt worden, das als Bestandteil des Verbundprojekts „Virtuelles Alpenobservatorium“ durch das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz gefördert worden ist.

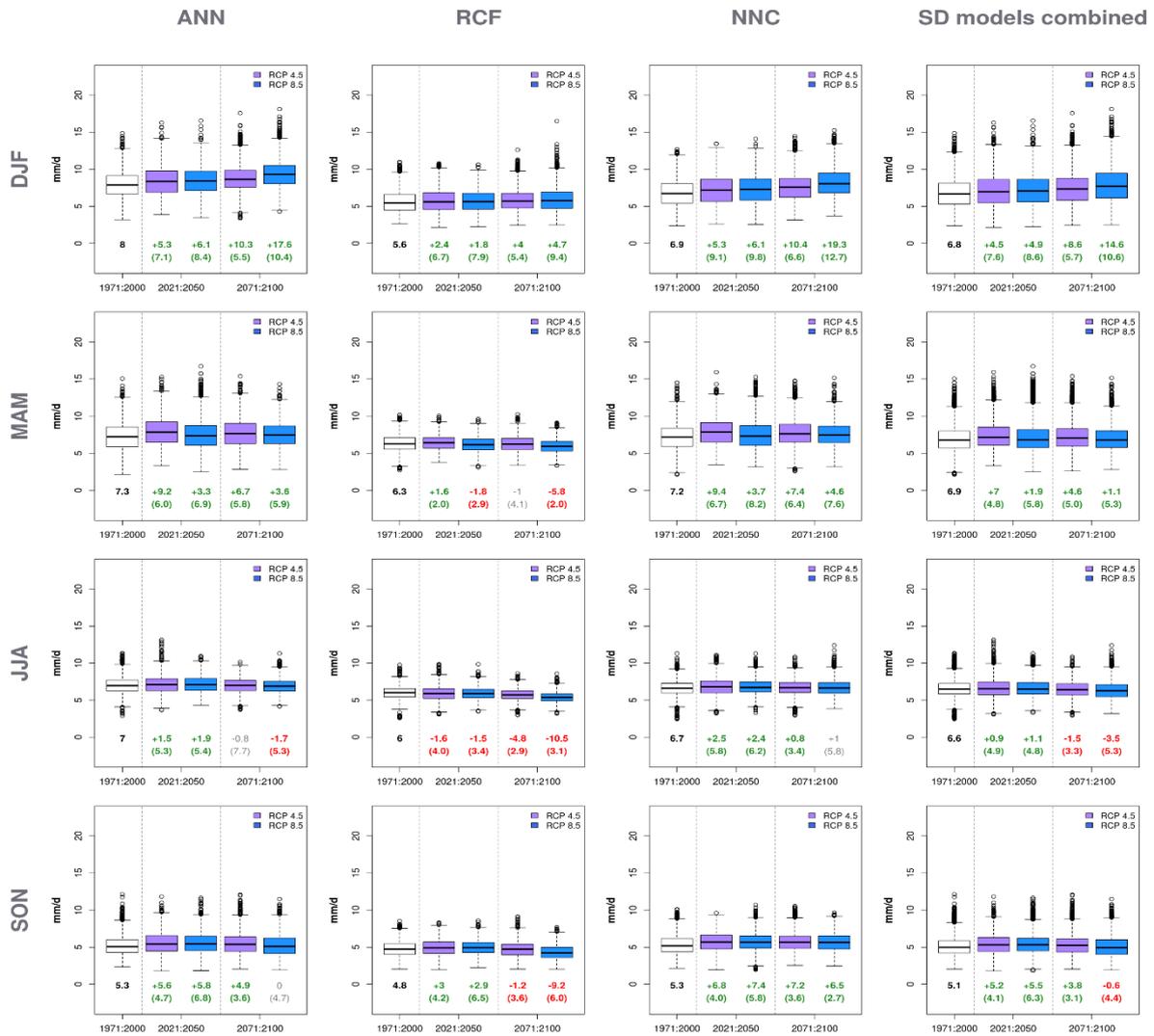


Abb. 1: Boxplots der modellierten saisonalen (DJF: Dez, Jan, Feb ...) Niederschläge (mm pro Tag) für die Station Zugspitze nach verschiedenen statistischen Downscaling-Ansätzen (ANN: Artificial neural networks; RCF: Reference class forecast, basierend auf Zirkulationstypklassifizierungen; NNC: Neural networks and classification; SD: Statistical downscaling models combined). Die Boxplots zeigen die Verteilungen aus jeweils 105 Modellläufen (siehe Text). Die schwarzen Zahlen geben den jeweiligen Mittelwert für den historischen Referenzzeitraum 1971-2000 wieder. Die Zukunftsprojektionen werden für zwei Zeiträume (2021-2050, 2071-2100) und zwei Szenarien (RCP4.5, RCP8.5) gezeigt. Grüne/rote Zahlen geben die positiven/negativen Niederschlagsänderungen wieder (in Prozent des historischen Mittelwerts), graue Zahlen insignifikante Änderungen (0.05 Niveau). Die Werte in Klammern bezeichnen die Standardabweichung aus den Ergebnissen der jeweils 105 Modellläufe (Materialerstellung und Graphik nach Severin Kaspar).

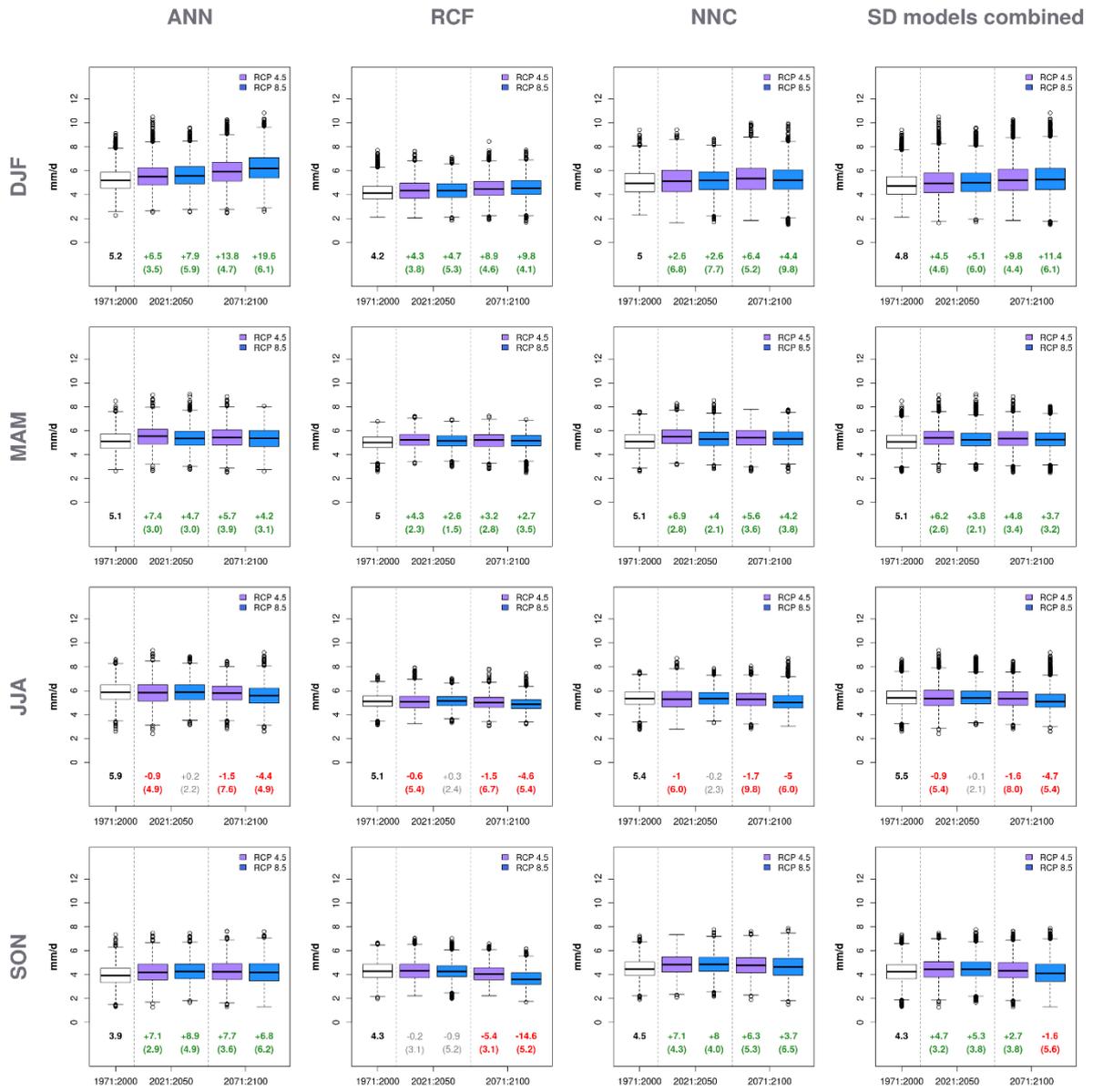


Abb. 2: Wie Abb. 1, aber für die Station Sonnblick.