

## STATISTISCHES DOWNSCALING METEOROLOGISCHER VARIABLEN MIT HYDROLOGISCHER RELEVANZ AN DER STATION ZUGSPITZE UND DER STATION HOHER SONNBLICK

SEVERIN KASPAR<sup>1</sup>, ANDREAS PHILIPP<sup>1</sup>, JUCUNDUS JACOBEIT<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UNIVERSITÄT AUGSBURG, INSTITUT FÜR GEOGRAPHIE, ALTER POSTWEG 118, 86159 AUGSBURG

E-MAIL: SEVERIN.KASPAR@GEO.UNI-AUGSBURG.DE

**Zusammenfassung:** Es werden drei nicht lineare statistische Downscaling-Modellansätze vorgestellt mit dem Ziel, meteorologische Variablen, welche Bezug zum Wasserhaushalt aufweisen, aus großskaligen Eingangsdaten ableiten zu können. Die kalibrierten Modelle können auf Szenarien globaler Klimamodelle übertragen werden und bieten damit einen Einblick in die Projektionen für das 21. Jahrhundert.

**Abstract:** In the context of the current study, three non-linear statistical downscaling models were developed, with the goal to reproduce local meteorological variables with hydrological background from large scale predictor variables. These models can also use datasets from general circulation models as input, which gives an insight into the model projections for the 21st century.

### Ziele und Methoden

Im Rahmen des Projektes Virtuelles Alpenobservatorium (VAO) wurden statistische Downscaling-Modelle entwickelt, um potentielle zukünftige Änderungen in lokalen Größen mit hydrologischer Relevanz abschätzen zu können. Es wurde dabei auf drei nicht lineare Methoden zur Modellbildung zurückgegriffen, welche jeweils auf Basis täglicher Daten erstellt worden sind. Als erstes ist der reference class forecast (RCF) zu nennen, welcher auf Zirkulationstyp-Klassifikationsverfahren (CTC) basiert (Philipp et al., 2010). Als zweites wurden Künstliche Neuronale Netze (KNN oder engl. ANN) kalibriert, ein

nicht lineares Regressionsverfahren (McCulloch & Pitts, 1943). Das dritte Verfahren stellt eine Kombination aus Klassifikation und ANNs dar (CTC + ANN).

### Datensätze

Zunächst werden die Modelle kalibriert. Als lokale Zielgrößen (Prädiktanden) dienen die Messzeitreihen der Variablen Niederschlag, relative Feuchte, Temperatur und Windgeschwindigkeit der DWD-Station Zugspitze sowie Temperatur und Niederschlag der Station Hoher Sonnblick. Zur Kalibrierung werden Reanalyse-Daten als großskalige Eingangsdaten (Prädiktoren) verwendet. Später können die Modelle auf Datensätze globaler Klimamodelle (GCMs) übertragen werden. In diesem Projekt sind insgesamt sieben verschiedene Modelle und Realisationen verwendet worden, als Zukunftsszenarien sind RCP 4.5 und RCP 8.5 ausgewählt worden, wobei die Zahl den zusätzlichen Strahlungsantrieb des jeweiligen Szenarios in  $W/m^2$  darstellt. (Van Vuuren et al., 2011).

### Ergebnis der Modellkalibrierung

Zusammenfassend dargestellt werden die Ergebnisse der Modellkalibrierung in Abbildung 1. Jeder Punkt entspricht dem mittleren Ergebnis einer 15fachen Kreuzvalidierung. In allen Fällen zeigt die alleinige Anwendung der ANNs die beste Modellperformance in der

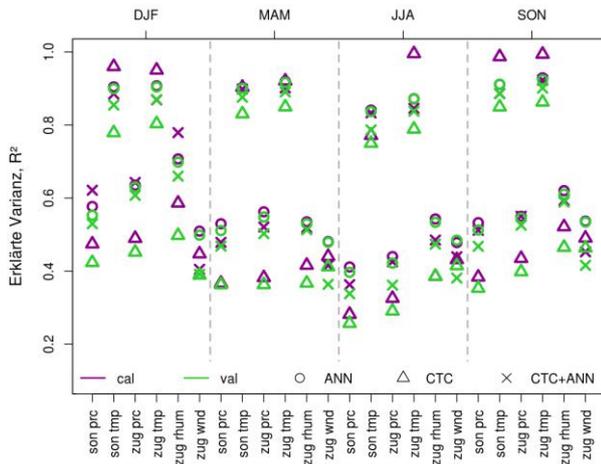


Abb.1: Gegenüberstellung der verschiedenen Modellsätze unter Berücksichtigung der erzielten Modellperformance ( $R^2$  zwischen modellierten und beobachteten Werten) im Kalibrierungs- (cal) und Validierungszeitraum (val), saisonal differenziert für die Prädiktanden Niederschlag (prc), Temperatur (tmp), relative Feuchte (rhum) und Windgeschwindigkeit (wnd) an den Stationen Zugspitze (zug) und Hoher Sonnblick (son).

Validierung, dicht gefolgt von dem kombinierten Ansatz aus CTC + ANN. Die niedrigste Modellgüte erreichen die CTC-Ansätze.

### Ergebnisse der Zukunftsprojektionen

Abbildung 2 zeigt das Resultat der Übertragung der kalibrierten Modelle auf die Prädiktor-GCM-Datensätze inklusive Zukunftsprojektion bis zum Ende des 21. Jahrhunderts. Die dünnen Linien repräsentieren jeweils die zentrale Tendenz einer spezifischen Kombination aus GCM und statistischem Modell, wohingegen die dicken Linien den Ensemblemittelwerten aller modellierten Zeitreihen entsprechen. Diese wurden auf einen möglichen Trend mittels Trend-Rausch-Verhältnis (Schönwiese, 2006) unter Berücksichtigung einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 95 % überprüft, wobei nur die beiden Szenarien der zukünftigen Temperaturentwicklung bei beiden Stationen einen signifikanten positiven Trend aufweisen (Abb. 2a und b). Zwischen den beiden Szenarien nimmt erwartungsgemäß der Unterschied gegen Ende des 21. Jahrhunderts zu, der höhere Strahlungsantrieb des RCP 8.5 resultiert dabei in einer höheren Jahresmitteltemperatur. Die jährlichen

Niederschlagssummen beider Stationen unterliegen im Laufe des 21. Jahrhunderts keinen starken Änderungen, was jedoch saisonale Änderungen nicht ausschließt. Betrachtet man die Entwicklung der relativen Feuchte an der Zugspitze, so ist visuell mit einem leichten (insignifikanten) Rückgang im Jahresmittel zu rechnen, während im Verlauf des 21. Jahrhunderts in der mittleren jährlichen Windgeschwindigkeit visuell eine leichte (insignifikante) Zunahme zu verzeichnen ist. Es zeigt sich zudem, dass der Effekt des erhöhten Strahlungsantriebs des RCP 8.5 im Vergleich zu RCP 4.5 nur bei der Temperatur beider Stationen und der relativen Feuchte der Zugspitze zu signifikanten Unterschieden im projiziertem Verlauf führt (Mann & Whitney, 1947: U-Test, Sicherheitswahrscheinlichkeit 95 %).

### Ausblick

In Kooperation mit der LMU-München (Department für Geographie) werden die erstellten Zeitreihen als Input zur schneehydrologischen Modellierung in der Region Zugspitze verwendet (siehe Weber et al., Kapitel 25, Seite 100), um unter anderem zukünftige Änderungen der jährlichen Schneedynamik sowie der Gletschermassenbilanz abschätzen zu können.

### Literatur

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., Bartholy, J., Beck, C., Ericum, M., Esteban, P., Fettweis, X., Huth, R., James, P., Jourdain, S., Kreienkamp, F., Krennert, T., Lykoudis, S., Michalides, S.C., Pianko-Kluczynska, K.,

Post, P., Álvarez, D.R., Schiemann, R., Spekat, A. und Tymvios, F.S. : COST733CAT - a database of weather and circulation type classifications, Physics and Chemistry of the Earth, 35, 360-373, <https://doi.org/10.1016/j.pce.2009.12.010>, 2010.

Schönwiese C.D.: Praktische Methoden für Meteorologen und Geowissenschaftler, Stuttgart, 2006.

Van Vuuren, D., Edmonds, J.A., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, Allison M., Hibbard, K.A., Hurtt, G., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.-F., Masui, T., Meinhausen, M., Nakicenovic, N., Smith, Steven J. und Rose, S.K. : The representative concentration pathways: an overview, Climatic Change, 109, 5-31, <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>, 2011.

## Danksagung

Das Projekt Virtuelles Alpenobservatorium wurde finanziert durch das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz.

Abb.2: Ergebnisse der Projektionsrechnung für die Station Zugspitze: a) Temperatur, c) Niederschlag, e) relative Feuchte und f) Windgeschwindigkeit sowie der Station Hoher Sonnblick: b) Temperatur und c) Niederschlag

