

DZUG – DOWNSCALING PROJEKT ZUGSPITZE: STATISTISCHE MODELLIERUNG DES WINTERNIEDERSCHLAGS AN DER ZUGSPITZE MIT HILFE VON WETTERLAGENKLASSIFIKATIONEN UND NEURONALEN NETZEN

ANDREAS PHILIPP, CHRISTOPH BECK UND JUCUNDUS JACOBET

IGUA, AUGSBURG, A.PHILIPP@GEO.UNI-AUGSBRUG.DE

Im Arbeitsbereich DZUG (Downscaling Projekt Zugspitze) werden am Institut für Geographie der Universität Augsburg (IGUA) unterschiedlichste Methoden zur Modellierung der lokalen Klimavariabilität an der Zugspitze getestet, weiterentwickelt und verglichen. Die exponierte Lage der Zugspitze erweist sich hierbei als vorteilhaft, um statistische Beziehungen zwischen großskaliger Zirkulation und lokalen Auswirkungen zu erfassen. Jüngste, erhebliche Fortschritte in der Modellqualität konnten durch eine Kombination von Zirkulationsklassifikationen mit künstlichen neuronalen Netzen erreicht werden.

Die Modellierung der oberflächennahen Klimavariabilität an der Zugspitze erlangt besondere Bedeutung nicht nur durch die expositionsbedingte Gunstlage gegenüber der freien Atmosphäre und der damit verbundenen Eignung zur Grundlagenforschung, sondern insbesondere auch durch die hohe Tragweite möglicher Auswirkungen von Klimaveränderungen in einem hochsensitiven Geoökosystem. Gleichzeitig ist im Rahmen der vielfältigen Forschungstätigkeiten an der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus (UFS) ein vergleichbar intensives Monitoring derartiger Veränderungen auch über längere Zeiträume hinweg möglich.

Neben dynamischen Ansätzen der Abschätzung lokaler Klimavariabilität mittels regionaler Klimamodelle spielen statistische Modellierungsansätze eine immer größere Rolle, wie z. B. die europaweit koordinierten Forschungsaktivitäten im Rahmen der COST (European Cooperation in Science and Technology) Action ES1102 VALUE (Validating and Integrating Downscaling Methods for Climate Change Research, 2012-2015) zeigen. Am IGUA liegt hierbei ein Fokus insbesondere auf klassifikationsbasierten Methoden.

Reference Class Forecasting

Ein erster, über den letzten UFS-Bericht (Beck et al. 2010) hinausreichender Ansatz besteht in der Anwendung einer konditionierten Clusteranalyse im Rahmen des sog. *Reference Class Forecasting*. Hierbei wird eine Klassifikation täglicher Zirkulationsmuster (hier: geopotentielle Höhe des 925 hPa-Niveaus) mittels Clusteranalyse durchgeführt, wobei jedoch nicht nur die Ähnlichkeit zwischen den Zirkulationsmustern zur Gruppierung herangezogen wird, sondern zudem die beobachteten Niederschlagswerte an der Zugspitze Eingang finden. Ermöglicht wird dies durch eine Erweiterung der Berechnung der Euklidischen Distanz zwischen den Mustern um einen Niederschlagsterm im Rahmen der Klassifikation:

$$D_{(\text{day}_1, \text{day}_2)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (c_{1,i} - c_{2,i})^2 + \lambda (p_1 - p_2)^2}$$

Hierbei stellt $D_{(\text{day}_1, \text{day}_2)}$ das Distanzmaß zwischen den zu klassifizierenden täglichen Mustern dar, $c_{1,i}$ die geopotentielle Höhe c an Tag 1 an Gitterpunkt i von n Gitterpunkten, $c_{2,i}$ das entsprechende für Tag 2, λ bezeichnet einen empirisch ermittelten optimalen Faktor (hier $\lambda=10$), mit dem der Unterschied in den Niederschlagssummen zwischen Tag 2 (p_2) und Tag 1 (p_1) gewichtet Eingang in das Gesamtmaß findet.

Abbildung 1 zeigt die hieraus resultierenden Zirkulationsmuster für die in den Jahren 1957 bis 1980 niederschlagsreichste sowie niederschlagsärmste Klasse bezüglich der Gipfelstation an der Zugspitze aus einer Klassifikation mit 27 Klassen für die Wintermonate Dezember bis Februar. Im ersten Fall handelt es sich um einen Kaltlufttropfen, im zweiten um eine stabile Hochdrucklage direkt über der Bezugsstation Zugspitze.

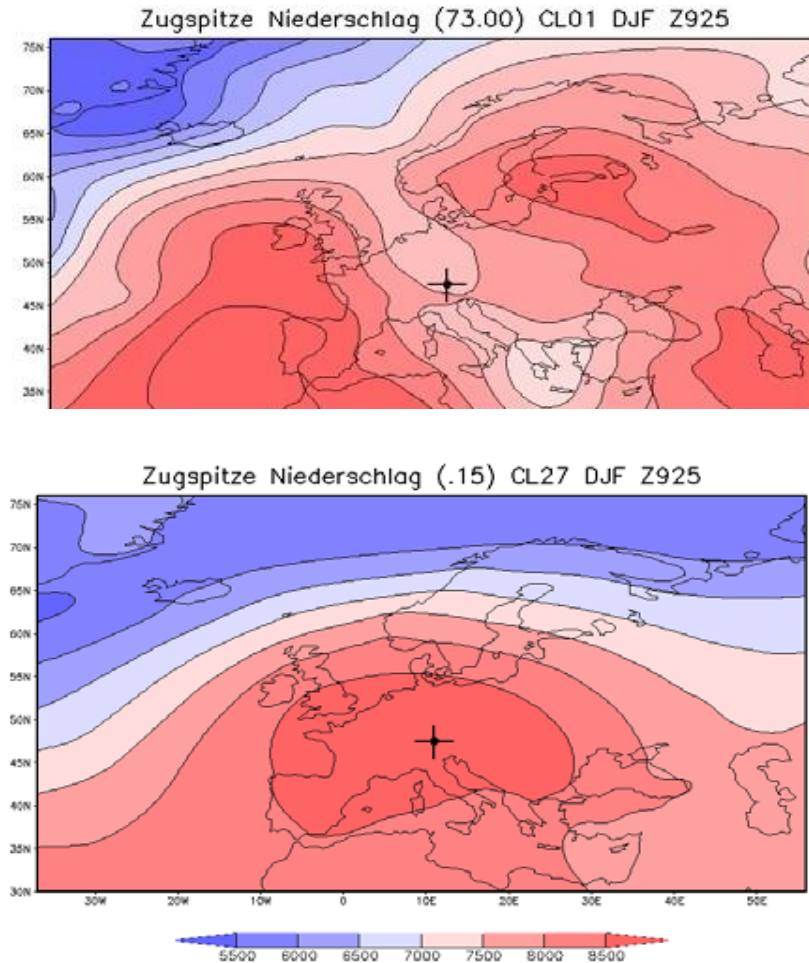


Abb. 1: Die niederschlagsreichste (oben, 73 mm Tagessumme) und niederschlagsärmste (unten 0,15 mm Tagessumme) Klasse einer auf den Zugspitz-Winterniederschlag (Position mit Kreuzsymbol markiert) konditionierten Clusteranalyse. Dargestellt ist in Kontouren das Geopotentialniveau (in Dezimetern) der 925 hPa Druckfläche.

Im Zuge des *Refernce Class Forecasting* werden nun die täglichen Druckmuster aus der Validierungsperiode 1980 bis 2002 den ermittelten Klassen zugeordnet (nun allein aufgrund der Ähnlichkeit der Zirkulationsmuster) und der assoziierte mittlere Niederschlag der entsprechenden Klasse als Modellwert herangezogen. Auf diesem Wege lassen sich für die Zugspitze 41% der winterlichen Niederschlagsvarianz erklären. Im Vergleich dazu werden für die Stationen Hohenpeißenberg bzw. Sonnblick lediglich 20 % bzw. 27 % erreicht. Dennoch lässt auch der Wert für die Zugspitze die Modellqualität immer noch als unzureichend für eine verlässliche Modellierung erscheinen.

Typspezifische Neuronale Netze

Eine deutlich höhere Modellqualität lässt sich mittels Neuronaler Netzwerke erzielen. Hierbei werden im Netzwerk die 925 hPa Geopotentialwerte eines Tages unter Einbezug von Gewichtungsfaktoren in einer sog. versteckten Schicht von Neuronen transformiert, um in der sog. Ausgabeschicht den Niederschlag zu modellieren. Diskrepanzen zwischen dem Modellniederschlag und den Beobachtungen können dann als Fehlerkorrektur zur optimalen Anpassung der Gewichte verwendet werden. Mit einem derartigen sog. Multilayer Perceptron lassen sich für den Winterniederschlag an der Zugspitze 63% erklärte Varianz erzielen (Sonnblick: 54%, Hohenpeißenberg: 31%).

Eine nochmalige Steigerung der Modellqualität ist jedoch mit einer Kombination der eingangs vorgestellten Klassifikationsmethode und den Neuronalen Netzwerken möglich (s. Abb. 2.). Hierbei wird zunächst durch eine

niederschlagskonditionierte Klassifikation, basierend auf den Zirkulationsmustern, eine Einteilung in niederschlagsarme, mittlere und niederschlagsreiche Tage vorgenommen. Für jede dieser drei Typen wird anschließend ein eigenes Neuronales Netz trainiert. Hierbei wurden erklärte Varianzen von 76% für die Zugspitze, 72% für den Sonnblick und 74% für Hohenpeißenberg erzielt: Werte, die künftige Modellierungen unter veränderten Klimabedingungen erlauben.

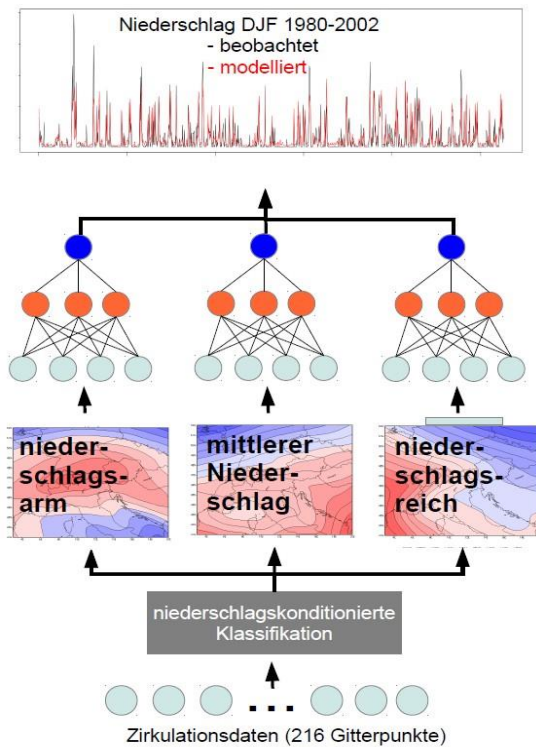


Abb.2: Prozessschema der statistischen Niederschlagsmodellierung an der Zugspitze mit niederschlagskonditionierter Zirkulationsklassifikation und typspezifischen Neuronalen Netzen.