

This Thesis

# **Analysis and Prediction of the European Winter Climate**

by  
WOLFGANG A. MÜLLER

was submitted as a dissertation to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY (ETH)  
ZÜRICH  
(ETH No 15540)

and accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. Christoph Schär, examiner  
PD Dr. Christof Appenzeller, co-examiner  
Prof. Dr. Mojib Latif, co-examiner

2004

---

## Abstract

In this thesis a dynamical forecast approach is considered to evaluate the potential seasonal predictability in the European-Atlantic region with emphasis on the mean winter climate. Two state-of-the-art seasonal forecast systems are used, namely the Seasonal Forecast System 2 from the European Centre for Medium Range Weather Forecast (ECMWF) and a multi-model system developed within the joint European project DEMETER (Development of a European Multi-Model Ensemble Prediction System for Seasonal to Interannual Prediction). The predictions are verified with the ERA-40 re-analysis data.

Seasonal forecasts are probabilistic in nature and hence require verification techniques based on probabilistic skill measures. Here a multi-category skill score, namely the ranked probability skill score (RPSS) is applied. The RPSS is sensitive to the shape and the shift of the predicted probability density distribution. However, the RPSS shows a negative bias for ensemble systems with small ensemble sizes. It is shown that the negative bias can be attributed to a discretization and squaring error in the quadratic norm of the RPSS. In the following two strategies are explored to tackle this flaw. First, it is shown that the  $RPSS_{L=1}$  based on the absolute rather than the squared norm is unbiased. Nevertheless, it is not strictly proper in a statistical sense. Second, an unbiased and strictly proper skill score can be defined based on the quadratic norm, along with the reference forecast reduced to sub-samples of the same size as the forecast ensemble size. This is denoted as the de-biased ranked probability skill score ( $RPSS_D$ ). Based on a hypothetical set up comparable to the ECMWF hindcast system (40 members, 15 hindcast years) the  $RPSS_D$  is used to show, that statistically significant skill scores can only be found for climate anomalies with a signal-to-noise ratio larger than  $\sim 0.3$ .

Furthermore, the seasonal predictability is evaluated using a forecast approach (FA) based on 2m mean temperature predictions on grid-point scale for the years 1987-2001. The ECMWF Seasonal Forecast System 2 provides a marked improvement in skill relative to climatological forecasts over the North-Atlantic Ocean with maximum values of up to 30 %. Over Europe no significantly positive skill scores are found. The DEMETER multi-model has higher forecast skills than individual models. Moreover, the potential predictability is investigated applying a perfect model approach (PMA). Such approach assumes that the climate system is fully represented by the model physics. The potential winter predictability over the European continent amounts to approximately  $\sim 10\%$ .

The 3<sup>rd</sup> part of the thesis examines the potential seasonal predictability is examined via the leading mode of the European winter climate variability, namely the North Atlantic Oscillation (NAO). The PMA shows that the mean winter NAO and the NAO-

temperature related impact is potentially predictable for lead time 1 month, but with a gain in skill of only ~8 % compared to climatology. Using the FA, the results are quite different. For the period 1959-2001, the NAO skill score is not statistically significant, while the skill score is surprisingly large (16 % to 27 % relative to the observed climatology) for the period 1987-2001. For this period a weak relation between the strength of the NAO amplitude and the skill score of the NAO is found. This contrasts with ENSO variability where the amplitude dependent forecast skill is strong.

Finally, the seasonal forecasts are examined from the end user's perspective. A so-called "Klimagram" is introduced to assess seasonal climate forecasts for particular cities or regions. A first analysis reveals that the forecast skills can be improved in a relative sense, looking at spatial and temporal averaged quantities.

Overall, this study suggests a positive potential seasonal predictability in the European-Atlantic domain in winter. However, the potential benefit is rather small and constitutes a fraction only, compared to currently possible results in the tropics.

## Zusammenfassung

In dieser Arbeit wird die potentielle saisonale Vorhersagbarkeit des Europäischen-Atlantischen Winterklimas mit Hilfe dynamischer Vorhersagemethoden untersucht. Hierfür werden zwei saisonale Vorhersagesysteme benutzt: das saisonale Vorhersagesystem 2 des Europäischen Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage (EZMW) und das Multi-Model System DEMETER (Development of a European Multi-Model Ensemble Prediction System for Seasonal to Interannual Prediction). Die Vorhersagen werden mit den Beobachtungen aus den ERA40 Re-analysen verifiziert.

Saisonale Vorhersagen sind probabilistischer Natur und benötigen daher Verifikationstechniken die auf Wahrscheinlichkeitsmaße zurückgreifen. Die Verifikation in dieser Arbeit basiert auf einem mit mehreren Klassen umfassendes Maß: der Vorhersagegüte für abgestufte Wahrscheinlichkeiten (Ranked Probability Skill Score, RPSS). Das RPSS berücksichtigt die Form und Verlagerung der Wahrscheinlichkeitsfunktion. Das RPSS zeigt jedoch einen negativen Bias für Ensemble-Systeme mit kleiner Ensemblegröße, der auf ein Diskretisierungs- und Quadrierungsproblem der quadratischen Norm des RPSS zurückführbar ist. Zwei Strategien werden untersucht, die dieses Problem angehen. Zum einen wird gezeigt, dass im Gegensatz zur quadratischen Norm, die absolute Norm keinen Bias aufweist. Es zeigt sich jedoch das dieses Maß im statistischen Sinne nicht streng genug maßgebend ist. Zum anderen wird ein Maß definiert, welches auf die quadratische Norm des RPSS zurückgreift, keinen Bias aufweist und maßgebend ist. Hierbei wird die Referenzvorhersage auf eine Unterstichprobe, der gleichen Größe wie die Ensemblevorhersagen, reduziert (de-biased Ranked Probability Skill Score,  $RPSS_D$ ). Mittels einer hypothetischen Konfiguration, vergleichbar der des ECMWF System 2 (40 Ensemblemitglieder und 15 Vorhersagen), wird gezeigt, dass statistisch signifikante  $RPSS_D$  nur dann für Klimaanomalien erreicht werden können, wenn das Verhältnis zwischen Signal und Rauschanteil ungefähr 0.3 ist.

Die saisonale Vorhersagbarkeit wird zunächst im Vorhersagemodus (FA) für die 2m Temperatur und den Zeitraum 1987-2001 an jedem Gitterpunkt bewertet. Das EZMW Vorhersagesystem 2 zeigt über dem Nordatlantischen Ozean eine deutliche Verbesserung gegenüber klimatologischen Vorhersagen, mit Werten bis zu 30 %. Über Europa können keine signifikant positive  $RPSS_D$  gefunden werden. Das DEMETER Multimodell weist insgesamt eine höhere Vorhersagegüte auf als das Mittel der einzelnen Modelle. Mit Hilfe eines perfekten Modellansatzes (PMA) wird die potentielle Vorhersagbarkeit bestimmt. Diese Methode setzt ein Klimasystem voraus, dass vollständig durch die Modellphysik beschrieben wird. Die potentielle Vorhersagbarkeit des Winterklimas über dem Europäischen Kontinent erreicht nun etwa 10 %.

Die saisonale Vorhersagbarkeit wird alternativ mit dem dominanten Mode der Euro-Atlantischen Klimavariabilität, der Nordatlantischen Oszillation (NAO), untersucht. Der PMA zeigt, dass die Winter gemittelte NAO sowie der NAO bezogene Einfluss auf die Temperatur potentiell vorhersagbar sind, zumindest für eine Vorlaufzeit von einem Monat. Der Gewinn gegenüber den klimatologischen Vorhersagen ist jedoch gering und beträgt lediglich ~8 %. Für den FA werden unterschiedlich Resultate erzielt. Für den Zeitraum 1959-2001 ist die Vorhersagegüte der NAO statistisch nicht signifikant, während sie für den Zeitraum 1987-2001 überraschenderweise groß ist (16 % bis 27 % gegenüber der beobachteten Klimatologie). Für diesen Zeitraum wird weiterhin ein Zusammenhang zwischen der Stärke der NAO Amplitude und der Vorhersagegüte gefunden. Dieser ist jedoch schwach und steht im Gegensatz zur ENSO Variabilität, bei der es eine starke Abhängigkeit der Vorhersagegüte von der Amplitude gibt.

Schließlich werden die saisonalen Vorhersagen von der Perspektive des Endverbrauchers untersucht. Das so genannte Klimagramm wird eingeführt, um saisonale Klimavorhersagen für bestimmte Städte oder Regionen abzuschätzen. Eine erste Analyse zeigt, dass die Vorhersagegüte für räumlich und zeitlich gemittelte Größen verbessert werden kann.

Zusammenfassend zeigt diese Studie eine positive potentielle Vorhersagbarkeit des Europäischen-Atlantischen Winterklimas. Der potentielle Nutzen ist jedoch gering und lediglich ein Bruchteil dessen, was in den Tropen erreicht werden kann.