

## Erläuterungen zum schriftlichen Teil meiner rein kumulativ vorgelegten Doktorarbeit „Trends and Variability of extratropical cyclones“

Ziel meiner Doktorarbeit „Trends and Variability of extratropical mesoscale cyclones“ war die Untersuchung der interdekadischen Variabilität des Auftretens von Polar Lows, der in Hinblick auf Windgeschwindigkeit und Niederschlag intensivsten Gruppe der polaren Mesozyklonen, sowie Trends in der Häufigkeit ihres Auftretens im Nordatlantik zu untersuchen.

Zur Untersuchung dieser Fragestellung werden möglichst homogene und langjährige Daten benötigt. In situ Messungen sind häufig inhomogen und in ihrer räumlichen und zeitlichen Verfügbarkeit sehr beschränkt. Eine homogenere Alternative mit höherer räumlicher und zeitlicher Verfügbarkeit stellen Simulationen mit regionalen Atmosphärenmodellen dar, die grobskalige atmosphärische Felder globaler Reanalysen postprozessieren und höher auflösen. Diese Methode wird als dynamisches Downscaling bezeichnet. In dieser Arbeit wird das regionale Atmosphärenmodell CLM, welches auf dem Vorhersagemodell des DWD basiert, für das dynamische Downscaling der grobskaligen Felder der NCEP/NCAR-Reanalyse verwendet.

Da manuelle Zählungen von Polar Lows potentiell inhomogen sind, war es nötig, eine objektive Zählmethode zu entwickeln und diese in einer Langzeitsimulation anzuwenden.

Ich habe meine Arbeit in drei Schritte unterteilt:

1. Zunächst habe ich untersucht, ob Polar Lows mit dem dynamischen Downscalingansatz, ein regionales Atmosphärenmodell mit NCEP/NCAR-reanalysen anzutreiben, reproduzierbar sind.
2. Basierend auf den Erkenntnissen des ersten Arbeitsschritts habe ich einen Algorithmus zur automatischen und objektiven Detektion von Polar Lows entwickelt und in 2-jährigen Simulationen angewendet.
3. Um die Leitfrage meiner Doktorarbeit schließlich zu beantworten, habe ich im letzten Schritt eine knapp 60 Jahre reproduzierende Langzeitsimulation durchgeführt und den in „Zweitens“ entwickelten Detektionsalgorithmus auf diese angewendet.

Die Ergebnisse der drei Arbeitsschritte wurden jeweils in einer wissenschaftlichen Publikation in renommierten internationalen Zeitschriften veröffentlicht:

1. Zahn, M., H. von Storch, and S. Bakan 2008: *Climate mode simulation of North Atlantic polar lows in a limited area model*, Tellus A 60(4), 620-631, doi:10.1111/j.1600-0870.2008.00330.x.
2. Zahn, M., and H. von Storch 2008: *Tracking Polar Lows in CLM*, Meteorologische Zeitschrift, 17 (4), 445-453, doi:10.1127/0941-2948/2008/0317.
3. Zahn, M. and H. von Storch 2008b: *A longterm climatology of North Atlantic Polar Lows*, Geophys. Res. Lett., doi:10.1029/2008GL035769, in press.

Um einen schnellen Überblick über meine Doktorarbeit zu ermöglichen, werde ich den Inhalt der jeweiligen Veröffentlichungen im Folgenden zusammenfassen:

## **1. Climate mode simulation of North Atlantic polar lows in a limited area model**

Polar Lows sind Sturmtiefs in subpolaren Meeresgebieten, die unterhalb der Skalen, die in den existierenden globalen Reanalysen noch aufgelöst werden, auftreten. Um herauszufinden, ob Polar Lows mit dem Downscalingansatz, der die globalen Reanalysen mit einem höher auflösenden Regionalmodell postprozessiert, reproduziert werden können, wurden Fallstudien für drei bekannte Polar Lows durchgeführt. Die Zeitpunkte dieser drei Polar Lows wurden der Literatur entnommen. Um Aussagen treffen zu können, wie gut die Reproduktion von Polar Lows in Langzeitsimulationen aussehen würde, wurden diese Fallstudien im Klimamodus durchgeführt, d.h., die Simulationen wurden im Gegensatz zu dem sonst üblichen Vorhersagemodus zwei Wochen vor dem Auftreten der jeweiligen Polar Lows gestartet. Für alle drei Polar Lows wurden Ensembles mit zwei verschiedenen Konfigurationen durchgeführt; eines im normalen Modus und eines, bei dem zusätzlich der großskalige atmosphärische Zustand vorgegeben wurde (spectral nudging). In den genudgten Simulationen können die Polar Lows zuverlässig reproduziert werden; in den normalen Läufen treten die Polar Lows nur zufällig auf.

Desweiteren wurde ein digitaler, 2-dimensionaler bandpass Filter erfolgreich auf die Bodendruckfelder (MSLP Felder) angewendet, um die mesoskalige Information in den Läufen besser herauszuarbeiten. Die Polar Lows wurden deutlich als Minima in den gefilterten Feldern sichtbar.

Es wird geschlussfolgert, dass die Polar Lows mit dem dynamischen Downscalingansatz unter Verwendung der spectral nudging Methode zuverlässiger reproduziert werden können und es wird vermutet, dass Minima in den gefilterten Feldern als Basis für den zu entwickelnden Detektionsalgorithmus dienen können.

## **2. Tracking Polar Lows in CLM**

Im Artikel „Tracking Polar Lows in CLM“ wird ein basierend auf den Schlussfolgerungen der ersten Arbeit entwickelter Detektionsalgorithmus beschrieben und auf zwei Jahre dauernde Simulationen angewendet.

Der Algorithmus lokalisiert zunächst die Minima in den bandpass gefilterten MSLP Feldern, fügt die einzelnen Positionen dann zu Zugbahnen, im Folgenden Tracks genannt, zusammen und überprüft anschließend weitere Bedingungen entlang der Tracks. Für diese Arbeit wurden zwei Jahre dauernde Simulationen durchgeführt, jeweils zwei Simulationen im konventionellen Modus ohne spectral nudging und zwei mit spectral nudging. Der Algorithmus wurde auf alle Simulationen angewendet und die Ergebnisse ausgewertet.

Exemplarisch wird gezeigt, dass die Tracks von zwei der drei im ersten Teil der Arbeit behandelten Polar Lows auch in den Langzeitsimulationen reproduziert werden und mit der entwickelten Methode detektiert werden. Das dritte in dieser Arbeit beschriebene Polar Low liegt außerhalb des Simulationszeitraums.

In allen Simulationen wurde ein wirklichkeitsnahe saisonale und räumliche Verteilung von Polar Lows gefunden. Eine niedrigere Anzahl an Polar Lows in den spektral genudgten Simulationen deutet eine größere Realitätsnähe an.

Zwischen den konventionellen Simulationen existiert eine stärkere räumliche und zeitliche Variabilität der Ergebnisse, die, wie schon im ersten Arbeitsschritt vermutet, die eher zufällige Generierung der Polar Lows in den nicht genudgten Simulationen unterstreicht. Die Ergebnisse der genudgten Simulationen sind sich untereinander ähnlicher.

Die kürzere Dauer der Polar Lows in den genudgten Simulationen deutet eine größere Realitätsnähe an. Die maximalen Windgeschwindigkeiten sind jedoch in allen Simulationen auf ähnlichem Niveau.

### **3. A longterm climatology of North Atlantic Polar Lows**

Nach den Vorarbeiten, deren Ergebnisse in den beiden ersten Publikationen beschrieben sind, wird in dem Artikel „A longterm climatology of North Atlantic Polar Lows“ die eigentliche Frage der Doktorarbeit beantwortet.

Dazu wurde eine knapp sechzig Jahre reproduzierende (1948-2006) Simulation mit CLM in der zuvor verwendeten Konfiguration durchgeführt. Wegen der größeren Realitätsnähe wurde spektral genudgt. Der Detektionsalgorithmus wurde auf die Outputfelder angewendet, die Ergebnisse ausgewertet und die Anzahl der Polar Lows pro Winter gezählt. Die entstandene Klimatologie ist die erste Langzeitklimatologie basierend auf Einzelfällen von Polar Lows.

Bei im Mittel 56 Fällen pro Winter im Nordatlantik ergibt sich eine starke jährliche Variabilität, aber es konnte kein langfristiger Trend nachgewiesen werden. Dies gilt sowohl für die gesamte untersuchte Region, als auch für sämtliche untersuchte Unterregionen.

Eine Canonische Korrelationsanalyse wurde durchgeführt, um die jährliche Anzahl der Polar Lows in verschiedenen Unterregionen mit bevorzugten mittleren jährlichen Bodendruckfeldern zu verbinden. In Jahren, in denen eine eher nördlichere Windrichtung in einer Unterregion vorherrscht, treten Polar Lows häufiger auf und umgekehrt.

Ich hoffe, dass der Prüfungsausschuss diese zusammenfassenden Ausführungen hilfreich findet,

Matthias Zahn