

Diss. ETH No. 17868

Arctic climate from an upper level perspective arising from a new collection of historical upper air data

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by
ANDREA NICOLE GRANT
M.S., Materials Science, University of Minnesota
born 21 September 1972
citizen of the United States of America

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. S. Brönnimann, examiner

Dr. M. Serreze, co-examiner

Prof. Dr. L. Haimberger, co-examiner

2008

Abstract

Arctic climate plays an important role in the global climate system and is often portrayed as the “canary in the coal mine” of anthropogenically induced climate change. The two major warm periods in the Arctic in the past century provide a pair of opportunities for understanding what drives Arctic climate on an interdecadal scale. Until now, only the surface instrumental record covered both warm periods. Here I present the development of a new upper air dataset and the application of this data to the temporal evolution of the vertical temperature structure in the Arctic.

Historical radiosonde data are known to suffer from inhomogeneities; data from the earliest part of the record (prior to the International Geophysical Year (IGY) in 1957-1958) has been considered even more suspect due to non-standardized launch times and early instrumentation development. In this work, data were gathered from a number of archives, including, in some cases, original paper records. A thorough cross-referencing of the sources resulted in the first comprehensive compilation of pre-IGY radiosonde data. This dataset was then validated using an innovative homogenization method which compares monthly mean data on a subset of levels to a statistically reconstructed reference series. Widespread uncorrected radiation and lag errors were found over Eurasia and inconsistent geopotential height units were used in the earliest years of the Former Soviet Union. The corrected data show large changes in height and temperature across Eurasia which resulted in more physically consistent fields (temperature has improved agreement with height). The corrections are important as they have a clear spatial structure that interferes with the planetary wave structure. The assimilation of uncorrected data into NCEP-NCAR reanalysis has led to a widespread warm bias in the reanalysis in the 1950s.

The new dataset was then used to question the validity of trend analysis in ERA-40 Reanalysis zonal mean temperature over the Arctic Ocean where no *in situ* upper air data are assimilated. Furthermore, the use of zonal means obscures important regional processes that affect Arctic climate. Examination of spatial and regional data provides a more complete understanding of the Arctic climate. Vertical time series were examined

for seven regions of the Arctic in all four seasons for evidence of the two warm periods recorded in the surface air temperature record. The two events (the 1920s to 1940s and 1990s to now) were found to have quite different seasonal and regional signals as well as vertical structure. Sparseness of the earliest data makes it difficult to conclusively identify the vertical structure of the early warm period, but some years were vertically coherent (warm at the surface and aloft) and some were not (warm at the surface only). The clear signal of the recent warm period throughout the troposphere is evident. The two warm periods are further distinguishable in that the early warm event was strongest in winter and almost exclusively seen in the Atlantic sector of the Arctic, while the recent warming is evident in all sectors of the Arctic and all seasons, although the strongest signal is in the Beaufort-Bering region in winter and spring. The recent warming is also growing more widespread and is better classified as a trend than an isolated warm event.

Reconstructed geopotential height fields show increased southerly advection from Europe into the Barents Sea area throughout the 1930s which is consistent with the continuously warm SAT in that region. Circulation in the 1940s weakened and grew disorganized, which is also consistent with the larger variability in temperature in the 1940s Atlantic Arctic. Sulfate levels in ice core records from Greenland and Svalbard provide independent validation of the anomalous circulation and raise the question of their own influence on the early warm event.

In conclusion, I describe several additional projects which could be undertaken using this new historical upper air dataset. This includes the validation of a new surface pressure based reanalysis which is already underway and the assimilation of this data into third generation reanalyses such as ERA-75. A more comprehensive validation of reanalysis products in the Arctic region could be studied as well as extending the climatology of the inversion layer statistics in the Arctic.

Zusammenfassung

Das arktische Klima spielt eine wichtige Rolle im globalen Klimasystem und wird oft als „Frühwarnsystem“ des anthropogen beeinflussten Klimawandels angesehen. Anhand der zwei grösseren Warmphasen in der Arktis während des vergangenen Jahrhunderts lassen sich die Faktoren, die das arktische Klima auf einer dekadalen Skala antreiben, besser verstehen. Bisher haben nur Messungen am Boden beide Warmphasen abgedeckt. Hier präsentiere ich die Aufbereitung eines neuen Höhendatensatzes, mit dem die zeitliche Entwicklung der vertikalen Temperaturstruktur der Arktis untersucht wird.

Es ist allgemein bekannt, dass historische Radiosondierungsdaten Inhomogenitäten aufweisen. Daten aus der frühesten Periode der Aufzeichnungen (vor dem Internationalen Geophysikalischen Jahr (IGJ) 1957 - 1958) müssen angesichts dem Stand der Technik in der damaligen Instrumentenentwicklung und wegen nicht-standardisierten Zeiten der Aufzeichnung mit noch grösserer Vorsicht betrachtet werden. In dieser Arbeit werden Daten von verschiedensten Archiven (einschliesslich ursprüngliche Papieraufzeichnungen) verwendet. Eine gründliche Begutachtung der Datensätze aus verschiedenen Quellen resultierte in der ersten umfassenden Zusammenstellung von Radiosonden-Daten aus der Zeit vor dem IGJ. Dieser Datensatz wurde danach mit Hilfe einer neu entwickelten Homogenisierungsmethode validiert, die Monatsmittel auf einigen Höhenlevels mit einer statistisch rekonstruierten Referenz-Reihe vergleicht. Eine grosse Zahl von unkorrigierten Strahlungsfehlern und Fehlern aus unterschiedlichen Messzeitabständen wurde über Eurasien gefunden. In der ehemaligen Sowjetunion wurden damals zudem inkonsistente Einheiten in der geopotentiellen Höhe verwendet. Die korrigierten Daten zeigen vor allem in Höhe und Temperatur über Eurasien Verbesserungen, was in physikalisch konsistenteren Feldern resultierte (Die Übereinstimmung der Temperatur mit der Höhe wurde verbessert). Die Korrekturen sind wichtig, da sie eine klare räumliche Struktur aufweisen, die die planetare Wellenstruktur überlagert. Die Assimilation von unkorrigierten Daten in die NCEP-NCAR Reanalyse führte zu einem grössräumig warmen Bias in den 1950er Jahren.

Der neue Datensatz wurde verwendet, um Trendanalysen der zonal gemittelten Tem-

peratur in der ERA-40 Reanalyse über dem Arktischen Ozean (wo keine in situ Daten assimiliert werden) zu verifizieren. Durch die Verwendung von zonalen Mitteln werden jedoch wichtige regionale Prozesse, die das Arktische Klima beeinflussen, vernachlässigt. Eine Untersuchung von räumlichen und regionalen Mustern trägt zu einem vollständigeren Verständnis des Arktischen Klimas bei. Vertikale saisonale Zeitreihen von sieben Regionen der Arktis wurden analysiert, um die zwei Warmperioden, die in der Bodentemperatur beobachtet wurden, zu vergleichen. Es konnte gezeigt werden, dass die zwei Ereignisse (die 1920er bis 1940er Jahre und die 1990er Jahre bis heute) saisonal, regional und vertikal verschiedene Signale aufweisen. Wegen fehlender Daten in den frühesten Aufzeichnungen ist es schwierig, die vertikale Struktur der frühen Warmperiode abschliessend zu identifizieren. Einige Jahre waren konsistent (warm am Boden und in der Höhe) und einige nicht (nur am Boden warm). Das Signal der letzten Warmperiode ist über die ganze Troposphäre klar sichtbar. Die beiden Warmphasen haben zusätzlich folgende Unterschiede: die frühere Warmperiode war im Winter am stärksten und fast ausschliesslich im Atlantischen Sektor der Arktis zu sehen, während die letztere Warmphase in allen Sektoren der Arktis und während allen Jahreszeiten zu beobachten ist. Das stärkste Signal findet man jedoch in der Beaufort—Bering Region im Winter und Frühling. Der Anstieg der Temperatur während der letzteren Warmphase ist räumlich ausgedehnter und wird vielmehr als ein Trend anstelle eines isolierten Warmereignisses identifiziert.

Rekonstruierte geopotentielle Höhenfelder zeigen in den 1930er Jahre erhöhte südliche Advektion von Europa Richtung Barentssee, was mit den kontinuierlich warmen Bodentemperaturen in jener Region konsistent ist. Die Zirkulation war in den 1940er Jahren abgeschwächt und wurde variabler, was ebenso mit der grösseren Temperaturvariabilität in den 1940er Jahren in der Atlantischen Arktis im Einklang steht. Sulfat Werte in Eisbohrkernen von Grönland und Svalbard liefern unabhängige Verifizierungen dieser anomalen Zirkulation. Es bleibt jedoch unklar, ob diese selber auch einen Einfluss auf die frühere Warmphase gehabt haben.

In der Schlussfolgerung beschreibe ich mehrere zusätzliche Projekte, die mit Hilfe dieses neuen historischen Datensatzes unternommen werden könnten. Dies beinhaltet die Verifizierung von Reanalyse Daten, die auf Bodendruck-Daten basieren und bereits gerechnet wurden und die Assimilation dieser Daten in Reanalysen dritter Generation wie z.B. ERA-75. Dadurch könnte eine umfassendere Verifizierung der Reanalyse Produkte in der Arktischen Region studiert werden. Zudem könnte das langjährige Mittel der Inversionsschicht in der Arktis zeitlich ausgeweitet werden.