

Mareike Lehrling

**Klimaentwicklung in Alaska - eine GIS-  
gestützte Erfassung und Analyse der raum-  
zeitlichen Entwicklung von Temperatur  
und Niederschlag**

**ERDSICHT - EINBLICKE IN GEOGRAPHISCHE  
UND GEOINFORMATIONSTECHNISCHE ARBEITSWEISEN**

Schriftenreihe des Geographischen Instituts der Universität Göttingen,  
Abteilung Kartographie, GIS und Fernerkundung

Herausgegeben von Prof. Dr. Martin Kappas

ISSN 1614-4716

Mareike Lehrling

**KLIMAENTWICKLUNG IN ALASKA –  
EINE GIS-GESTÜTZTE ERFASSUNG UND  
ANALYSE DER RAUM-ZEITLICHEN  
ENTWICKLUNG VON TEMPERATUR UND  
NIEDERSCHLAG**

*ibidem*-Verlag  
Stuttgart

### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

### **Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

Dieser Titel ist als Printversion im Buchhandel  
oder direkt bei *ibidem* ([www.ibidem-verlag.de](http://www.ibidem-verlag.de)) zu beziehen unter der

ISBN 978-3-89821-670-8.

∞

ISSN: 1614-4716

ISBN-13: 978-3-8382-5670-2

© *ibidem*-Verlag  
Stuttgart 2012

Alle Rechte vorbehalten

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und elektronische Speicherformen sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in or introduced into a retrieval system, or transmitted, in any form, or by any means (electronical, mechanical, photocopying, recording or otherwise) without the prior written permission of the publisher. Any person who does any unauthorized act in relation to this publication may be liable to criminal prosecution and civil claims for damages.

## VORWORT DES HERAUSGEBERS

Die Reihe „Erdsicht – Einblicke in Geographische und Geoinformationstechnische Arbeitsweisen“ soll Forschungsergebnisse und Arbeiten im Bereich der Erdsystemforschung vorstellen. Die Betrachtung der Erde als System ist als Inhalt heutiger und zukünftiger Geowissenschaftlicher Gemeinschaftsforschung dringend gefordert. Die Herausforderungen liegen zum einen in der Erforschung der vielfältigen Interaktionen zwischen den verschiedenen Teilbereichen des Systems Erde. Hierzu zählen Wechselwirkungen zwischen fester Erde und Atmosphäre, zwischen der Landoberfläche und der Hydrosphäre oder zwischen Biosphäre, Hydrosphäre und Atmosphäre. Der Mensch steht dabei mit seinen zentralen Nutzungsansprüchen (Ernährung – landwirtschaftliche Nutzung – Ressourcennutzung) im Mittelpunkt eines vielfach vernetzten Erdsystems. Der Mensch verändert Landschaften und Atmosphäre und greift somit in alle Skalenbereiche des Erdsystems ein. Insofern müssen diese Veränderungen beobachtet und bewertet werden, damit Konzepte für ein nachhaltiges Erdsystemmanagement auf den unterschiedlichen Raum- und Zeitskalen entwickelt werden können. Die neuen Geoinformationstechniken (Geostatistik; Geographische Informationssysteme – GIS; luft- und satellitengestützte Fernerkundungssysteme – Remote Sensing) helfen dabei, das System Erde zu beobachten und zu begreifen. Ohne diese Techniken ist eine ganzheitliche Betrachtung der Erde und eine flächenhafte Bereitstellung von Informationen über das Erdsystem nicht möglich.

Die vorliegende Studie untersucht die zeitliche und raum-zeitliche Entwicklung der Klimaelemente Temperatur und Niederschlag innerhalb der letzten Normalperiode (1960-1990) sowie der jüngsten Aufzeichnungsgeschichte (bis 2004). Die Fokussierung auf die Ausprägung und Veränderung der Klimaelemente Temperatur und Niederschlag ist damit zu begründen, dass sich die regionalen Auswirkungen des Klimas zum weitaus größten Teil auf thermische und hygrische Vorgänge zurückführen lassen. Die Region Alaska reagiert in den letzten Jahrzehnten sehr sensibel auf globale Klimaveränderungen. Die Arbeit von Mareike Lehrling liefert ein aktuelles Bild der klimatischen Veränderungen in Alaska.

Martin Kappas



## **Vorwort und Danksagung der Autorin**

Die vorliegende Arbeit wurde in der Abteilung Kartographie, GIS und Fernerkundung des Geographischen Instituts der Georg-August-Universität Göttingen unter Leitung von Herrn Prof. Dr. Martin Kappas erstellt. Ein Forschungsschwerpunkt der Abteilung ist das DFG Projekt KA1146/2-1 „Monitoring von Gletscherzungen in Alaska mittels digitaler Photogrammetrie aus Schrägluftbildern zur Quantifizierung von Gletscherschwankungen und Erfassung des Naturgefahrenpotentials“, das seit dem 01.08.2003 von Herrn Dipl.-Geogr. Lars Gleitsmann ausgeführt wird. Dieses Projekt hat mein Interesse an klimatologischer Forschung in Alaska geweckt.

Herrn Prof. Dr. Martin Kappas danke ich herzlich für die wissenschaftliche Betreuung der Arbeit, seine Diskussionsbereitschaft und sein großes Interesse an der Forschungsarbeit zur Klimatologie und zu Alaska.

Herrn PD Dr. Jürgen Böhner danke ich für die wissenschaftlichen Ratschläge und seine große Hilfsbereitschaft bei der Umsetzung der GIS-Modellierungen. Außerdem bedanke ich mich bei Herrn Dipl.-Phys. Andre Ringeler für die technische Unterstützung bei der Arbeit mit SAGA-GIS.

Herrn Prof. Dr. Friedrich-Wilhelm Gerstengarbe und Herrn Dr. Peter Werner vom Potsdamer Institut für Klimafolgenforschung (PIK) danke ich für die Bereitstellung des untersuchten Klimadatensatzes.

Herrn Prof. Dr. Gerd Wendler und Frau Ass. Prof. Dr. Uma S. Bhatt vom Geophysikalischen Institut der University of Alaska, Fairbanks, danke ich für die wissenschaftliche Diskussionsbereitschaft und Bereitstellung von Literatur.

Ein besonderer Dank gilt Herrn Dipl.-Geogr. Lars Gleitsmann und Frau Dr. Anke Gleitsmann für ihre wissenschaftlichen Hilfestellungen und ihre ansteckende Begeisterung für Alaska.

Ich möchte mich bei allen bedanken, die direkt oder indirekt zur Erstellung dieser Diplomarbeit in Form fachlicher oder anderweitiger Unterstützung beigetragen

haben. Bei meinen Eltern, die mir durch ihre Unterstützung das Studium ermöglicht haben, bedanke ich mich herzlich.



Vorwort des Herausgebers .....	V
Vorwort und Danksagung der Autorin.....	VII
Inhaltsverzeichnis .....	IX
Abbildungsverzeichnis .....	XIII
Tabellenverzeichnis.....	XV
Abkürzungsverzeichnis .....	XVI

## **Inhaltsverzeichnis**

1. EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG .....	1
2. ALASKA.....	5
2.1 Geographische Lage.....	5
2.2 Sozioökonomischer Kontext.....	5
2.2.1 Bevölkerung .....	5
2.2.2 Transport.....	7
2.2.3 Wirtschaft .....	7
2.3 Physiogeographischer Kontext .....	9
2.3.1 Landschaftliche Großräume .....	9
2.3.2 Ökozonierung .....	12
2.4 Klima.....	14
2.4.1 Klimadeterminierende Faktoren.....	15
2.4.1.1 Atmosphärische Zirkulation.....	15
2.4.1.2 Geographische Breite.....	17
2.4.1.3 Maritime Einflüsse.....	18
2.4.1.4 Topographie .....	19
2.4.2 Klimazonierung .....	21
2.4.3 Die Klimaelemente: Temperatur und Niederschlag.....	22
2.4.3.1 Temperatur .....	23
2.4.3.2 Niederschlag.....	23
2.4.4 Zusammenfassung .....	24
3. DATENAUSWAHL UND -BEARBEITUNG.....	27
3.1 Problematik klimatologischer Forschung in Alaska.....	27
3.2 Datengrundlage des WRCC und ACRC .....	28
3.3 PIK-Datensatz .....	34
3.4 Digitales Geländemodell (DGM).....	36
3.5 Indizes verschiedener Antriebe der atmosphärischen Zirkulation .....	36

4. METHODIK.....	39
4.1 Analyse der zeitlichen Entwicklung der Klimaelemente .....	39
4.1.1 Analyse der mittleren und extremen Ausprägung.....	39
4.1.2 Variabilitätsanalyse .....	40
4.1.2.1 Variationsmaße .....	40
4.1.2.2 Anomalien und gleitende Mittelung .....	41
4.1.3 Trendanalyse.....	42
4.1.3.1 Linearer Trend.....	43
4.1.3.2 Mittelwertdifferenz .....	44
4.1.4 Korrelationsanalyse .....	45
4.2 Räumliche Analyse der Entwicklung der Klimaelemente / Klimaregionalisierung.....	46
5. ERGEBNISDARSTELLUNG UND INTERPRETATION .....	51
5.1 Mittlere Ausprägung der Klimaelemente in den Klimaregionen Alaskas.....	51
5.1.1 Region 1: South Central .....	51
5.1.2 Region 2: South West.....	53
5.1.3 Region 3: Copper River Basin.....	54
5.1.4 Region 4: Cook Inlet .....	55
5.1.5 Region 5: Bristol Bay .....	57
5.1.6 Region 6: West Central .....	58
5.1.7 Region 7: Interior .....	59
5.1.8 Region 8: Arctic .....	61
5.1.9 Zusammenfassung .....	62
5.2 Zeitreihenanalyse .....	63
5.2.1 Zeitreihenanalyse der Entwicklung der Temperatur .....	64
5.2.1.1 Mittlere und extreme Ausprägung der Jahresmittelwerte.....	64
5.2.1.2 Intraannuelle Variabilität und Bildung der Jahresmittelwerte.....	71
5.2.1.3 Interannuelle Variabilität der Temperatur .....	74
5.2.1.4 Temperaturtrends der Beobachtungsperiode 1961-2003.....	81
5.2.1.5 Zusammenfassung der Zeitreihenanalyse Temperatur .....	85
5.2.2 Zeitreihenanalyse der Entwicklung der Niederschläge.....	87
5.2.2.1 Mittlere und extreme Ausprägung der Jahressummen .....	87
5.2.2.2 Intraannuelle Variabilität und Bildung der Jahressummen .....	94
5.2.2.3 Interannuelle Variabilität der Niederschläge .....	98
5.2.2.4 Niederschlagstrends der Beobachtungsperiode .....	107
5.2.2.5 Zusammenfassung der Zeitreihenanalyse Niederschlag.....	112
5.2.3 Gegenüberstellung der Zeitreihenanalysen Temperatur und Niederschlag .....	114
5.3 Raum-zeitliche Analyse der Entwicklung der Klimaelemente.....	116
5.3.1 Räumliche Verteilung und Repräsentanz der Stationsdatenreihen.....	117

5.3.2 Räumliche mittlere Ausprägung der Klimaelemente .....	119
5.3.2.1 Verteilung der Jahresmittelwerte der Temperatur .....	119
5.3.2.2 Verteilung der Jahressummen der Niederschläge.....	120
5.3.3 Raum-zeitliche Entwicklung der Klimaelemente .....	122
5.3.3.1 Raum-zeitliche Entwicklung der Temperatur.....	122
5.3.3.2 Raum-zeitliche Entwicklung der Niederschläge.....	127
5.3.4 Zusammenfassung .....	132
5.4 Vergleichende Analyse des eigenen Datensatzes mit dem PIK-Datensatz .....	133
5.4.1 Vergleichende Zeitreihenanalyse .....	134
5.4.1.1 Vergleichende Zeitreihenanalyse Temperatur .....	134
5.4.1.2 Vergleichende Zeitreihenanalyse Niederschlag.....	136
5.4.2 Vergleichende Analyse der raum-zeitlichen Entwicklung der Klimaelemente .....	140
5.4.2.1 Vergleichende Analyse der raum-zeitlichen Entwicklung der Temperatur .....	141
5.4.2.2 Vergleichende Analyse der raum-zeitlichen Entwicklung der Niederschläge.....	145
5.4.3 Zusammenfassung .....	149
6. AUSBLICK .....	153
6.1 Ursachen der beobachteten Klimaentwicklung .....	153
6.1.1 Klimaindizes .....	153
6.1.1.1 Pacific/North American pattern (PNA) .....	154
6.1.1.2 Pacific Decadal Oscillation (PDO) .....	155
6.1.1.3 Kopplung der Pacific Decadal Oscillation (PDO) und El Niño Southern Oscillation (ENSO) .....	157
6.1.1.4 Aleutian Low Pressure Index (ALPI) .....	159
6.1.2 Korrelationen der Klimaindizes .....	159
6.1.2.1 Korrelationen der Klimaindizes untereinander.....	159
6.1.2.2 Korrelation der Klimaindizes mit den Zeitreihen der Klimaelemente	160
6.1.2.3 Korrelation der Klimaindizes mit den Zeitreihen der Klimaelemente ausgewählter Regionen .....	163
6.1.3 Diskussion zu den Ursachen der Klimavariabilität und beobachteten Trends der Klimaelemente .....	165
6.2 Klimamodelle und Klimaprognostik .....	167
6.2.1 Statistische Modelle und Interpolationsverfahren.....	167
6.2.2 Allgemeine Zirkulationsmodelle (GCMs) .....	169
6.2.3 Klimaprognosen für Alaska.....	173
6.2.4 Klimamodellierung in den subarktischen und arktischen Breiten .....	176
6.2.5 Zusammenfassung .....	178

6.3 Auswirkungen eines potentiellen Klimawandels in Alaska .....	178
6.3.1 Kopplung von Atmosphäre und Ökosystemen.....	179
6.3.2 Auswirkungen in Alaska .....	181
6.3.2.1 Auswirkungen auf die Kryosphäre .....	182
6.3.2.2 Auswirkungen auf die Vegetation .....	184
6.3.2.3 Auswirkungen auf marine Ökosysteme und die Fischereiwirtschaft ..	185
6.3.2.4 Auswirkungen auf die Subsistenzwirtschaft.....	186
6.3.2.5 Weitere Auswirkungen .....	186
6.3.3 Zusammenfassung .....	187
7. ZUSAMMENFASSUNG .....	189
8. QUELLENVERZEICHNIS .....	195
ANHANG .....	205
Anhang 1: Tabellarische Beschreibungen der Ökozonen Alaskas .....	206
Anhang 2: Temperaturentwicklung in Alaska, PIK-Datensatz.....	212
Anhang 3: Niederschlagsentwicklung in Alaska, PIK-Datensatz .....	212
Anhang 4: Mittelwerte der Klimastationsdaten für untersuchte Zeiträume, Temperatur.....	213
Anhang 5: Mittelwerte der Klimastationsdaten für untersuchte Zeiträume, Niederschlag .....	214
Anhang 6: Pacific/North American pattern und Aleutentief .....	215
Anhang 7: Luftdruckverteilung während El Niño und La Niña .....	216
Anhang 8: Beschreibung der GCMs - Canadian Model und Hadley Model .....	217

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Kartenausschnitt Alaska .....	6
Abb. 2: Fotos aus den vier landschaftlichen Großräumen: a) North Slope, b) Brooks Range, c) Interior und d) Alaska Range .....	10
Abb. 3: Ökozonen in Alaska .....	14
Abb. 4: Luftdruckverteilung über Alaska: a) Januar, b) Juli .....	16
Abb. 5: Klimaregionen des Untersuchungsraums in Alaska nach Einteilung des ACRC .....	22
Abb. 6: Fotos der Klimastationen Birchwood und Eagle Summit.....	28
Abb. 7: Klimadiagramm Kodiak.....	52
Abb. 8: Klimadiagramm Cold Bay .....	53
Abb. 9: Klimadiagramm Gulkana .....	55
Abb. 10: Klimadiagramm Talkeetna.....	56
Abb. 11: Klimadiagramm King Salmon .....	57
Abb. 12: Klimadiagramm Nome.....	58
Abb. 13: Klimadiagramm Fairbanks.....	60
Abb. 14: Klimadiagramm Barrow.....	61
Abb. 15: Mittlere Temperaturverteilung in °C.....	66
Abb. 16: Anzahl der Extremereignisse und Eintrittsjahr, Temperatur .....	70
Abb. 17: Monatliche Mitteltemperatur und ihre Standardabweichungen der Klimastationen Homer, Fairbanks und Barrow.....	73
Abb. 18: Verlauf der Temperaturanomalien in den abgegrenzten Klimaregionen.....	78
Abb. 19: Verlauf der Temperaturanomalien für Gesamtalaska .....	80
Abb. 20: Mittlere Niederschlagsverteilung in mm.....	89
Abb. 21: Anzahl der Extremereignisse und Eintrittsjahr, Niederschlag, .....	94
Abb. 22: Monatliche mittlere Niederschlagssumme und ihre Standard- abweichungen der Klimastationen Homer, Fairbanks und Barrow .....	97
Abb. 23: Verlauf der Niederschlagsanomalien in den abgegrenzten Klimaregionen .....	104
Abb. 24: Verlauf der Niederschlagsanomalien für Gesamtalaska .....	106
Abb. 25: Mittlere Jahrestemperatur.....	120
Abb. 26: Mittlere Niederschlagsjahressumme .....	121
Abb. 27: Mittlere Jahrestemperatur der Subintervalle .....	124
Abb. 28: Mittelwertdifferenzen der Temperatur für die Subintervalle.....	125
Abb. 29: Mittlere Niederschlagsjahressumme der Subintervalle .....	129
Abb. 30: Mittelwertdifferenzen der Niederschläge für die Subintervalle.....	130
Abb. 31: Verlauf der Temperaturanomalien für Gesamtalaska anhand des PIK-Datensatzes .....	134
Abb. 32: Vergleich der Temperaturkurven nach WRCC, ACRC und PIK .....	135
Abb. 33: Verlauf der Niederschlagsanomalien für Gesamtalaska anhand des PIK-Datensatzes .....	137
Abb. 34: Vergleich der Niederschlagskurven nach WRCC, ACRC und PIK .....	138
Abb. 35: Vergleich der Datensätze der Temperaturentwicklung.....	142

Abb. 36: Vergleich der Datensätze der Niederschlagsentwicklung.....	146
Abb. 37: Phasen der Pacific Decadal Oscillation (PDO).....	156
Abb. 38: Korrelation der Klimaindizes mit der Temperatur in Alaska .....	162
Abb. 39: Prognostizierte Entwicklung der globalen und arktischen, bodennahen Lufttemperatur .....	172
Abb. 40: Prognostizierte Entwicklung der globalen und arktischen Niederschläge.	173
Abb. 41: Szenarien zur Entwicklung von Temperatur und Niederschlag in Alaska	174
Abb. 42: Kopplung von Ökosystemen der nördlichen Breiten mit dem Regionalklima und Globalklima .....	180
Abb. 43: Reaktionszeiten verschiedener positiver und negativer Rückkopplungen zwischen Ökosystemen der nördlichen Breiten und der Atmosphäre .....	181
Abb. 44: Auswirkungen auf die Kryosphäre.....	183
Abb. 45: Auswirkungen auf die Vegetation.....	185

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Metadaten der ausgewählten Klimastationen .....	33
Tab. 2: t-Wert zur Schätzung von Mutungsbereichen .....	44
Tab. 3: Kritische Werte des Produktmoment-Korrelationskoeffizienten .....	46
Tab. 4: Deskriptive Statistik, Temperatur .....	65
Tab. 5: Jahreszeitliche Mittelwerte der Temperatur .....	72
Tab. 6: Trendanalyse der Temperatur .....	82
Tab. 7: Lineare Trends der jahreszeitlichen Temperaturentwicklung .....	84
Tab. 8: Regionale Statistik der Temperaturentwicklung.....	86
Tab. 9: Deskriptive Statistik, Niederschlag.....	88
Tab. 10: Jahreszeitliche Mittelwerte der Niederschlagssummen.....	95
Tab. 11: Trendanalyse der Niederschläge.....	108
Tab. 12: Lineare Trends der jahreszeitlichen Niederschlagsentwicklung .....	110
Tab. 13: Regionale Statistik der Niederschlagsentwicklung .....	113
Tab. 14: Vergleich der regionalen linearen Trends von Temperatur und Niederschlag .....	115
Tab. 15: Korrelation der Trends der Klimaelemente .....	116
Tab. 16: Pixelbasierte Statistik der Temperaturveränderung nach WRCC, ACRC .	127
Tab. 17: Pixelbasierte Statistik der Niederschlagsveränderung nach WRCC, ACRC.....	132
Tab. 18: Vergleich der Temperaturreihen für Gesamtalaska nach WRCC, ACRC und PIK.....	136
Tab. 19: Vergleich der Niederschlagsreihen für Gesamtalaska nach WRCC, ACRC und PIK.....	139
Tab. 20: Pixelbasierte Statistik der Temperaturveränderung nach PIK.....	143
Tab. 21: Pixelbasierte Statistik der Niederschlagsveränderung nach PIK.....	147
Tab. 22: Vergleich der Eigenschaften der Klima-Datensätze PIK und WRCC, ACRC .....	150
Tab. 23: Korrelationen der Klimaindizes.....	160
Tab. 24: Korrelationen der Indizes mit den Klimaelementen für Gesamtalaska.....	160
Tab. 25: Korrelationen der Indizes mit den Klimaelementen für ausgewählte Klimaregionen .....	164

## Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celsius
°F	Grad Fahrenheit
Abb.	Abbildung
ACRC	Alaska Climate Research Center
ADW	angular distance weighted
AGCM	Atmospheric General Circulation Model
ALPI	Aleutian Low Pressure Index
AO	Arctic Oscillation
AOGCM	Atmospheric-Oceanic General Circulation Model
ARAG	Alaska Regional Assessment Group
ASOS	Automated Surface Observing System
bzw.	beziehungsweise
c.a.	circa
CH <sub>4</sub>	Methan
cm	Zentimeter
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
CRU	Climate Research Unit
d.h.	das heißt
DGM	Digitales Geländemodell
DJF, W	Winter (Dezember, Januar, Februar)
DTR	Diurnal Temperature Range
EDC	EROS Data Center
ENSO	El Niño Southern Oscillation
et al.	et alii (und andere)
F	Frühjahr
FAA	Federal Aviation Administration
FTP	File Transfer Protocol
GCM	General Circulation Model
GIS	Geographisches Informationssystem
hPa	Hectopascal
i.d.R.	in der Regel
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
JJA, S	Sommer (Juni, Juli, August)
Kap.	Kapitel
km	Kilometer
km <sup>2</sup>	Quadratkilometer
m ü. NN	Meter über Normalnull
MAM, F	Frühling (März, April, Mai)
mm	Millimeter
NAM	Northern Hemisphere Annual Mode
NAST	National Assessment Synthesis Team
NCAR	National Center for Atmospheric Research



NCDC	National Climate Data Center
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NPI	North Pacific Index
NPP	Net Primary Production
NWS	National Weather Service
o.D.	ohne Datum
OGCM	Oceanic General Circulation Model
PDO	Pacific Decadal Oscillation
PDOI	Pacific Decadal Oscillation Index
PIK	Potsdamer Institut für Klimafolgenforschung
PNA	Pacific/North American pattern
PNA-WG	Pacific/North American Index nach WALTER & GUTZLER
RCM	Regional Circulation Model
S.	Seite
s.o.	siehe oben
SAGA	System für Automatische Geowissenschaftliche Analysen
SLP	Sea Level Pressure
SON, H	Herbst (September, Oktober, November)
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SST	Sea-Surface Temperature
t	Zeit
Tab.	Tabelle
TS	Time Series
u.a.	unter anderem / und andere
URL	Uniform Resource Locator
USGS	United States Geological Survey
USHCN	United States Historical Climatology Network
UTM	Universal Transverse Mercator
v.a.	vor allem
vgl.	vergleiche
usw.	und so weiter
W	Winter
WGS	World Geodetic Survey
WMO	World Meteorological Organization
WRCC	Western Regional Climate Center
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil



# 1. EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG

Das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2001 beschreibt für das letzte Jahrhundert eine globale Erwärmung um  $0.6^{\circ}\text{C}$ . Diese globale Temperaturzunahme ist am stärksten durch klimatische Veränderungen in der Nordhemisphäre, insbesondere in den arktischen und subarktischen Breiten geprägt. Das Arctic Climate Impact Assessment (ACIA), 2004 beschreibt für den Zeitraum 1900 bis 2000 eine Temperaturzunahme von  $2.0^{\circ}\text{C}$  für die arktischen Regionen ( $60^{\circ}\text{Nord}$  bis  $90^{\circ}\text{Nord}$ ). Klimatische Veränderungen dieser Intensität können regional weitreichende Konsequenzen für die Ökosysteme und das Leben der Menschen besonders in den polnahen Regionen haben. Gleichzeitig haben die arktischen und subarktischen Gebiete einen erheblichen Einfluss auf die Funktion und Ausprägung des globalen Klimas. Regionale klimatische Untersuchungen sind zum Verständnis des gesamten Klimasystems unerlässlich.

In der vorliegenden Arbeit soll die zeitliche und raum-zeitliche Entwicklung der Klimaelemente Temperatur und Niederschlag innerhalb eines zu bestimmenden Zeitraums in Alaska untersucht werden. Die Fokussierung auf die Ausprägung und Veränderung der Klimaelemente Temperatur und Niederschlag ist damit zu begründen, dass sich die regionalen Auswirkungen des Klimas zum weitaus größten Teil auf thermische und hygrische Vorgänge zurückführen lassen (SCHÖNWIESE, 2003). In Alaska sind seit den letzten Jahrzehnten bereits zahlreiche sichtbare Kennzeichen einer offensichtlich klimadeterminierten Veränderung der Ausstattung der Ökosysteme zu beobachten, in einem Ausmaß wie in sonst keiner vergleichbaren Region in den nördlichen Breiten. Die klimatischen und ökologischen Veränderungen haben einen erheblichen Einfluss auf das Leben der Menschen in Alaska (ARAG, 1999, NAST, 2001).

Eine gute wissenschaftliche Kenntnis der Ausprägung und Veränderungsprozesse des Klimas und seiner Ursache-Wechselbeziehungen und Rückkopplungen mit den ökologischen Prozessen sind regional, aber auch global von herausragender Bedeutung. Während sich zahlreiche Studien bereits mit den thermischen und hygrischen Veränderungen in der Arktis oder der Nordhemisphäre (u.a. ACIA, 2004, IPCC, 2001, SERREZE, 2000) oder in sehr kleinen Gebieten Alaskas (u.a. CURTIS et al., 1998, 2003) beschäftigt haben, liegen bisher relativ wenige Arbeiten vor, die

sich mit dem Gesamttraum Alaska beschäftigen (ACRC, 2005, SHULSKI et al., 2003, STAFFORD et al., 2000). Insbesondere über die Entwicklung der Niederschläge ist wenig bekannt, da langjährige Niederschlagbeobachtungen durch messtechnische Schwierigkeiten erschwert werden und die kleinräumig stark variablen Niederschläge nur schwer zu modellieren sind.

Alaska liegt in der polaren und subpolaren Klimazone. Verschiedene permanente und semi-permanente Luftdrucksysteme mit variierender Intensität bestimmen die atmosphärischen Zirkulationsprozesse Alaskas. Die geographische, sich weit erstreckende Breitenlage, die lokale Topographie und die Meeresnähe sind weitere wichtige klimadeterminierende Faktoren. Insgesamt ist das Klima Alaskas sehr heterogen ausgeprägt. Es besitzt arktische, kontinentale und maritime Anteile (ACRC, 2005, KÖPPEN & GEIGER, 1938, STAFFORD, 2000, WELLER, 1979). Zur Untersuchung der mittleren Ausprägung der Klimaelemente, ihrer Variabilität und Entwicklung wird Alaska deshalb als Gesamttraum und, unterteilt nach einer Vorgabe des Alaska Climate Research Centers (ACRC, 2005), in verschiedenen thermisch-hygrisch homogenen Klimaregionen betrachtet.

Der Schwerpunkt der vorliegenden Untersuchung zur Klimaentwicklung in Alaska liegt auf einer statistischen Erfassung der mittleren Ausprägungen der Klimaelemente Temperatur und Niederschlag für den Gesamttraum und verschiedene abgegrenzte homogene Klimaregionen und einer anschließenden auf dieser räumlichen Abgrenzung basierenden raum-zeitlichen GIS-gestützten Analyse der Entwicklungen beider Klimaelemente innerhalb eines bestimmten Zeitabschnitts.

Folgende Fragen sollen beantwortet werden:

- Welche mittleren Ausprägungen der Klimaelemente sind in Alaska festzustellen? Wie sind die thermisch-hygrisch homogenen Klimaregionen zu charakterisieren?
- Wie variabel ist die zeitliche Entwicklung der Klimaelemente und welche Entwicklungsmuster bzw. Trends lassen sich für einen bestimmten Beobachtungszeitraum feststellen?
- Wie verhalten sich mögliche Veränderungen der Temperatur- und Niederschlagsausprägungen zueinander?

Für eine flächendeckende raum-zeitliche Betrachtung der mittleren Ausprägung und Entwicklung der Klimaelemente wird das Verfahren der Regionalisierung angewendet. Ziel der Regionalisierung ist es, statistisch begründete Schätzwerte für die Klimaelemente auf Basis der an den Klimastationen punktuell erfassten Temperatur- und Niederschlagsmesswerte sowie lokaler klimadeterminierender Größen mittels Transferfunktionen für jeden beliebigen Punkt des betrachteten Raumes, d.h. der Fläche Alaskas zu ermitteln. Mit Hilfe eines multiplen Regressionsmodells können so auf Basis der Klimastationsdaten die Ausprägungen der Klimaelemente flächendeckend betrachtet werden (BÖHNER, 1996, 2004). Die kartographische Darstellung und GIS-gestützte statistische Analyse von Differenzkarten unterschiedlicher Zeitabschnitte ermöglicht neben der mittleren räumlichen Differenzierung der Ausprägung der Klimaelemente auch eine raum-zeitliche Betrachtung der Veränderungen der thermischen und hygrischen Bedingungen.

Neben einem auf freiverfügbaren Klimastationsdaten basierenden zur Analyse selbst erstellten Datensatz wird ein Vergleichsdatsatz vom Postdamer Institut für Klimafolgenforschung (PIK) mit den gleichen klimatologischen und zeitreihenanalytischen Fragestellungen untersucht. Dieser Datensatz umfasst *a priori* flächenhafte Klimadaten Alaskas, die einem globalen Klimamodell entnommen wurden. Bezüglich der unterschiedlichen Datenbasis, der angewendeten Regionalisierungsmethodik und der unterschiedlichen Eigenschaften beider flächenbezogener Datensätze ergeben sich die folgenden Fragen:

- Geben die verschiedenen Regionalisierungsmodelle die räumliche Verteilung von Temperatur und Niederschlag nach geographischer Fragestellung angemessen wieder?
- Kommen die Modelle zu den gleichen oder zu abweichenden Ergebnissen der raum-zeitlichen Klimaentwicklung?
- Welche unterschiedlichen methodischen Ansätze gibt es generell in der Klimamodellierung und welche Möglichkeiten der Datenanalyse bieten die einzelnen Modelltypen?

Aufgrund der Ergebnisse der raum-zeitlichen Untersuchung der Verteilung, Ausprägung und Entwicklung der Klimaelemente hat im Laufe der Untersuchung auch die Frage nach den Ursachen der zu beobachtenden klimatischen Entwicklungen in Alaska an Bedeutung gewonnen. Diesbezüglich werden die Indizes verschiedener atmosphärischer und atmosphärisch-ozeanischer Antriebe der atmosphärischen Zirkulation im Nordpazifischen Raum mit den für Alaska ermittelten Zeitreihen von Temperatur und Niederschlag korreliert und hinsichtlich ihres ursächlichen Einflusses auf die Ausprägung der Klimaelemente interpretiert.

Neben den Ursachen der klimatischen Entwicklungen in Alaska werden die Folgen eines möglicherweise bereits stattfindenden oder prognostizierten *climate change* angesprochen. In dem Zusammenhang werden auch die Kopplungsprozesse zwischen der Atmosphäre und den nordischen Ökosystemen hinsichtlich ihrer regionalen und globalen Relevanz für die Funktion und Ausprägung des Klimasystems dargestellt.

## **2. ALASKA**

### **2.1 Geographische Lage**

„Alaska“ bedeutet in der Sprache der alaskanischen Ureinwohner „Das große Land“. Alaska liegt im äußersten Nordwesten des nordamerikanischen Kontinents und ist seit dem 03.01.1959 der 49. Bundesstaat der USA. Dieser erstreckt sich mit 2285 km über 20 Breitengrade von Point Barrow bei 71.0°Nord bis Amatiguak Island in den Aleuten bei 51.0°Nord. Die West-Ost-Ausdehnung beträgt 3862 km. Damit erstreckt sich Alaska über 57 Längengrade von Attu Island 187.0°West bis Ninemile 130.0°West im Südosten, dem sogenannten *Panhandle* Alaskas. Alaska bedeckt eine Gesamtfläche von 1518807 km<sup>2</sup>. Dies entspricht einem Fünftel der Gesamtfläche der USA. Würde man Alaska auf die Fläche der *lower 48 States* projizieren, würde es sich annähernd von der atlantischen bis zur pazifischen Küste erstrecken. Drei Meere schließen das im Osten an die kanadische Landmasse grenzende Alaska ein: im Norden der Arktische Ozean, im Westen das Beringmeer und im Süden der Pazifische Ozean mit dem Golf von Alaska. Daraus ergibt sich eine Küstenlänge von ca. 10700 km. Rechnet man die Küsten der zu Alaska gehörenden Inseln hinzu, so addiert sich die Küstenlänge auf 54545 km. Die Entfernung zu Russland beträgt an der schmalsten Stelle der Beringstraße lediglich 80 km (PEARSON & HERMANS, 2000, RUDERT, 1996, WELLER, 1979).

### **2.2 Sozioökonomischer Kontext**

#### **2.2.1 Bevölkerung**

Alaska hat eine sehr junge Besiedlungsgeschichte. Erst 1741 wurde es von Vitus Bering entdeckt und fortan durch die Russen kolonisiert. 1867 verkaufte Russland seine Kolonie für 7.2 Millionen Dollar an die USA. Erste Goldfunde in Zentralalaska um 1900 führten zur Gründung von festen Siedlungen. Im Zuge des zweiten Weltkrieges, durch den Bau des „Alaska Highways“ als einzige Landverbindung nach Alaska im Jahr 1949 und im Rahmen der späteren Erschließung der Ölfelder setzte ein starkes Bevölkerungswachstum ein, das bis heute anhält. Hatte Alaska 1880 noch 33326 Einwohner, waren es 1990, 110 Jahre später 550043. 2004 lebten 655435



**Abb. 1: Kartenausschnitt Alaska (aus: NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY, 1994, Ausschnitt nach AIS, 04.12.2005)**

Menschen in Alaska (PEARSON & HERMANS, 2000, U.S. Census Bureau, 2005). Die Bevölkerung konzentriert sich auf wenige Regionen um die drei Städte Anchorage (396528 Einwohner im Anchorage Borough, Matanuska-Susitna Borough und Kenai Peninsula Borough), Fairbanks (85930 Einwohner im Fairbanks North Star Bourough) und die Hauptstadt Juneau (31188 Einwohner im Juneau Borough). In den Regionen Anchorage und Fairbanks zusammen leben damit 73.6% der Gesamtbevölkerung Alaskas. Die Bevölkerungsdichte beträgt 0.4 Einwohner pro