



Hochschule **RheinMain**  
University of Applied Sciences  
Wiesbaden Rüsselsheim Geisenheim

---

**Untersuchungen zur Skalierung von Klimaprojektionen des  
Modells WettReg mit Hilfe des NAO-Indexes**

**Bachelorarbeit**

**Karl Albert Geiger**

**Rüsselsheim, Juni 2010**

**Referent: Prof. Dr. U. K. Deister**

**Korreferent: Dr. H. Hübener**



Hessisches Landesamt für  
Umwelt und Geologie

**HESSEN**



## Erklärung

Ich versichere hiermit, diese Arbeit nur unter Verwendung der in der Arbeit angegebenen Quellen und Hilfsmittel selbständig angefertigt zu haben.

Rüsselsheim, den .....

.....

Unterschrift

# Inhaltsverzeichnis

Glossar .....	5
Zusammenfassung.....	6
Abstract .....	6
1 Einleitung .....	7
1.1 Motivation/Fragestellung.....	9
1.2 Stand der Forschung.....	10
1.2.1 Nordatlantische Oszillation .....	10
1.2.2 SRES Szenarien .....	13
1.2.3 Zustandekommen von Klimaszenarien .....	15
1.2.4 Korrelationen des Niederschlags mit den NAO-Indices.....	17
2 Methoden und Daten .....	18
2.1 Niederschlagsdaten .....	18
2.2 NAO-Index-Daten .....	19
2.2.1 Berechnung des NAO aus Modelldaten .....	20
2.3 Berechnung Skalierungsfaktor.....	21
3 Untersuchung der Niederschlagsdaten .....	23
3.1 Niederschlag: Vergleich Beobachtungsdaten zu Modelldaten .....	23
3.1.1 Vergleich der Mittelwerte und Standardabweichungen des Niederschlags .....	26
3.1.2 Vergleich der Extrema des Niederschlags.....	27
3.1.3 Mehrjährigkeit des Niederschlags.....	27
4 NAO-Index-Daten.....	30
4.1 Vergleich der NAO-Indices zwischen Beobachtungsdaten und ECHAM5-Daten .....	30
Meteorologischer Winter .....	31
Hydrologisches Winterhalbjahr .....	32
Erstes Quartal.....	32

4.2	Berechnung und Vergleich der Standardabweichung für die NAO-Indices .....	33
4.3	Vergleich der Extrema aus den NAO-Indices.....	34
4.4	Mehrjährigkeit des NAO .....	36
	Meteorologischer Winter (DJF) .....	37
	Hydrologisches Winterhalbjahr (hWH).....	38
	Erstes Quartal (Q1) .....	40
5	Skalierungsfaktor für den WettReg-Niederschlag .....	42
	5.1 Mittelwert und Standardabweichung nach dem Aufprägen der Skalierungsfaktoren... 44	
	5.2 Extrema nach dem Aufprägen der Skalierungsfaktoren .....	46
	5.3 Mehrjährigkeit des Niederschlags nach dem Aufprägen der Skalierungsfaktoren... 47	
6	Zusammenfassung, Diskussion und Ausblick.....	51
	6.1 Zusammenfassung .....	51
	6.2 Diskussion der Ergebnisse .....	52
	Vergleich der Niederschlagsdaten zwischen DWD und WettReg. ....	53
	Vergleich der NAO-Indices zwischen CRU und ECHAM5 .....	53
	Skalierungsfaktor für den WettReg-Niederschlag .....	54
	6.3 Ergebnis .....	58
	6.4 Ausblick.....	59
	Literaturverzeichnis.....	60
	Abbildungsverzeichnis.....	63
	Tabellenverzeichnis.....	64

## Glossar

Evapotranspiration	Bezeichnet die Summe aus Evaporation und Transpiration, also die Verdunstung von der Bodenoberfläche (Evaporation) und von der Tier- und Pflanzenoberfläche (Transpiration).
Jetstream	Starkwindband in der oberen Troposphäre bis zur Stratosphäre. Er bildet sich infolge globaler Ausgleichsbewegungen zwischen verschiedenen Temperaturregionen bzw. Hoch- und Tiefdruckgebieten. Der Jetstream gehört zu den stärksten natürlich auftretenden Winden.
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (Königlich-Niederländisches Meteorologisches Institut)
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration (Wetter- und Ozeanografiebehörde der Vereinigten Staaten)
Quellschüttung	Menge an Wasser in Liter pro Sekunde, die aus einer Quelle austritt.
SRES Szenarien	<b>Special Report on Emission Scenarios</b>
Transwetterlagen	Entwicklung räumlicher Muster der atmosphärischen Zirkulation, die derzeit noch nicht erscheinen.
Trocken- Nassperioden	Mehrjährigkeit von aufeinanderfolgenden Trocken- beziehungsweise Nassereignissen.
Vernässung	Lang andauernde Nassphase eines Bodens, in dem Luftmangel herrscht. Vernässung führt zu Schäden an Pflanzen und Bausubstanz.
WettReg	<b>Wetterlagen-basierte Regionalisierungsmethode</b>

## **Zusammenfassung**

Das Regionalmodell WettReg gibt die Eigenschaften des Niederschlags in Hessen in Bezug auf die Ausprägung von Extrema und Mehrjährigkeiten gegenüber den Beobachtungsdaten des DWD (Deutscher Wetterdienst) nur unzureichend wieder. Um dies zu ändern, wird in dieser Arbeit ein aus dem Globalmodell ECHAM5-OM1 (im Folgenden kurz ECAM5 genannt) berechneter NAO-Index (Nordatlantische Oszillation) verwendet. Aus diesem Index wird ein Skalierungsfaktor gebildet, der auf die WettReg-Daten aufgeprägt wird. Durch die Aufprägung des Skalierungsfaktors werden die Extrema und Mehrjährigkeiten der WettReg-Modelldaten an die DWD-Daten angenähert. Dasselbe Verfahren kann später auf WettReg-Simulationen für ein Klimaszenario (A1B) für den Zeitraum 2001 bis 2100 angewendet werden. Damit können Niederschlagsdaten für den Zukunftszeitraum 2001-2100 realitätsnäher ermittelt werden. Mit dieser Optimierung lassen sich die WettReg-Daten deutlich besser zur Abschätzung von Folgen des Klimawandels auf die hydrologischen Größen Grundwasserneubildung und Wasserbilanz verwenden.

## **Abstract**

The regional model WettReg only insufficiently shows the properties of precipitation in Hessen in relation to the characteristics of extremes and perennialities compared to the observation data of the DWD (German Weather Service). In order to change this, the present bachelor thesis uses a NAO-index (North Atlantic oscillation) which is calculated from the global model ECHAM5-OM1 (which is called ECAM5 in the following). Out of this index a scaling factor is formed, which is applied on the WettReg data. Thus the extremes and the perennialities of the WettReg model data are approached to the DWD data. The same method can be applied on the WettReg simulation for a climate scenario (A1B) for the period from 2001 to 2100. Therewith the precipitation data can be determined more realistically for the future period from 2001 to 2100. Thanks to this improvement the WettReg data can be applied much better on the estimation of the impacts of the climate change on the hydrological data such as regeneration of ground water and hydrological balance.

### 1 Einleitung

Niederschlag ist Wasser in der Atmosphäre, das nach Kondensation oder Resublimation von Wasserdampf ausgeschieden wurde (DIN 4049) und aus der Atmosphäre auf die Erdoberfläche gelangt. Zur Bildung von Niederschlag müssen die kondensierten Teilchen eine Mindestgröße erreichen, um auf die Erdoberfläche zu gelangen. Niederschlag kann in flüssiger Form als Regen oder Sprühregen und in fester Form als Schnee, Hagel und Graupel niedergehen. Der größte Teil (etwa zwei Drittel) des Niederschlages wird über die Verdunstung als Transpiration von Pflanzen oder Evaporation von benetzten Oberflächen wieder in die Atmosphäre zurückgeführt. Das verbleibende Drittel fließt als Direktabfluss oberirdisch ab oder kommt über das Grundwasser in den Vorfluter. (HLUG 2010)

Die Häufigkeit und die Stärke von Niederschlagsereignissen sind für geographische Gebiete charakteristisch. Verschiedene Niederschlagsmengen können somit bestimmten Ökozonen zugeordnet werden. (HLUG 2010)

In Hessen ist die überwiegende Niederschlagsform der Regen. Im langjährigen Gebietsmittel (1971-2000) betrug der Niederschlag 845 mm pro Jahr (mm/a). Dabei entspricht 1 mm einer Wassermenge von einem Liter pro Quadratmeter. Durch jahreszeitliche Schwankungen, bei extremen Wetterverhältnissen, verschiedenen Geländeoberflächen und topographischen Unterschieden kommt es zu größeren Differenzen in der Niederschlagsverteilung innerhalb von Hessen. Die Niederschlagsmengen reichen von 500 mm/a im Rheingau und dem Hessischen Ried bis zu 1200 mm/a im Vogelsberg. (HLUG 2010)

Der globale und regionale Klimawandel ist in der Wissenschaft sowie in der Öffentlichkeit ein viel beachtetes Problem. Er führt zu erheblichen ökologischen und ökonomischen Folgen. Im besonderen Maße gilt dies für die Extremereignisse auch bei den Niederschlagsvorkommen.

In Bereichen, in denen der Niederschlag zunimmt, besteht oft eine Tendenz zur Häufung von extrem hohen Niederschlägen, insbesondere im Winter. Gleichzeitig werden viele niederschlagsarme Gebiete in Zukunft noch trockener werden. (IPCC 2007)

Der Hitze- und Trockensommer 2003, aber auch Überschwemmungen haben gezeigt, dass Deutschland und somit auch Hessen von Extremereignissen betroffen ist. Für Deutschland ist im Zeitraum 1901 bis 2000 im Mittel nicht nur ein Erwärmungstrend um 1,0°C belegt, sondern auch ein Niederschlagszuwachs von 9%, der wiederum mit 19% im Winter

## Einleitung

besonders ausgeprägt ist. Im Sommer (1901-2000) ging die Niederschlagsmenge leicht zurück (um 3%). Im Zeitraum 1971 bis 2000 lag der Niederschlagszuwachs im Winter mit 34% noch höher. (Schönwiese und Trömmel, 2010).

Durch häufige Sturzfluten, Überschwemmungen, Trockenperioden und Erosion werden beinahe alle Regionen von Europa negativ vom Klimawandel beeinträchtigt. Regionale Unterschiede bei den natürlichen Ressourcen werden sich noch vergrößern. Dies wird sich auch unweigerlich auf die Wirtschaft auswirken. Der Mehrzahl der Organismen und Ökosysteme wird es schwer fallen, sich anzupassen. Dabei liefern Ökosysteme Produkte wie Wasser und Nahrungsmittel. Durch den Temperaturanstieg werden einige dieser Ökosysteme so stark an Leistung verlieren, dass dies negative Konsequenzen auf das Wasser- und Nahrungsmittelangebot haben kann. (Umweltbundesamt, 2010)

Neben Maßnahmen zur Vermeidung des Klimawandels sind darum auch Anpassungsmaßnahmen unabdingbar, da ein gewisser Temperaturanstieg schon heute nicht mehr vermieden werden kann.

Um Nass- und Trockenjahre und Extremereignisse besser prognostizieren zu können, werden verlässliche regionale Wettermodelle benötigt, die möglichst genaue Daten für die Zukunft liefern. WettReg ist ein regionales Wettermodell, mit dem solche Berechnungen durchgeführt werden können. Das Modell gibt allerdings die Periodizität der Mehrjährigkeit und die Ausprägung der Extrema für den Referenzzeitraum nur unzureichend wieder. Um eine verbesserte Darstellung dieser Eigenschaften zu erreichen, wird in dieser Arbeit ein externer Skalierungsfaktor auf die WettReg-Daten aufgeprägt.



### 1.1 Motivation/Fragestellung

Um für Hessen Änderungen des Niederschlages abschätzen zu können, wird das statistische regionale Klimamodell WettReg verwendet. WettReg hat jedoch zwei entscheidende Schwachpunkte. Das Modell gibt gegenüber den Beobachtungsdaten des DWD zum einen die Extrema des Niederschlages für den Referenzzeitraum nur sehr unzureichend wieder und zum anderen liegt die Periodizität der Mehrjährigkeit für diesen Zeitraum, gegenüber den DWD-Daten, auf einem sehr niedrigen Niveau.

Den Extrema und der Mehrjährigkeit kommt beim Niederschlag eine besondere Bedeutung zu. Die Extrema in einem Niederschlagsverlauf über mehrere Jahre geben das niederschlagsreichste und das trockenste Jahr dieser Zeitperiode an. Anhand der Mehrjährigkeit können Aussagen über Trocken- und Nassperioden in einem zeitlichen Niederschlagsverlauf gemacht werden. Die Mehrjährigkeit des Niederschlages ist insbesondere für die Grundwasserneubildung (GWN) von Belang. Die GWN ist in den Monaten von November bis März am stärksten ausgeprägt. In diesem Zeitraum kann viel Wasservolumen dem Grundwasser zugeführt werden, da die Evapotranspiration gering ist. In den Monaten April bis Oktober ist durch die stärkere Evapotranspiration die GWN geringer (Jansky, 2009). Deswegen ist in dieser Arbeit der Winter (meteorologischer Winter, hydrologisches Winterhalbjahr und erstes Quartal) von Interesse. Bei einer Trockenperiode gibt es mehrere Winter hintereinander mit unterdurchschnittlichen Niederschlägen. Bei einer Nassperiode liegt mehrere Jahre hintereinander der Niederschlag über dem langjährigen Durchschnitt. Schwankungen im Grundwasserspiegel kommen insbesondere durch solche Trocken- oder Nassperioden zustande. Die Darstellung der Mehrjährigkeit ist also insbesondere für die GWN wichtig.

Veränderungen beider Merkmale haben eine direkte Konsequenz auf die Grundwasserneubildung, auf die Quellschüttung und auf Hochwasserereignisse. Diese Veränderungen führen zu ökologischen und ökonomischen Schwierigkeiten für ein betroffenes Gebiet.

Bei einer Trockenperiode kann ein Absinken des Grundwasserspiegels zu Trockenschäden in Wäldern und zu Setzrissen an Häusern und Straßen führen. Desweiteren kann eine Trockenperiode verschlechterte Quellschüttungen zur Folge haben. Bei Nassperioden kann

## Einleitung

es zum Anstieg des Grundwasserspiegels kommen, was eine Vernässung von landwirtschaftlichen Flächen und Bausubstanzen zur Folge haben kann.

Nach den WettReg-Daten ändert sich der Grundwasserspiegel kaum, weil sowohl Extrema als auch Mehrjährigkeit unterschätzt werden.

Aufgabe dieser Arbeit ist es, die Niederschlagsdaten des Referenzzeitraums (1971-2000) aus dem WettReg Modell durch die Aufprägung eines externen Faktors soweit zu verändern, dass diese die Extrema und die Mehrjährigkeit der DWD-Daten für diesen Zeitraum bestmöglich wiedergeben. Durch diese Methode können auch für den Zukunftszeitraum verlässlichere Prognosen für den Niederschlagsverlauf gegeben werden.

## 1.2 Stand der Forschung

### 1.2.1 Nordatlantische Oszillation

Die Nordatlantische Oszillation (NAO) kommt durch die Schwankungen der Druckverhältnisse über dem Nordatlantik zustande. Für die NAO werden Luftdruckmesswerte an Stationen auf Island, Gibraltar und den Azoren ermittelt. Als Messstationen für den NAO Azoren-Index dienen üblicherweise Ponta Delgada auf den Azoren und Reykjavik auf Island. Bei dem NAO Gibraltar-Index liegen die Messstationen in Gibraltar auf der iberischen Halbinsel und ebenfalls in Reykjavik auf Island.

Die NAO tritt ganzjährig auf. Allerdings ist sie in den Wintermonaten stärker ausgeprägt als in den Sommermonaten. Während der Wintermonate geht mehr als ein Drittel der gesamten Luftdruck-Variabilität im Nordatlantik auf die NAO zurück (DWD, 2010).

Um Untersuchungen mit den Luftdruckabweichungen durchführen zu können, wurden einfache NAO-Indices entwickelt. Diese vergleichen Differenzen der Anomalien des Luftdruckes von festen Stationen auf Meeresebene (Sea Level Pressure, SLP). Die SLP-Anomalien werden zusätzlich mit den Standardabweichungen der Anomalien aus den betrachteten Zeitreihen normiert. (DWD, 2010)

Der NAO-Index kann positive und negative Werte annehmen.

Bei einem positiven NAO-Index (NAO+) sind sowohl das Azorenhoch als auch das Islandtief stärker ausgeprägt als der langjährige Mittelwert. Das führt zu einer starken

## Einleitung

Westwinddriftphase, welche im Winter feuchte und warme Luft nach Nord- und Mitteleuropa bringt. Dies wirkt sich im Winter vor allem in Form von erhöhten Temperaturen in Teilen Nord- und Mitteleuropas aus. Viele starke Stürme treten in Phasen mit einem positiven NAO-Index auf. (DWD, 2010)

Für den Niederschlag bedeutet das, dass sich die NAO+ Phase in Nord-und Mitteleuropa durch höhere Niederschläge und in Südeuropa durch geringere Niederschläge als im langjährigen Mittel bemerkbar macht.

Der negative NAO-Index (NAO-) stellt eine schwache Ausprägung der beiden Druckgebiete dar. Dies führt dazu, dass sich die Westwinddriftphase abschwächt. Unter diesen Bedingungen kann sich das Hoch über Russland stärker entwickeln und ausdehnen, was zu tiefen Temperaturen in Nordeuropa führt. Derweil erreichen die warmen feuchten Ausläufer des Atlantiks aufgrund des Russlandhochs nur den Mittelmeerraum, Nordafrika und den nahen Osten und bewirken dort einen feuchten Winter (DWD, 2010)

Die Niederschläge bei einem negativen NAO-Index steigen demnach in Südeuropa an und verringern sich in Nord- und Mitteleuropa (DWD, 2010).

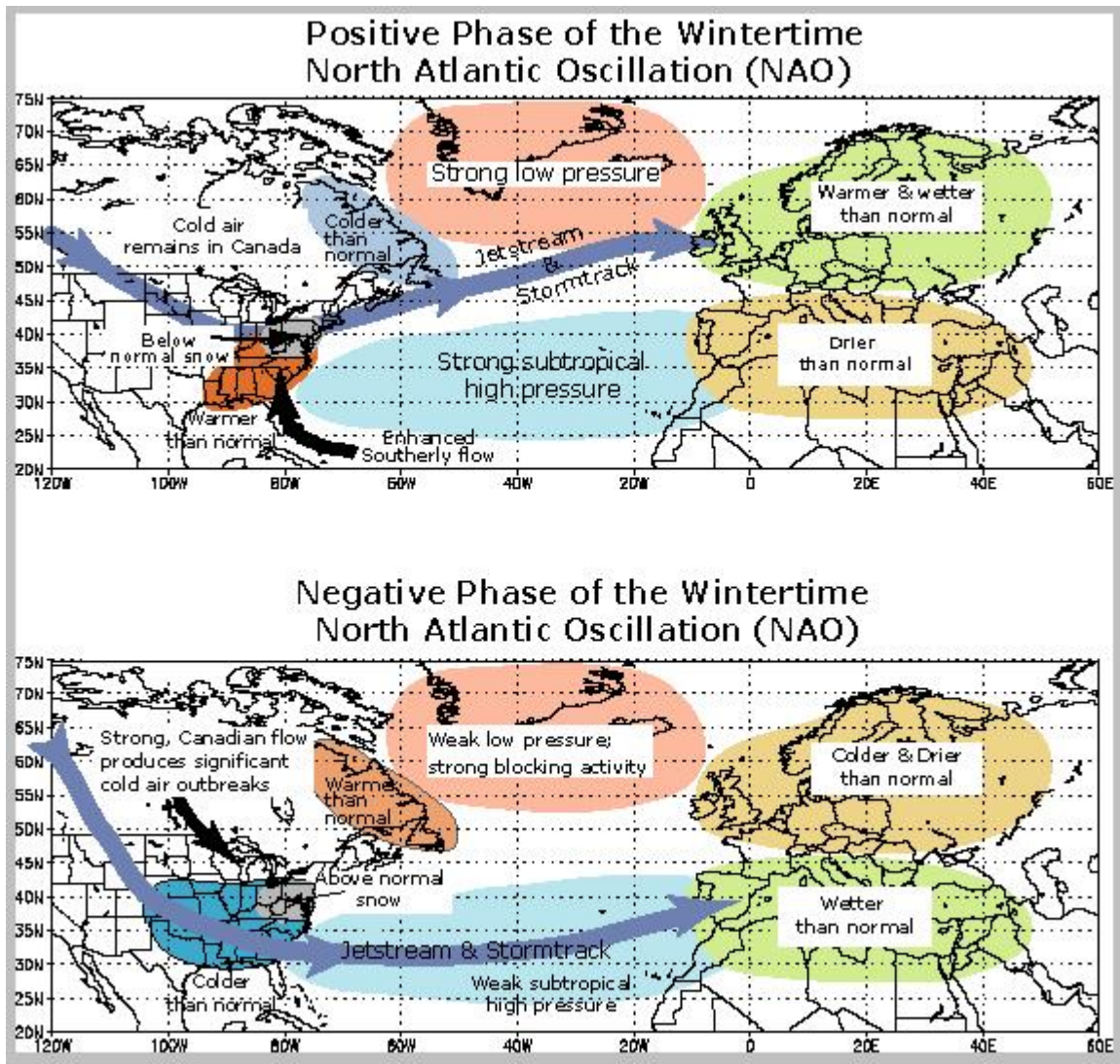


Abbildung 1: Positive und negative Phase der NAO für die Wintermonate. Quelle: <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/ctl/images/nao.jpg> (zuletzt aufgerufen am 22.06.2010)

Abbildung 1 zeigt den Verlauf und die Unterschiede zwischen der positiven und der negativen NAO-Phase. In dem oberen Teil der Abbildung ist die positive NAO-Phase aufgezeigt. Hier verläuft der Jetstream über den Norden der USA dicht an der Westküste von Kanada über den Atlantik nach Nordeuropa. Dabei verbleibt kalte Luft in der Mitte Kanadas. An der Kanadischen Westküste gibt es niedrigere Temperaturen, als im Durchschnitt. Islandtief und Azorenhoch sind stark ausgeprägt. Dies führt zu warmem und feuchtem Wetter in Nordeuropa. Im Süden Europas und im Norden Afrikas wird es bei dieser Konstellation trockener als normal.

In der negativen NAO-Phase verläuft der Jetstream über dem Atlantik deutlich weiter südlich, als in der positiven NAO-Phase, und erreicht den Süden Europas und Nordafrika. Das Tiefdruckgebiet über dem Nordatlantik und das Hochdruckgebiet über dem Südatlantik sind

## Einleitung

in diesem Fall nur schwach ausgeprägt, was zu überdurchschnittlichen Niederschlägen in Südeuropa und Nordafrika und zu einer trockenen und kalten Witterung in Nordeuropa führt.

### 1.2.2 SRES Szenarien

Um Prognosen für die zukünftige Klimaentwicklung machen zu können, muss der zukünftige gesellschaftliche Wandel mit berücksichtigt werden. Dieser Wandel kann allerdings grundsätzlich nicht vorhergesagt werden. Klimaforscher gehen daher von einer breiten Varianz von Annahmen über die künftige gesellschaftliche Entwicklung aus. Dadurch entstanden circa 40 Emissionsszenarien, in denen die unterschiedlichsten zukünftigen ökonomischen, ökologischen und politischen Situationen im Wandel der Menschheit eingebunden sind. Diese 40 SRES Szenarien sind in die Familien A1, A2, B1 und B2 eingeteilt.

**Tabelle 1: Die vier Familien der Klimaszenarien mit den Rubriken homogene Welt, heterogene Welt und wirtschaftsorientierte Entwicklung, umweltorientierte Entwicklung.**

	homogene Welt	heterogene Welt
wirtschaftsorientierte Entwicklung	A1T, A1B, A1FI	A2
Umweltorientierte Entwicklung	B1	B2

In Tabelle 1 sind die vier Szenarien aufgelistet, die im ‚Special Report on Emission Scenarios‘ (SRES) entwickelt wurden und derzeit für Untersuchungen der Klimaänderung verwendet werden.

Die Szenarien mit dem Buchstaben [A] gehen von einer ökonomischen Priorität der zukünftigen Weltentwicklung aus. Für die Szenarien mit der Kennung [B] wird eine ökologische Entwicklung angenommen. Die Szenarien A1 und B1 nehmen eine zukünftige Homogenisierung der Lebensbedingungen in der Welt an. Die Szenarien A2 und B2 gehen dagegen von einer zukünftig zunehmenden Regionalisierung der Welt aus.

Das A1-Szenario beschreibt eine schnell wachsende Wirtschaft. Die Weltbevölkerung wächst in diesem Szenario bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts an und nimmt danach wieder ab. Des

## Einleitung

Weiteren wird von einer schnellen Weiterentwicklung effizienterer Technologien ausgegangen. Die regionalen kulturellen und sozialen Interaktionen nehmen bei diesem Szenario zu, wobei der regionale Unterschied zwischen den Pro-Kopf-Einkommen abnimmt. Das A1-Szenario teilt sich in drei Untergruppen auf (A1T, A1B, A1FI). Die drei Gruppen unterscheiden sich in der Energieversorgung. Das A1T-Szenario geht davon aus, dass zukünftig vorwiegend nicht fossile Brennstoffe als Energielieferanten dienen. Bei dem A1B-Szenario wird mit einer ausgeglichenen Mischung aus fossilen und nicht-fossilen Energielieferanten gerechnet. Bei dem A1FI-Szenario kommen vorwiegend fossile Brennstoffe zum Einsatz.

Das A2-Szenario beschreibt eine sehr heterogene Weltentwicklung mit einem wachsenden Bevölkerungsaufkommen. Die Grundthemen in diesem Szenario sind Autarkie und Bewahrung von lokalen Identitäten. Die wirtschaftliche Orientierung ist eher lokal und das Pro-Kopf-Einkommen wächst langsamer als in anderen Szenarien. Die Entwicklung neuer Technologien steht in ihrer Geschwindigkeit den anderen Szenarien nach.

In dem B1-Szenario wird eine homogene Welt beschrieben, die sich in ihrer Bevölkerungsentwicklung wie das A1-Szenario verhält. In der Wirtschaft wird von einer raschen Strukturänderung in Richtung Dienstleistungs- und Informationsgesellschaft ausgegangen. Gleichzeitig sind ein sinkender Materialverbrauch, sowie die Einführung von saubereren und ressourcen-effizienten Technologien vorgesehen. Der Schwerpunkt liegt auf einer globalen Lösung für eine wirtschaftliche, soziale und umweltgerechte Nachhaltigkeit, einschließlich erhöhter sozialer Gerechtigkeit.

Auch das B2-Szenario geht von einer globalen Lösung für eine wirtschaftliche, soziale und umweltgerechte Entwicklung aus. Die Weltbevölkerung wächst hier stetig, allerdings langsamer als in dem A2-Szenario. Es wird von einer wirtschaftlichen Entwicklung auf mittlerem Niveau, mit einem weniger raschen, dafür vielfältigeren technologischen Fortschritt als in den A1- und B1-Szenarien ausgegangen. Das B2-Szenario ist umweltorientiert und auf soziale Gerechtigkeit ausgerichtet. Der Schwerpunkt liegt auf einer lokalen und regionalen Ebene. (Welfens, 2010)

### 1.2.3 Zustandekommen von Klimaszenarien

#### 1.2.3.1 Regionale Klimamodelle

Um die zukünftige Klimaentwicklung projizieren zu können, verwenden die Klimaforscher verschiedene Klimamodelle, die in globale und regionale Modelle eingeteilt werden. Bei den globalen Modellen liegt die horizontale Auflösung typischerweise bei 300 x 300 bis 100 x 100 km. Dadurch können diese nicht die Kleinräumigkeit darstellen, welche beispielsweise für Klimaprojektionen einzelner Länder vonnöten wäre. Um eine ausreichende Auflösung im Bereich weniger Kilometer zu erreichen, wurden Regionalisierungsverfahren entwickelt. Bei den regionalen Klimamodellen wird zwischen den statistischen und dynamischen Verfahren unterschieden. Beispiele hierfür sind REMO für ein dynamisches und WettReg für ein statistisches Verfahren. Das dynamische Verfahren basiert auf der Dynamik der physikalischen und chemischen Prozesse in der Atmosphäre.

Da das dynamische regionale Klimamodell in die ozeanischen und atmosphärischen Randbedingungen eingebettet werden muss, werden Ergebnisse globaler oder größerer regionaler Klimamodelle benötigt. Im Gegensatz dazu beruhen statistische Klimamodelle auf Beziehungen zwischen großskaligen globalen Klimavariablen und kleinskaligen regionalen Klimaparametern. Diese Beziehung wird aus langjährigen Messdatenreihen abgeleitet und ist daher regional unterschiedlich.

Das dynamische Modell hat den Vorteil, dass es aufgrund der Abbildung direkter atmosphärischer Prozesse für Modellierungen ferner Zukunft geeignet ist. Des Weiteren ist der Zusammenhang zwischen verschiedenen Klimavariablen automatisch gewährleistet, da die modellierten Prozesse von vornherein bestimmten physikalischen Erhaltungssätzen genügen. Dies ist bei den statistischen Verfahren nicht unbedingt der Fall. Wenn die klimatischen Verhältnisse, aus denen die statistischen Beziehungen abgeleitet sind, sich ähneln, können statistische Verfahren sehr gute Ergebnisse liefern. Daher sind die statistischen Modelle besonders für kurz- bis mittelfristige Klimaprojektionen geeignet. Hierzu müssen allerdings langjährige flächendeckende Messreihen zur Verfügung stehen, was in Europa der Fall ist.

**Die Simulationsergebnisse dürfen nicht als Vorhersage gedeutet werden, sondern nur als Projektionen.** Klimamodellen ist es nicht möglich, das Klima vorherzusagen, da sie bei ihren

## Einleitung

Berechnungen auf Informationen zurückgreifen, die die Entwicklung von Faktoren beinhalten, welche nicht vorhersehbar sind. Hierzu gehört zum Beispiel der Ausstoß von Klimagasen, der von verschiedenen Faktoren abhängig ist, wie etwa ökonomische Entwicklung und Einsatz erneuerbaren Energien. Des Weiteren ist es nicht möglich, eine Auswertung für ein bestimmtes Jahr in der Zukunft zu machen. Eine Auswertung sollte immer über mindestens eine Dekade, besser über drei oder mehr Dekaden durchgeführt werden.

Klimasimulationen stellen das Klima nur im statistischen Sinn dar. Das heißt, ein Modell stellt Extrema, Mittelwert und Variabilität der verschiedenen Parameter dar, nicht jedoch deren Eintreffen in einem bestimmten Jahr.

Alle Klimaprojektionen sind mit Unsicherheiten behaftet. Diese Unsicherheiten stammen aus:

- Nicht vorhersehbaren zukünftigen Treibhausgasemissionen
- Ungenauigkeiten in globalen Klimamodellen (Abweichung der Simulationsergebnisse von den Beobachtungen)
- Natürliche Variabilität (aus dem selben Klimazustand zu einem bestimmten Zeitpunkt können mit gleicher Wahrscheinlichkeit unterschiedliche Klimaentwicklungen folgen. Die tatsächliche Entwicklung des Klimas ist eine von mehreren möglichen Realisierungen.)

Bei zukünftigen Planungen zur Bewertung der zu erwartenden Chancen und Risiken des Klimawandels dürfen die Bewertungen nicht auf ein Modell abgestützt werden. Vielmehr muss eine breite Spannweite künftiger klimatischer Entwicklungen durch mehrere Klimamodelle berücksichtigt werden (Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel 2010). In Deutschland werden zur Zeit vier Klimamodelle für die Beurteilung von regionalen Klimaszenarien verwendet. Die zwei dynamischen Modelle REMO (MPI-M, Hamburg) und CCLM (DWD und 25 weitere Institutionen), sowie die statistischen Modelle WETTREG (CEC Potsdam) und STAR (PIK Potsdam). (DWD, 2010)



### **1.2.3.2 Das statistische Regionalisierungsmodell WettReg**

WettReg ist ein auf einer Typisierung von Wetterlagen basierendes statistisches regionales Klimamodell, welches von der Firma Climate & Environment Consulting GmbH Potsdam (CEC-Potsdam) entwickelt wurde. Das Modell WettReg berechnet zuerst anhand von Beobachtungsdaten den Zusammenhang zwischen großskaliger Wetterlage und Parametern wie Temperatur und Niederschlag an einzelnen Stationen, die für das aktuelle Klima vorliegen. „Diesen statistischen Zusammenhang wendet WettReg für das zukünftige Klima auf Wetterlagen an, die von einem Globalen Klimamodell simuliert werden und berechnet damit die entsprechenden Parameter am Standort“ (Umweltatlas Hessen, 2009). Zwischen den Messstationen werden die Daten in Abhängigkeit von der Höhe über dem Meeresspiegel berechnet. Eine Betrachtung für eine Einzelstation kann zwar durchgeführt werden, ist aber nicht immer sinnvoll.

### **1.2.4 Korrelationen des Niederschlags mit den NAO-Indices**

Aus der Arbeit von Jansky (2009) kann entnommen werden, dass eine Aufsummierung des Niederschlags auf drei bis sechs Monate sinnvoll ist. Eine größere Mittelung oder Summierung ist nach Jansky (2009) nicht sinnvoll. Der NAO-Index unterliegt in den Wintermonaten den größten Schwankungen, somit eignet er sich für das Aufprägen und die daraus folgende verbesserte Darstellung der Mehrjährigkeit und der Extrema auf die Niederschlagsdaten für den Winter. Die besten Korrelationen wurden zwischen den Beobachtungsdaten des Winterniederschlags und dem NAO-Index des Winterhalbjahrs festgestellt. Des Weiteren kann der Arbeit von Jansky (2009) entnommen werden, dass der CRU-Gibraltar und der CPC-NAO-Datensatz die höchsten Korrelationen mit dem beobachteten Niederschlag in Hessen aufweisen. Nach Jansky (2009) werden die besten Korrelationen bei Verwendung des Hessenmittels für den Niederschlag erzielt. Daher werden in dieser Arbeit ausschließlich Hessenmittel des Niederschlags betrachtet.

Eine weitere wichtige Erkenntnis von Jansky (2009) ist, dass ein proportionaler Zusammenhang zwischen dem Niederschlag und dem NAO-Index in den Beobachtungsdaten besteht. Somit führen ein positiver NAO-Index zu einem erhöhten Niederschlag und ein negativer NAO-Index zu einem geringen Niederschlag in Hessen. Die Reaktion des Niederschlags auf die Veränderung des NAO erfolgt zeitnah, was eine maximale Verzögerung

von rund vier Wochen im November und Dezember bedeutet. In den Monaten Januar, Februar und März kann nach Jansky (2009) eine unmittelbare Wirkung des NAO-Index auf den Niederschlag registriert werden.

## 2 Methoden und Daten

In diesem Kapitel wird die Herkunft der verwendeten NAO- und Niederschlagsdaten beschrieben. Des Weiteren erfolgt eine Darstellung der Berechnungsmethoden, welche für die Weiterverarbeitung der Daten genutzt werden.

### 2.1 Niederschlagsdaten

Die statistischen Niederschlagsdaten des Regionalmodells WettReg aus dem Modell ECHAM5 wurden durch das Programm IDP berechnet. Die Beobachtungsdaten stammen aus der vorausgegangenen Bachelorarbeit von Jansky (2009) und wurden für diese Arbeit übernommen.

Zwischen beobachteten und mit WettReg simulierten Niederschlagsdaten bestehen hinsichtlich der Variabilität und der Ausprägungen der Extrema gewisse Unterschiede. Diese sollen durch das Aufprägen eines NAO-Indexes so weit wie möglich beseitigt werden. Dafür wurde ein Niederschlagshessenmittel für den meteorologischen Winter, für das hydrologische Winterhalbjahr und für das erste Quartal gebildet. Der meteorologische Winter (im Folgenden kurz DJF genannt) setzt sich zusammen aus dem Dezember des Vorjahres und dem Januar und Februar des Bezugsjahres, um drei zusammenhängende Wintermonate zu erhalten. Das hydrologische Winterhalbjahr (im Folgenden hWH genannt) beinhaltet die Monate Januar, Februar, März und April des Bezugsjahres, sowie den Monat November und Dezember des jeweiligen Vorjahres. Das erste Quartal (im Folgenden Q1 genannt) setzt sich aus den ersten drei Monaten (Januar, Februar und März) des Bezugsjahres zusammen.

Die aus dieser Arbeit gewonnenen Ergebnisse sollen für weitere Arbeiten Erkenntnisse über eine Eignung von NAO-Indices für das Aufprägen auf Niederschlagsdaten liefern, um realitätsnähere simulierte Niederschlagsdaten für den Zukunftszeitraum zu erhalten.

## 2.2 NAO-Index-Daten

Die Beobachtungsdaten des NAO-Index und die Luftdruckdaten für die Berechnung des NAO-Indexes aus Modelldaten, stammen aus dem Climate Explorer des Niederländischen Institutes KNMI. Die Daten werden allerdings nicht direkt vom KNMI ermittelt, sondern wurden von diesem aus verschiedenen anderen Institutionen zusammengetragen.

Die CPC-Beobachtungsdaten stammen vom „Climate Prediction Center“ (CPC) des US-Institutes NOAA. Der CPC-Index wurde mittels der „Rotated Principal Component Analysis“ (RPCA) vom CPC ermittelt. Der CRU-Beobachtungsdatensatz stammt von der „Climatic Research Unit“ der „University of East Anglia“ in Norwich, England. Die beiden CRU-Indices werten Luftdruckunterschiede zwischen Stationen auf den Azoren und Island (CRU-Azoren), sowie zwischen Island und Gibraltar (CRU-Gibraltar) aus. Alle drei Beobachtungsdaten liegen als Monatsdaten vor und wurden für diese Arbeit durch Mittelwertbildung auf die benötigten Zeiträume (DJF, hWH und Q1) angepasst. Die Indices können aus dem Climate Explorer des KNMI bezogen werden.

Die in dieser Arbeit durchgeführte Berechnung der NAO-Indices verwendet Modellergebnisse aus dem Modell ECHAM5. Für die Daten des Referenzzeitraums (1971-2000) wurde der Modelllauf 20c3m verwendet, welcher Daten für die Vergangenheit generiert. Der Modelllauf sresa1b generiert Daten für den Szenariozeitraum (2001-2100).

Für die Ermittlung des Luftdrucks an einem Punkt stehen im Climate Explorer die Methoden der Interpolation zur Verfügung. Für eine Interpolation können die Originalkoordinaten der drei Standorte (Ponta Delgada (37°44'N, 25°40'W), Reykjavik (64°07'N, 21°56'W) und Gibraltar (36°08'N, 05°21'W)) als Dezimalzahlen in den Climate Explorer eingegeben werden. Dieser interpoliert die um die Koordinaten räumlich verteilten Luftdruckdaten eigenständig. Die ermittelten Daten werden für den Azoren-Index und für den Gibraltar-Index als ASCII-Daten in vier Zeitreihen ausgegeben. Diese können gemittelt oder einzeln verwendet werden. Für die Berechnung der NAO-Indices werden die Daten der Simulation Lauf1 verwendet, da dieser der Antrieb für die zu verbessernde WettReg Simulation ist.

Für das zur Berechnung des CPC-Index verwendete Verfahren der RPCA liegt im Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) keine Software vor. Daher kann der CPC-Index nicht für die ECHAM5-Modelldaten berechnet werden und ein Vergleich der Index-Zeitreihe aus den Beobachtungsdaten und aus den Modelldaten ist nicht möglich. Aus diesem Grund wird der CPC-Index in dieser Arbeit nicht weiter ausgewertet.

### 2.2.1 Berechnung des NAO aus Modelldaten

Zunächst wurde für die Azoren bzw. Gibraltar und Island ein langjähriges Luftdruckmittel (30 Jahre) (Gleichung 1) für die Monate des DJF, des hWH und des Q1 gebildet. Die Mittelung ist für die interpolierten Azoren-, Gibraltar- und Island-Daten durchgeführt worden.

Gleichung 1

$$\overline{PM} = \sum_{i=1}^n \frac{PM_i}{n}$$

$\overline{PM}$  = Langjähriges Monatsmittel

$PM_i$  = gemessener Luftdruckwert eines Monats

Im nächsten Schritt wurde der Mittelwert aus Gleichung 1 von dem jeweilig ermittelten Wert abgezogen. Die daraus resultierende Luftdruckabweichung (Druckanomalie) liegt jährlich für die benötigten Monate im Zeitraum von 1971/72-2000 getrennt vor, ebenso für Azoren, Gibraltar und Island.

Gleichung 2

$$PA_{Ai} = PM_{Ai} - \overline{PM}_A, PA_{Bi} = PM_{Bi} - \overline{PM}_B$$

$PA$  = Pressure Anomaly = Druckanomalie

Darauffolgend wurde die Standardabweichung der Druckanomalie aus Gleichung 2 errechnet. Die Standardabweichung gibt an, inwieweit Daten um ihren Mittelwert streuen.

Gleichung 3

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{\sum (PM_i - \overline{PM})^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum PA_i}{n}}$$

$\sigma_A$  = Standardabweichung der Druckanomalie

Teilt man nun die Luftdruckabweichungen aus Gleichung 2 durch die mittlere Standardabweichung aus Gleichung 3, ergeben sich für die Azoren und für Island einheitslose Zahlenwerte.

Gleichung 4

$$\frac{PA_A}{\sigma_A}, \frac{PA_B}{\sigma_B}$$

Als nächstes werden die Zahlenwerte von Island von denen der Azoren (Azoren Index) bzw. Gibraltar (Gibraltar- Index) abgezogen. Das daraus resultierende Ergebnis entspricht dem NAO-Index für einen bestimmten Monat im Jahr des Referenzzeitraums (1971-2000).

Gleichung 5

$$\frac{PA_A}{\sigma_A} - \frac{PA_B}{\sigma_B} = NAO - Index$$

### 2.3 Berechnung Skalierungsfaktor

Für den Ausgleich von Schwachstellen in Bezug auf die Ausprägung der Extrema und die Mehrjährigkeit, die in den Modelldaten des WettReg-Modells vorhanden sind, wurden in dieser Arbeit zwei Skalierungsfaktoren ermittelt. Die Faktoren sollen die Extrema der Modelldaten intensivieren und die Ausprägung der Mehrjährigkeit steigern.

## Methoden und Daten

Den Skalierungsfaktoren liegen NAO- und Niederschlagsdaten zugrunde, die wie in Kapitel 2.1 und 2.2 beschrieben, ermittelt wurden.

Eine einfache Multiplikation der NAO-Daten auf die WettReg-Niederschlagsdaten führt zu unrealistisch hohen bzw. niedrigen Werten im Gegensatz zu den DWD-Daten. Die hohen Werte kommen aufgrund von Schwankungen der NAO-Daten zwischen drei und minus drei zustande. Trifft also ein hoher NAO-Faktor in den Modelldaten im selben Jahr auf einen hohen Niederschlag, so würden enorm hohe Werte entstehen. Zur Kompensation wird der NAO-Index nur zu 18% (Faktor 0,18) beziehungsweise zu 36% (Faktor 0,36) mit den WettReg-Daten multipliziert.

Die Faktoren 0,18 und 0,36 wurden empirisch aus dem Vergleich der DWD-Kurven aus verschiedenen Jahreszeiten mit Kurven aus dem Produkt von WettReg- und NAO-Daten entwickelt. Mit dem Faktor 0,18 konnte die größte Übereinstimmung zwischen Beobachtung und Modelldaten im Falle des sechsmonatigen hWH erzielt werden. In den dreimonatigen Jahreszeiten DJF und Q1 gab es die größten Übereinstimmungen für den doppelten Faktor 0,36 des hWH.

Da der NAO-Index sowohl negative als auch positive Werte annehmen kann, führt eine Multiplikation von WettReg-Daten und NAO-Daten zu negativen und positiven Korrekturfaktoren. Dies führte zu einem starken Absinken der Mittelwerte aus den WettReg-Daten. Um dies zu kompensieren, wird der WettReg-Mittelwert auf das Produkt von Faktor, jährlichem Niederschlag und NAO-Index aufaddiert.

Formel zur Aufprägung des NAO-Indexes auf die WettReg-Niederschlagsdaten aus dem hWH:

**Gleichung 6**

$$RR_{NAO} = \overline{RR} + 0,18 * (RR_i * NAO_i)$$

Formel zur Aufprägung des NAO-Indexes auf die WettReg-Niederschlagsdaten aus dem DJF und Q1:

**Gleichung 7**

$$RR_{NAO} = \overline{RR} + 0,36 * (RR_i * NAO_i)$$

## Untersuchung der Niederschlagsdaten

Dabei ist  $RR_i$  der Niederschlag pro Jahr aus den WettReg-Daten und  $\overline{RR}$  das langjährige Niederschlagsmittel aus 30 Jahren.

### 3 Untersuchung der Niederschlagsdaten

Der Zusammenhang der Niederschlagsverläufe und des NAO-Indexes ist für ein späteres Aufprägen des NAO-Indexes auf die WettReg-Niederschlagsdaten von entscheidender Bedeutung. Aufbauend auf die Untersuchungen von Jansky (2009) aus Beobachtungsdaten (siehe Kap. 1.2.4) wird in diesem Kapitel untersucht, wie sich der modellierte Niederschlag vom beobachteten Niederschlag unterscheidet.

#### 3.1 Niederschlag: Vergleich Beobachtungsdaten zu Modelldaten

In diesem Teilabschnitt des Kapitels wird auf die Ähnlichkeit zwischen den Beobachtungsdaten des DWD und den Modelldaten des Regionalmodells WettReg eingegangen, um zu zeigen, dass sich die beiden Datensätze in ihren Merkmalen (Standardabweichung, Extrema und Mehrjährigkeit) unterscheiden. Dabei ist es wichtig, dass nur statistische Eigenschaften über einen längeren Zeitraum verglichen werden dürfen. Keinesfalls darf eine Betrachtung von Eigenschaften aus Einzeljahren vorgenommen werden. Ein Modell ist dann gut, wenn es zum Beispiel ein Extremum in irgendeinem beliebigen Jahr der Beobachtungsdaten zeigt.

Unterschiede sind in den folgenden Merkmalen zu beobachten:

- Mittelwert
- Standardabweichungen
- Ausprägung der Extrema
- Mehrjährigkeit

Die folgenden Abbildungen zeigen die Niederschlagsverläufe der Beobachtungs- und Modelldaten aus dem DJF, hWH und Q1. Diese werden in den folgenden Kapiteln (3.1.1, 3.1.2 und 3.1.3) auf die oben genannten Punkte (Mittelwert, Standardabweichung, Ausprägung der Extrema und Mehrjährigkeit) untersucht.

*Meteorologischer Winter*

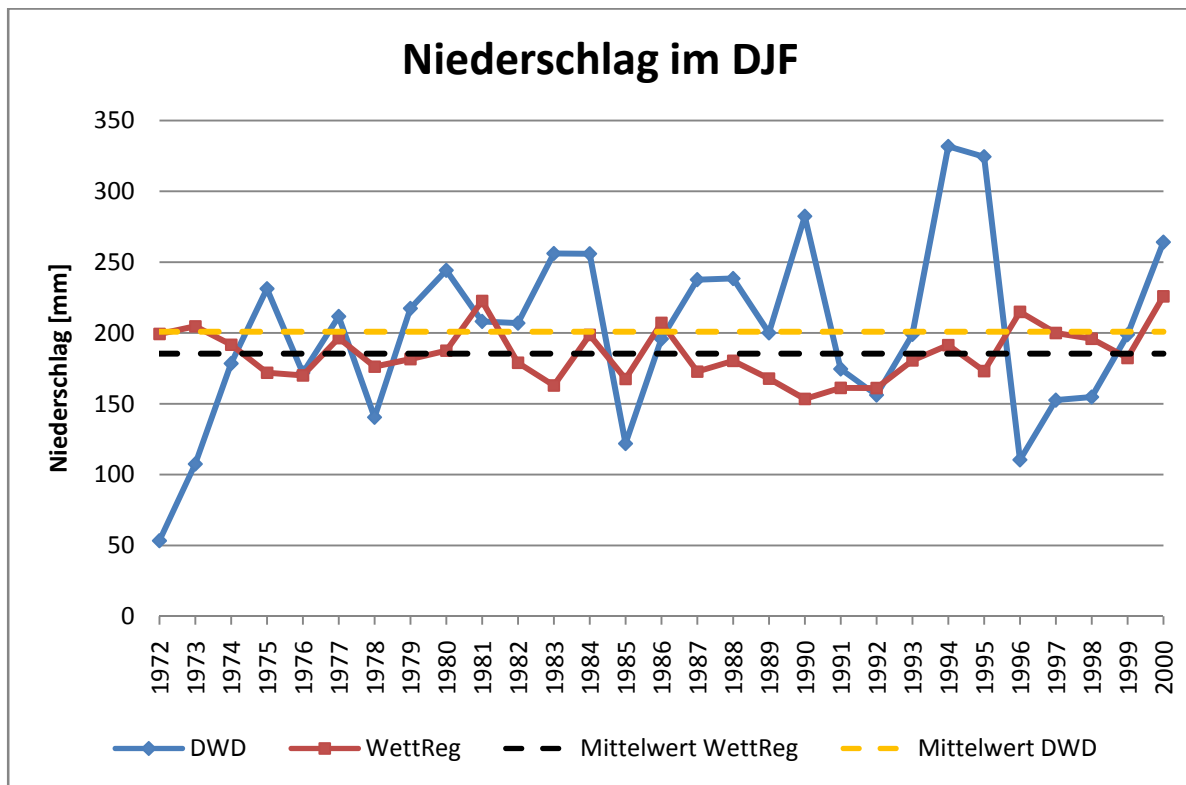


Abbildung 2: Vergleich der Niederschlagsverläufe des DJF aus den DWD- und WettReg-Daten.

In Abbildung 2 ist der Niederschlagsverlauf im DJF aufgezeigt. Der erste Wert der DWD-Kurve scheint zu niedrig zu sein, da er über die Hälfte kleiner ist, als der zweitniedrigste Wert dieser Datenreihe. Die Ursache hierfür liegt in den geringen Niederschlägen im DJF. Insbesondere der Februar 1972 war mit einer Niederschlagsmenge von 9,4 mm, im Vergleich zum Februar 1973 mit 57,1 mm, sehr trocken.



*Hydrologisches Winterhalbjahr*

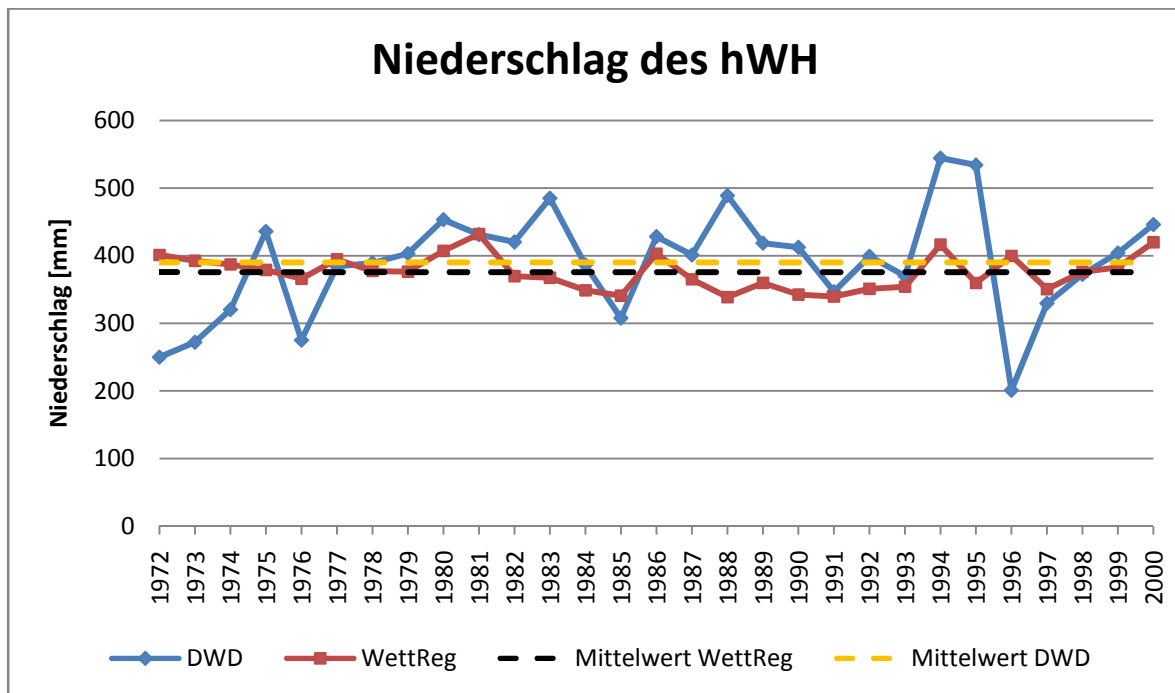


Abbildung 3: Niederschlagsverlauf und Mittelwertlinien des hWH aus den DWD- und WettReg-Daten.

*Erstes Quartal*

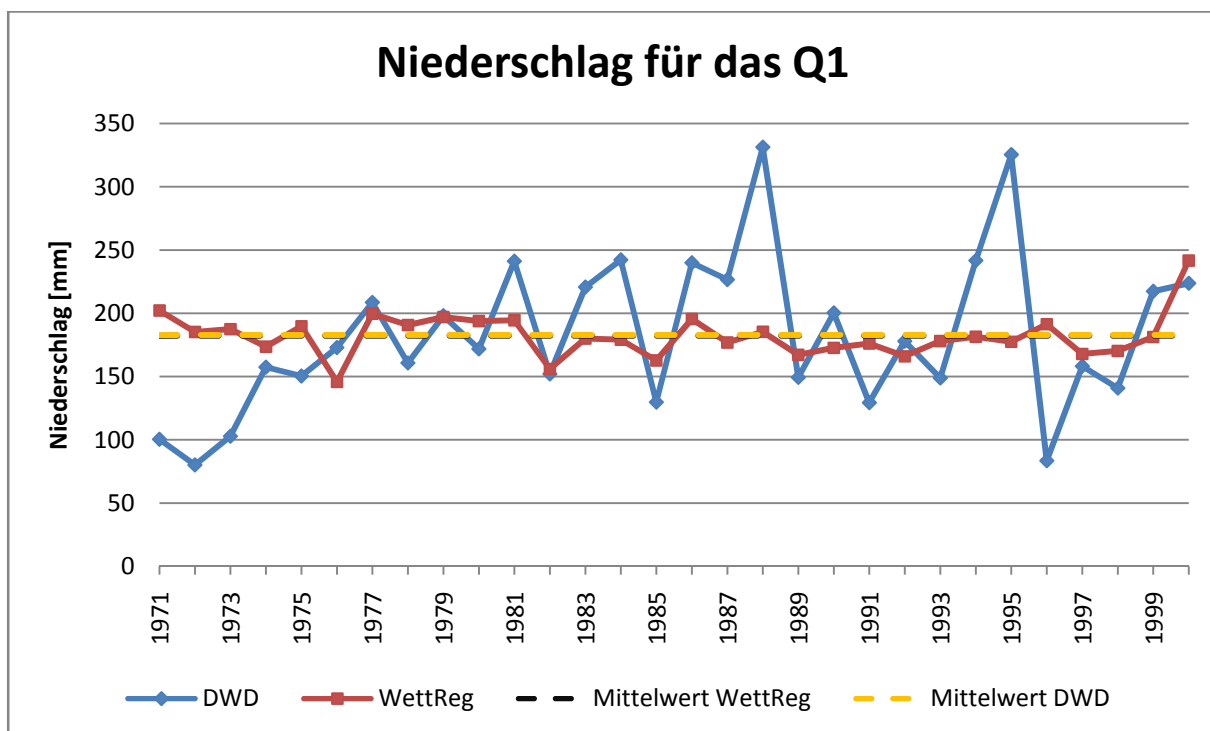


Abbildung 4: Niederschlagsverlauf und Mittelwertlinien im Q1 aus den DWD- und WettReg-Daten.

### 3.1.1 Vergleich der Mittelwerte und Standardabweichungen des Niederschlags

Der Mittelwert für den DJF (Abbildung 2) aus den WettReg-Daten hat den Wert 185 mm und liegt damit 15 mm unter dem Mittelwert der DWD-Daten, der 200 mm beträgt. Das ist ein sehr gutes Ergebnis, da die modellierten Daten lediglich 7,5% (dabei gilt: DWD-Daten entspricht 100%) unter den Beobachtungsdaten liegen.

Der Mittelwert des hWH (Abbildung 3) hat für die WettReg-Daten den Wert 375 mm und liegt 15 mm unter dem Mittelwert von 390 mm der DWD-Daten. Auch hier geben die modellierten Daten den Mittelwert der Beobachtungsdaten sehr gut wieder. Die WettReg-Daten liegen lediglich 3,8% unter den DWD-Daten.

Im Q1 liegen beide Mittelwerte bei 182 mm. Dadurch wird die schwarze Mittelwertlinie der WettReg-Daten durch die gelbe Mittelwertlinie der DWD-Daten verdeckt. Auch hier geben die WettReg-Daten den Mittelwert der DWD-Daten sehr gut wieder.

Der Vergleich der Standardabweichung soll zeigen, inwieweit sich die Daten aus dem Regionalmodell WettReg mit denen der Beobachtungsdaten des DWD hinsichtlich ihrer Streuung ähneln. Der Vergleich ist wichtig, da er zeigt, dass die modellierten Daten bei weitem nicht die Streuung um den Mittelwert aufweisen, wie die Beobachtungsdaten.

Tabelle 2: Vergleich der Standardabweichungen zwischen den Jahreszeiten und Modell-Beobachtungsdaten.

Jahreszeit	DWD	WettReg
DJF	63,34	18,80
hWH	80,03	25,90
Q1	61,80	17,30

In Tabelle 2 sind die Werte der Standardabweichungen von den drei untersuchten Jahreszeiten (Abbildung 2-4) eingetragen. Zu erkennen ist, dass die DWD-Werte deutlich größer sind als die WettReg-Werte. Somit streuen die Modelldaten weniger um deren Mittelwert als die Beobachtungsdaten. Sie haben also eine geringere Standardabweichung. Mit der Aufprägung der Skalierungsfaktoren soll eine Anpassung zwischen DWD- und WettReg-Werten erreicht werden. Das hWH (Abbildung 3) weist gegenüber den beiden anderen Jahreszeiten eine höhere Differenz zwischen den Standardabweichungen auf. Der DJF (Abbildung 2) und das Q1 (Abbildung 4) unterscheiden sich hingegen kaum voneinander. Der DJF weist nur einen unwesentlich größeren Unterschied zwischen den

## Untersuchung der Niederschlagsdaten

Standardabweichungen auf als das Q1, bei dem sich die Werte mit 44,5 am wenigsten unterscheiden.

### 3.1.2 Vergleich der Extrema des Niederschlags

Tabelle 3: Vergleich der Maxima.

Maxima	DWD	WettReg
DJF	331,8	225,9
hWH	544,6	432
Q1	331,3	241,7

Tabelle 4: Vergleich der Minima.

Minima	DWD	WettReg
DJF	53,3	153,4
hWH	200,9	338,7
Q1	80,1	145,8

Der Vergleich der Extrema in Tabelle 3 und 4 zeigt, dass der Unterschied zwischen den Werten des Maximums und des Minimums bei den WettReg-Daten geringer ausfällt als bei denen des DWD-Datensatzes. Die Ausprägung der Extrema ist bei den Modelldaten geringer als bei den Beobachtungsdaten. Beim Q1 ist die Differenz zwischen DWD- und WettReg-Daten über die Hälfte geringer als bei denen des hWH und deutlich geringer als beim DJF.

### 3.1.3 Mehrjährigkeit des Niederschlags

Die Mehrjährigkeit zeigt, wie ausgeprägt die positiven und negativen Langphasen der Niederschlagsverläufe sind. Die Mehrjährigkeit ist ein wichtiges Indiz dafür, wie gut der Modelldatensatz die Feucht- beziehungsweise Trockenjahre der Beobachtungsdaten wiedergibt.

Bei einer positiven Langphase liegen in mehreren Jahre hintereinander Werte oberhalb des Mittelwerts, bei einer negativen Langphase liegen entsprechend Werte in mehreren Jahren hintereinander unterhalb des Mittelwerts. Bei mehreren positiven oder negativen Langphasen hintereinander ist die Mehrjährigkeit stark ausgeprägt. Wenn die Daten einzelner Jahre oft zwischen dem Mittelwert schwanken, ist die Mehrjährigkeit schlechter ausgeprägt.

## Untersuchung der Niederschlagsdaten

Um eine Aussage über die Mehrjährigkeit von Trocken- beziehungsweise Feuchtjahren zu machen, werden nur Werte der Langphasen betrachtet, die mindestens 50 mm Niederschlagsmenge über oder unter dem langjährigen Mittelwert liegen.

### *Meteorologischer Winter*

Tabelle 5: Mehrjährigkeit des Niederschlagverlaufs im Vergleich zwischen DWD- und WettReg-Daten für den DJF.

Anzahl an Jahren bei einer positiven Langphase:	DWD	WettReg
2	2X	-
3	-	-
Anzahl an Jahren bei einer negativen Langphase:	DWD	WettReg
2	1X	-
3	-	-

### *Hydrologisches Winterhalbjahr*

Tabelle 6: Mehrjährigkeit des Niederschlagverlaufs im Vergleich zwischen DWD- und WettReg-Daten für das hWH.

Anzahl an Jahren bei einer positiven Langphase:	DWD	WettReg
2	1X	-
3	-	-
Anzahl an Jahren bei einer negativen Langphase:	DWD	WettReg
2	1X	-
3	1X	-

### *Erstes Quartal*

Tabelle 7: Mehrjährigkeit des Niederschlagverlaufs im Vergleich zwischen DWD- und WettReg-Daten für das Q1

Anzahl an Jahren bei einer positiven Langphase:	DWD	WettReg
2	-	-
3	-	-
Anzahl an Jahren bei einer negativen Langphase:	DWD	WettReg
2	-	-
3	1X	-

In den Tabellen 5-7 sind die Mehrjährigkeiten des DWD-Niederschlags im Vergleich zum WettReg-Niederschlag aufgezeigt. Mit diesem Vergleich soll veranschaulicht werden, dass die statistischen WettReg-Daten die Mehrjährigkeit gar nicht oder unzureichend wiedergeben.

## Untersuchung der Niederschlagsdaten

Die WettReg-Daten liefern zu keiner Jahreszeit eine Mehrjährigkeit, da die statistischen Daten nicht über 50 mm Niederschlagsmenge vom Mittel abweichen. Somit wird die Mehrjährigkeit des DWD-Niederschlags, die im DJF und im hWH am ausgeprägtesten ist, statistisch nicht wiedergegeben.

## 4 NAO-Index-Daten

In diesem Kapitel geht es darum, einen NAO-Index des Modells ECHAM5 zu finden, der für die spätere Aufprägung auf den Niederschlag geeignet ist. Der Index aus den Modelldaten wird mit dem Index aus den Beobachtungsdaten verglichen. Die Vergleiche werden für den Azoren-Index und für den Gibraltar-Index durchgeführt. Des Weiteren wird zwischen den drei Zeiträumen DJF, hWH und Q1 unterschieden.

Um Modelldaten mit einer großen Übereinstimmung zu den Beobachtungsdaten zu erhalten, werden der Verlauf der Graphen, die Standardabweichungen und die Ausprägungen der Extrema, sowie die Mehrjährigkeit der NAO-Daten miteinander verglichen.

### 4.1 Vergleich der NAO-Indices zwischen Beobachtungsdaten und ECHAM5-Daten

Zur Veranschaulichung, bei welchem Zeitraum die Gemeinsamkeiten zwischen den NAO-Indices, berechnet aus Beobachtungsdaten (CRU) und aus Modelldaten des Modells ECHAM5, am größten sind, werden in den folgenden Graphen Indices verglichen. Der Vergleich wurde für die wichtigsten NAO-Zeiträume DJF, hWH, sowie für das Q1 durchgeführt. Dazu musste der Mittelwert für die CRU-Daten auf den der ECHAM5-Daten angepasst werden. Dies ist notwendig, da die Daten für die CRU-Kurven nur ein Ausschnitt aus einer Zeitreihe (CRU-Gibraltar 1821 bis heute, CRU-Azoren 1865-2002) darstellen. Der Mittelwert einer NAO-Zeitreihe muss immer Null sein. Dies ist bei einem Ausschnitt aus der Gesamtzeitreihe nicht der Fall. Der NAO-Mittelwert der CRU-Reihe wird nur über den gesamten Zeitraum Null. Um bei dem Zeitausschnitt den CRU-Mittelwert auf Null zu skalieren, wurde der (für die Teilzeitreihe von Null abweichende) Mittelwert von den einzelnen CRU-Jahresdaten abgezogen.

Auch hier ist wieder zu beachten, dass die Zeitreihen nur in ihren statistischen Eigenschaften verglichen werden dürfen, nicht etwa in der Lage bestimmter Extremjahre oder ähnlichem.

### Meteorologischer Winter

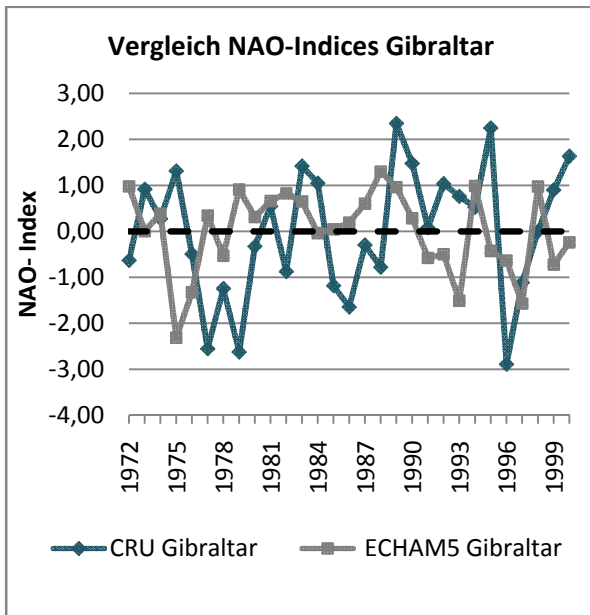


Abbildung 5: Vergleich der Gibraltar-NAO-Indices aus ECHAM5- und Beobachtungsdaten im DJF.

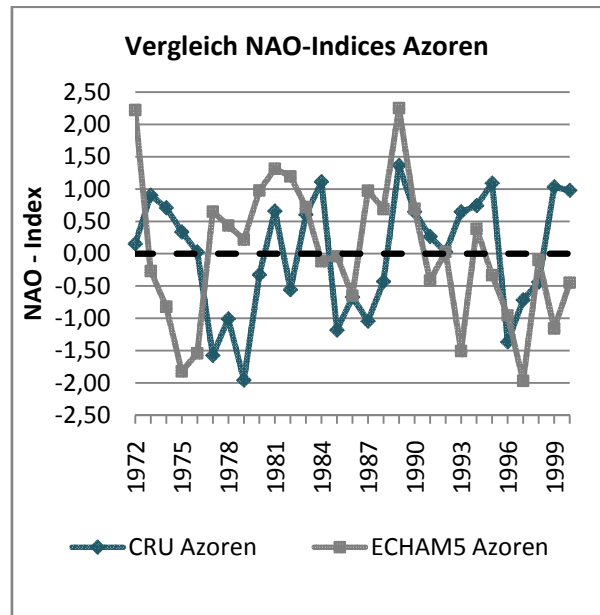


Abbildung 6: Vergleich der Azoren-NAO-Indices aus ECHAM5- und Beobachtungsdaten im DJF.

### Hydrologisches Winterhalbjahr

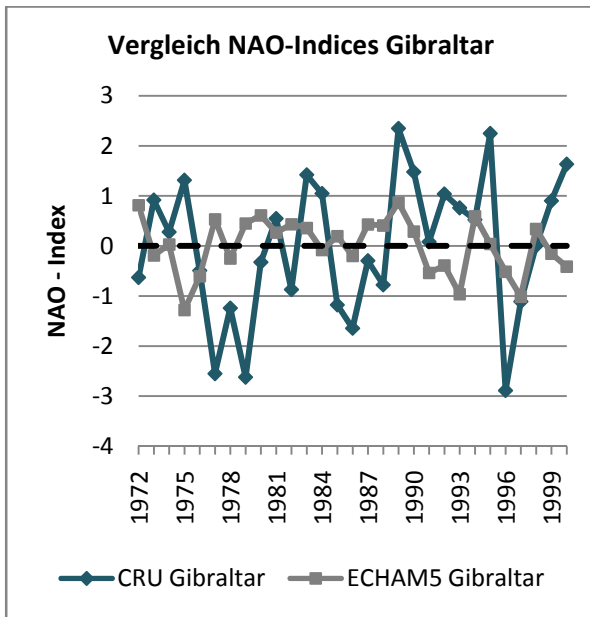


Abbildung 7: Vergleich der Gibraltar-NAO-Indices aus ECHAM5- und Beobachtungsdaten im hWH.

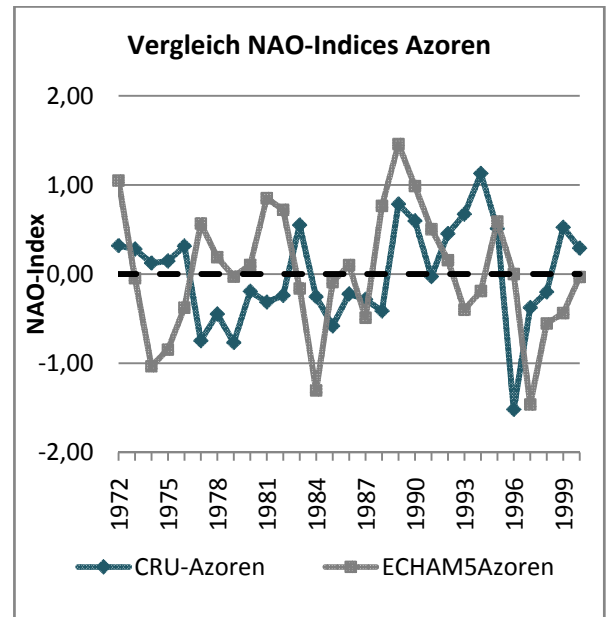


Abbildung 8: Vergleich der Azoren-NAO-Indices aus ECHAM5- und Beobachtungsdaten im hWH.

### Erstes Quartal

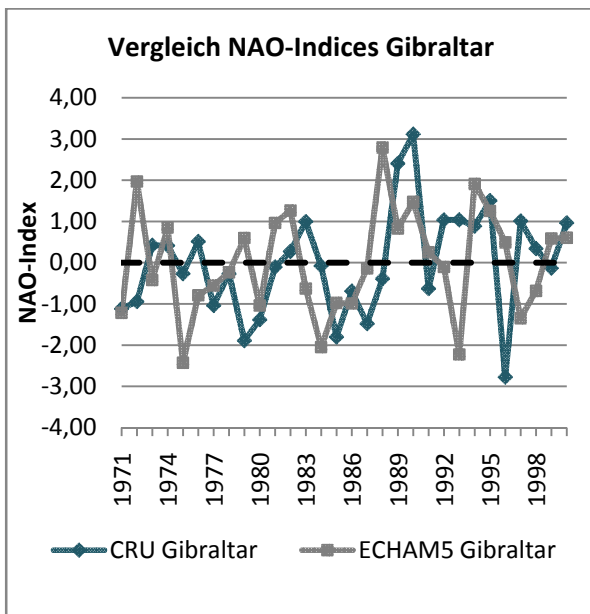


Abbildung 9: Vergleich der Gibraltar-NAO-Indices aus berechneten ECHAM5- und Beobachtungsdaten im Q1.

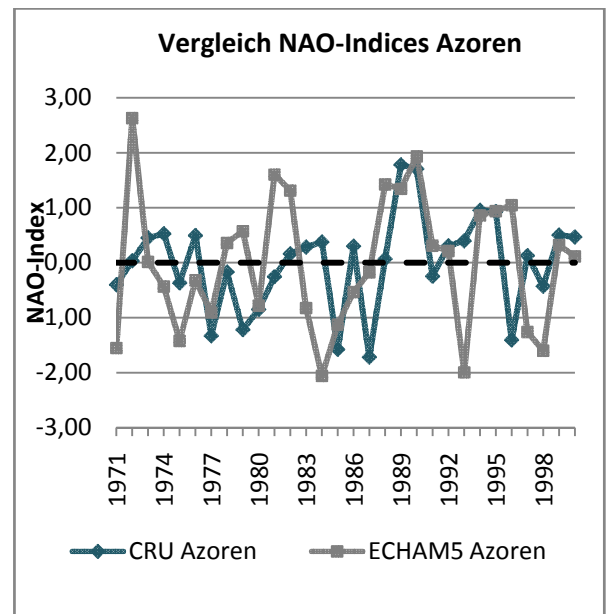


Abbildung 10: Vergleich der Azoren-NAO-Indices aus berechneten ECHAM5- und Beobachtungsdaten im Q1.



In den Abbildungen 5-10 sind NAO-Indices für Gibraltar und Azoren aus den Beobachtungsdaten des CRU, sowie aus den Modelldaten ECHAM5 aufgetragen. In den folgenden Kapiteln 4.2 bis 4.4 werden die Unterschiede zwischen CRU- und ECHAM5-Daten anhand von Gegenüberstellungen in Tabellen, im Bezug auf die Streuung der Werte um den Mittelwert, auf die Ausprägung der Extrema und auf die Mehrjährigkeit herausgearbeitet.

## 4.2 Berechnung und Vergleich der Standardabweichung für die NAO-Indices

Um festzustellen, inwieweit sich die CRU-Daten von den ECHAM5-Daten in ihrer Streuung um den Mittelwert unterscheiden, wurde die Standardabweichung beider NAO-Datenreihen ermittelt. Eine direkte Vergleichbarkeit zwischen CRU und ECHAM5 wurde dadurch erreicht, dass von den CRU-Daten deren Mittelwert, wie in Kapitel 4.1 erklärt, subtrahiert wurde. Durch die Angleichung der Mittelwerte sind die Standardabweichungen der beiden Reihen miteinander vergleichbar.

Tabelle 8: Standardabweichungen der NAO-Indices von CRU und ECHAM5 für Gibraltar und Azoren.

	CRU Gibraltar	ECAHM5 Gibraltar	CRUAzoren	ECHAM5 Azoren
DJF	1,38	0,55	0,90	0,65
hWH	0,88	0,69	0,55	0,69
Q1	1,26	1,26	0,85	1,22

Die in Tabelle 8 dargestellten Standardabweichungen der NAO-Indices wurden für den DJF und das hWH über den Zeitraum 1972 bis 2000 ermittelt. Für das Q1 erstreckt sich der Zeitraum von 1971 bis 2000.

Für das hWH und für den DJF ist der Unterschied zwischen den ECHAM5- und CRU-Daten des Azoren-Indexes gegenüber denen des Gibraltar-Index geringer. Im Q1 des Gibraltar-Indexes hat die Standardabweichung für die CRU- und für die ECHAM5-Daten den gleichen Wert (1,26). Die Standardabweichungen des CRU-Gibraltar liegen stets über denen des ECHAM5-Gibraltar. Die Beobachtungsdaten streuen beim Gibraltar-Index stärker um den Mittelwert als die Modelldaten. Beim Azoren-Index ist dies im meteorologischen Winter auch der Fall, im hWH und im Q1 ist es umgekehrt. Hier streuen beim Azoren-Index die ECHAM5-Daten stärker um den Mittelwert.

**Für die Standardabweichung liefert das erste Quartal für Gibraltar die größte Übereinstimmung zwischen CRU- und ECHAM5-Werten.**

### 4.3 Vergleich der Extrema aus den NAO-Indices

Die Tabellen sollen einen Vergleich der Extrema zwischen Modelldaten (ECHAM5) und Beobachtungsdaten (CRU) ermöglichen, um die Reihen mit den größten Gemeinsamkeiten ermitteln zu können. Der Vergleich wird für den NAO-Gibraltar-Index sowie für den NAO-Azoren-Index durchgeführt. Es werden dabei die Maxima getrennt von den Minima behandelt, um eine bessere Übersichtlichkeit zu gewährleisten. Von Interesse ist, welche der Jahreszeiten die größten Gemeinsamkeiten zwischen CRU- und ECHAM5-Daten aufweisen.

Tabelle 9: Vergleich der Maxima.

Maxima	CRU Gibraltar	ECAHM5 Gibraltar	CRU Azoren	ECHAM5 Azoren
DJF	2,35	0,87	1,37	1,30
hWH	1,43	1,13	1,13	1,40
Q1	3,12	2,77	1,78	2,59

Tabelle 10: Vergleich der Minima.

Minima	CRU Gibraltar	ECAHM5 Gibraltar	CRU Azoren	ECHAM5 Azoren
DJF	-2,89	-1,28	-1,95	-1,07
hWH	-2,67	-1,37	-1,52	-1,44
Q1	-2,78	-2,38	-1,72	-2,03

In den Tabellen 9 und 10 sind die Werte der Maxima beziehungsweise Minima dargestellt. Für die Maxima liegen in vier von sechs Fällen die CRU-Werte über denen der ECHAM5-Werte. Dabei liegen die CRU-Werte des Gibraltar-Index zu jeder Jahreszeit höher als die ECHAM5-Werte. Im Falle des Azoren-Index sind die Maxima der ECHAM5-Werte aus dem hWH und dem Q1 höher als die CRU-Werte. Dass mehrheitlich die CRU-Werte über denen der ECHAM5-Werte liegen, entspricht den Erwartungen, da die Modelldaten durch die Glättung innerhalb der Gittermaschen schwächere Ausprägungen der Extrema zeigen als die Beobachtungsdaten.

## NAO-Index-Daten

Bei den Minima liegen in fünf von sechs Fällen die CRU-Werte unter denen der ECHAM5-Werte. Bei dem Gibraltar-Index befinden sich alle CRU-Werte unter den ECHAM5-Werten. Für den Azoren-Index liegt der ECHAM5-Wert aus dem Q1 unter dem des CRU-Werts.

Um möglichst genaue Aussagen über die Differenzen bei den Extrema machen zu können, wurde ein prozentualer Unterschied zwischen den CRU- und ECHAM5-Werten (CRU immer 100%) aus den Tabellen 9 und 10 ermittelt. Dadurch wird die Differenz der Werte im Zusammenhang mit deren Höhe betrachtet.

**Tabelle 11: Prozentuale Differenz zwischen CRU- und ECHAM5-Werten für die Maxima.**

Maxima	CRU- ECAHM5-Gibraltar [%]	CRU - ECHAM5-Azoren [%]
hWH	21	-24
DJF	63	5
Q1	11	-45,5

**Tabelle 12: Prozentuale Differenz zwischen CRU- und ECHAM5-Werten für die Minima.**

Minima	CRU - ECAHM5-Gibraltar [%]	CRU- ECHAM5 -Azoren [%]
hWH	49	5
DJF	56	46
Q1	14	-18

In den Tabellen 11 und 12 sind die Differenzen zwischen CRU- und ECHAM5-Werten für die Maxima und die Minima prozentual eingetragen. Für den Gibraltar-Index sind die geringsten Differenzen zwischen CRU und ECHAM5 im ersten Quartal verzeichnet. Bei den Maxima liegen hier die Werte um 11% auseinander und bei den Minima um 14%.

Für den Azoren-Index liegt die geringste Differenz zwischen CRU und ECHAM5 für das Maximum im meteorologischen Winter bei 5%. Bei den Minima liegt mit ebenfalls 5% die geringste Differenz im hydrologischen Winterhalbjahr vor.

Aus Sicht der Extrema ist für weitere Untersuchungen das Q1 des Gibraltar-Indexes am besten geeignet. In dieser Konstellation liegen als einziges, sowohl für das Minimum als auch für das Maximum, die geringsten Differenzen in einer Jahreszeit vor.

#### 4.4 Mehrjährigkeit des NAO

Die Mehrjährigkeit zeigt, wie auch im Falle der Niederschlagsdaten aus Kapitel 3.1.3, wie ausgeprägt die positiven und negativen Langphasen der NAO-Indices sind.

In der folgenden Untersuchung werden anhand der Tabellen 13, 14 und 15 die Daten aus dem Globalmodell ECHAM5 mit den CRU-Beobachtungsdaten für den NAO-Gibraltar-Index und für den NAO-Azoren-Index auf Gemeinsamkeiten überprüft. Die Überprüfung findet für den DJF, das hWH und das Q1 statt. Verglichen werden nur Langphasen, deren Werte einen Mindestabstand von 0,5 vom Mittelwert aufweisen.

Die erste Spalte der Tabellen enthält die Anzahl an Jahren, die bei einer positiven beziehungsweise negativen Langphase hintereinander folgen. In den darauffolgenden Spalten sind die Häufigkeiten der aufeinanderfolgenden Langphasen im gesamten Datenverlauf angegeben. Steht zum Beispiel eine 1 in der ECHAM5-Spalte in der Zeile mit der 3, so lässt sich ablesen, dass im Datenverlauf einmalig drei Werte hintereinander mindestens 0,5 über beziehungsweise unter dem Mittelwert liegen. Damit zeigt der Datenverlauf einmal eine dreijährige Langphase.

## Meteorologischer Winter (DJF)

Tabelle 13: Anzahl an Langphasen im DJF um Ähnlichkeiten zwischen CRU und ECHAM5 feststellen zu können.

Anzahl an Jahren bei einer positiven Langphase:	CRU-Gibraltar	ECHAM5-Gibraltar	CRU-Azoren	ECHAM5-Azoren
2	3X	2X	4X	1X
3	-	1X	1X	-
4	1X	-	-	1X
Anzahl an Jahren bei einer negativen Langphase:	CRU-Gibraltar	ECHAM5-Gibraltar	CRU-Azoren	ECHAM5-Azoren
2	2X	1X	1X	1X
3	1X	-	1X	-
4	-	-	-	-

Betrachtet man die positive Langphase für den DJF in Tabelle 13, so kommt für den CRU-Gibraltar dreimal eine zweijährige und einmal eine vierjährige Langphase vor. In den dazugehörigen ECHAM5-Gibraltar-Daten finden sich zweimal eine zweijährige und einmal eine dreijährige Langphase.

Bei der Betrachtung der negativen Langphasen zeigt der Vergleich im Falle der CRU-Daten zweimal eine zweijährige und einmal eine dreijährige Langphase. Beim ECHAM5-Datensatz kommt lediglich einmal eine zweijährige Langphase vor.

Die ECHAM5-Daten weisen für Gibraltar im DJF eine geringere Mehrjährigkeit auf als die CRU-Daten.

Beim Azoren-Index des DJF kann eine ähnliche Konstellation wie beim Gibraltar-Index festgestellt werden. Im Falle der positiven Langphasen sind für den CRU-Index viermal eine zweijährige und einmal eine dreijährige Langphase in der Tabelle verzeichnet. Bei ECHAM5 liegen einmal eine zweijährige und einmal eine vierjährige Langphase vor.

Bei den negativen Langphasen ist die Mehrjährigkeit des Azoren-Indexes schwächer ausgeprägt als beim Gibraltar-Index. Für den CRU-Azoren-Index sind einmal eine zweijährige und einmal eine dreijährige Langphase eingetragen. Für ECHAM5 zeigt die Tabelle, wie auch im Falle des Gibraltar-Indexes, nur einmal eine zweijährige Langphase.

Für den Azoren-Index zeigen die ECHAM5-Daten eine geringere Mehrjährigkeit als für die CRU-Daten.

## Hydrologisches Winterhalbjahr (hWH)

Tabelle 14: Anzahl an Langphasen im hWH um Ähnlichkeiten zwischen CRU und ECHAM5 feststellen zu können.

Anzahl an Jahren bei einer positiven Langphase:	CRU Gibraltar	ECHAM5 Gibraltar	CRU Azoren	ECHAM5 Azoren
2	1X	-	1X	1X
3	-	-	1X	1X
4	1X	-	-	-
Anzahl an Jahren bei einer negativen Langphase:	CRU Gibraltar	ECHAM5 Gibraltar	CRU Azoren	ECHAM5 Azoren
2	1X	2X	-	-
3	1X	-	-	1X
4	-	-	-	-

Für das hWH ist die Mehrjährigkeit in Tabelle 14 aufgezeigt. Bei der Betrachtung der positiven Langphasen liegen bei den CRU-Gibraltar-Daten einmal eine zweijährige und einmal eine vierjährige Langphase vor. Beim ECHAM5-Gibraltar-Index sind keine Werte in die Tabelle eingetragen, da keine aufeinanderfolgenden Daten mindestens 0,5 vom Mittelwert entfernt sind.

Bei den negativen Langphasen, liest man für den CRU-Gibraltar einmal eine zweijährige Langphase und einmal eine dreijährige Langphase ab. Bei den ECHAM5-Gibraltar-Daten liegt zweimal eine zweijährige Langphase vor.

Bei einer Betrachtung der positiven Langphasen aus dem Azoren-Index können aus der Tabelle sowohl für den CRU als auch für den ECHAM5 einmal eine zweijährige und einmal eine dreijährige Langphase abgelesen werden.

Bei den negativen Langphasen sind keine Werte für die CRU-Daten in die Tabelle eingetragen, da auch hier kein Wert weit genug vom Mittelwert entfernt ist. Die ECHAM5-Daten zeigen unter dem Mittelwert beim Azoren-Index eine geringe Mehrjährigkeit. Es ist einmal eine dreijährige Langphase eingetragen.

## NAO-Index-Daten

Im hWH ist die Mehrjährigkeit geringer ausgeprägt als in den zwei anderen Jahreszeiten. Für den Gibraltar-Index zeigt sich bei den CRU-Daten eine Mehrjährigkeit sowohl für die Daten unter als auch für die Daten über dem Mittelwert. Im Falle der ECHAM5-Daten des Gibraltar-Indexes sind keine Datenpunkte ausreichend weit oberhalb des Mittelwerts vorhanden, daher konnte keine Mehrjährigkeit festgestellt werden.

Beim Azoren-Index verhält es sich gerade umgekehrt. Die ECHAM5-Daten zeigen bei den positiven Langphasen dieselbe Ausprägung der Mehrjährigkeit wie die CRU-Daten. Durch das Fehlen einer Mehrjährigkeit im Falle des CRU-Azoren für die negativen Langphasen ist die Mehrjährigkeit bei den ECHAM5-Azoren ausgeprägter.

## Erstes Quartal (Q1)

Tabelle 15: Anzahl an Langphasen im Q1 um Ähnlichkeiten zwischen CRU und ECHAM5 feststellen zu können.

Anzahl an Jahren bei einer positiven Langphase:	CRU Gibraltar	ECHAM5 Gibraltar	CRU Azoren	ECHAM5 Azoren
2	1X	3X	2X	1X
3	-	1X	-	2X
4	1X	-	-	
Anzahl an Jahren bei einer negativen Langphase:	CRU Gibraltar	ECHAM5 Gibraltar	CRU Azoren	ECHAM5 Azoren
2	2X	1X	1X	1X
3	-	1X	-	-
4	1X	1X	-	1X

Der Vergleich zwischen CRU und ECHAM5 für das Q1 ist in Tabelle 15 aufgeführt. Bei den positiven Langphasen liegen für den CRU-Gibraltar einmal eine zweijährige und einmal eine vierjährige Langphase vor. In den ECHAM5-Daten sind es dreimal eine zweijährige und einmal eine dreijährige Langphase.

Bei der Betrachtung der negativen Langphasen sind für den CRU-Gibraltar zweimal eine zweijährige und einmal eine vierjährige Langphase in die Tabelle eingetragen. In den ECHAM5-Daten ist es einmal eine zweijährige, einmal eine dreijährige, und einmal eine vierjährige Langphase.

Beim Q1 des Azoren-Indexes liegen für die positiven Langphasen in den CRU-Daten zweimal eine zweijährige und in den ECHAM5-Daten einmal eine zweijährige und zweimal eine dreijährige Langphase vor.

In den negativen Langphasen ist einmal eine zweijährige Langphase für den CRU-Azoren-Index in Tabelle 15 eingetragen. Für den ECHAM5-Azoren-Index ist einmal eine zweijährige und einmal eine vierjährige Langphase verzeichnet.

Im ersten Quartal ist das Verhältnis der Mehrjährigkeit zwischen CRU- und ECHAM5-Daten gegenüber den zwei anderen Jahreszeiten gerade umgekehrt. In diesem Fall weist der ECHAM5-Datensatz durchgehend höhere Mehrjährigkeit auf als der CRU-Datensatz.



NAO-Index-Daten

**Um die Mehrjährigkeit bei den Niederschlagsdaten des WettReg-Modells zu verbessern, würden sich die NAO-Daten aus dem Q1 eignen, da hier die Modelldaten des ECHAM5-Modells sowohl beim Gibraltar- als auch bei dem Azoren-Index hohe Mehrjährigkeiten aufweisen und zu einer Aufprägung zur Erhöhung der Mehrjährigkeiten bei den WettReg-Niederschlagsdaten führen würde.**

## 5 Skalierungsfaktor für den WettReg-Niederschlag

In den folgenden Abbildungen und Tabellen wird ein Vergleich zwischen dem Niederschlag aus den Beobachtungsdaten des DWD und mittels der Skalierungsfaktoren angepassten WettReg-Daten vorgenommen. Um eine Analogie zu anderen Vergleichen zu schaffen, wurden auch hier Mittelwert, Standardabweichung, Extrema und Mehrjährigkeit abgeglichen. Die Niederschlagsdaten des DWD und des Modells WettReg wurden jeweils aus dem gleichen Zeitraum gewählt. Die Aufprägung wurde für alle drei Jahreszeiten (DJF, hWH und Q1) vorgenommen.

Für die Aufprägung des NAO-Index auf die WettReg Daten ist der NAO-Gibraltar-Index aus dem ersten Quartal verwendet worden, da dieser in den vorhergehenden Untersuchungen die besten Ergebnisse geliefert hat.

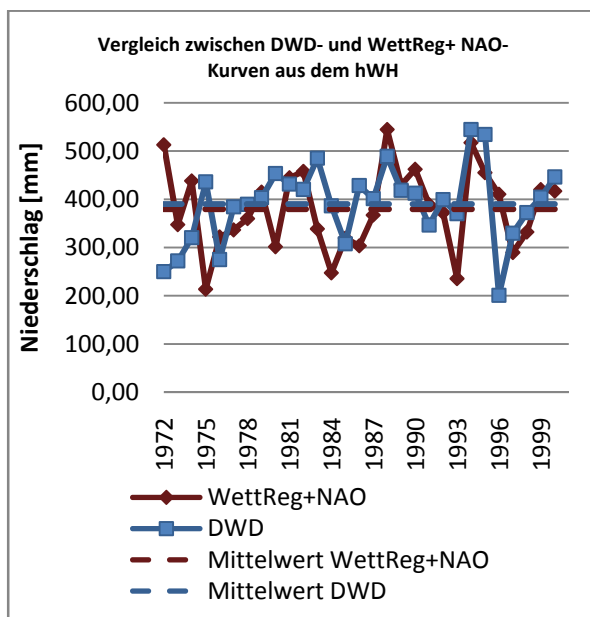


Abbildung 11: DWD-Niederschlag des hWH und WettReg-Niederschlag des hWH, auf den der Skalierungsfaktor mit dem NAO-Index des Q1 aufgeprägt wurde.

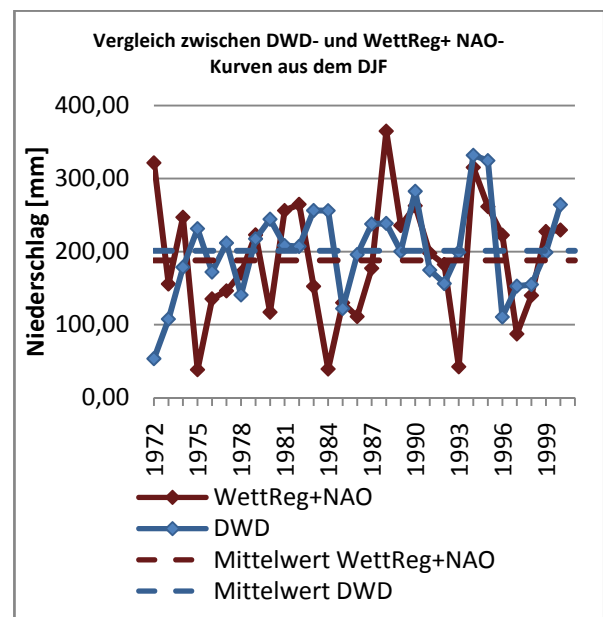


Abbildung 12: DWD-Niederschlag des DJF und WettReg-Niederschlag des DJF, auf den der Skalierungsfaktor mit dem NAO-Index des Q1 aufgeprägt wurde.

## Skalierungsfaktor für den WettReg-Niederschlag

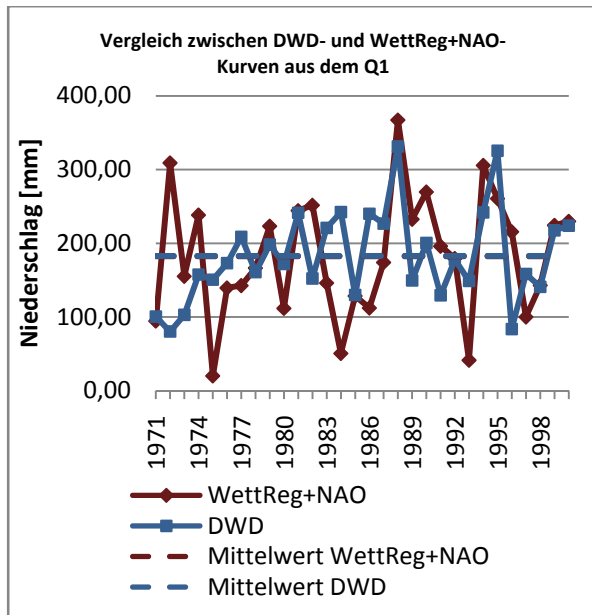


Abbildung 13: DWD-Niederschlag des Q1 und WettReg-Niederschlag des Q1, auf den der Skalierungsfaktor mit dem NAO-Index des Q1 aufgeprägt wurde.

In den drei Abbildungen 11, 12 und 13 ist der DWD-Niederschlag aus Beobachtungsdaten gegen den WettReg-Niederschlag aus Modelldaten unter Verwendung der neu entwickelten Skalierungsfaktoren aufgetragen. Auf die WettReg-Daten des hWH ist der NAO-Index in Form des Skalierungsfaktors aus Gleichung 6 aufgeprägt. Auf die WettReg-Daten des DJF und des Q1 wurde der NAO-Index durch den Skalierungsfaktor aus Gleichung 7 aufgeprägt. Derselbe Vergleich ohne die Aufprägung ist in Kapitel 3.1 in den Abbildungen 2-4 vorgenommen worden. Vergleicht man den Verlauf der WettReg-Kurve zwischen den Abbildungen 11-13 mit dem Verlauf aus den Abbildungen 2-4 ist der Unterschied zwischen den Kurven gut erkennbar. Die Aufprägung des Skalierungsfaktors verstärkt die Extrema und die Mehrjährigkeit der WettReg-Kurven.

## 5.1 Mittelwert und Standardabweichung nach dem Aufprägen der Skalierungsfaktoren

Die Mittelwerte sind durch blaue und rote unterbrochene Linien in die Abbildungen 11-13 eingetragen. Da an den DWD-Daten nichts verändert wurde, unterscheiden sich die Mittelwerte der DWD-Kurven nicht von denen aus Kapitel 3.1. Bei den Modelldaten der WettReg-Kurven sind durch die Aufprägung der Skalierungsfaktoren in diesem Kapitel Unterschiede zu erwarten.

In Abbildung 11 liegt der Mittelwert für die DWD-Kurve im hWH bei 390 mm und für die WettReg+NAO-Kurve bei 379 mm. Bei der WettReg-Kurve aus Abbildung 3 in Kapitel 3.1 liegt der Mittelwert bei 375 mm.

Im DJF hat der Mittelwert für die DWD-Kurve in Abbildung 12 den Wert 200 mm. Der Mittelwert der WettReg+NAO-Kurve liegt im DJF bei 188 mm und der Mittelwert der WettReg-Kurve aus dem DJF in Abbildung 2 hat einen Wert von 185mm.

Der Mittelwert für die DWD-Kurve liegt im Q1 in Abbildung 13 bei 183 mm und für die WettReg+NAO-Kurve liegt er bei 182 mm. In der WettReg-Kurve aus Abbildung 4 liegt der Mittelwert bei 183 mm.

Die Mittelwerte der WettReg+NAO-Kurven liegen maximal um 4mm über denen der WettReg-Kurven aus Kapitel 3.1. Dies ist angesichts der hohen Mittelwerte ein zu vernachlässigender Wert. Daher kann davon ausgegangen werden, dass sich die Mittelwerte bei einer Aufprägung nicht wesentlich verändern. Die Modelldaten geben die Mittelwerte der Beobachtungsdaten auch nach der Aufprägung sehr gut wieder.

**Tabelle 16: Standardabweichungen der DWD- und WettReg+NAO-Daten.**

Jahreszeit für DWD und WettReg	DWD	WettReg+NAO
DJF	63,34	82,4
hWH	80,03	82,7
Q1	61,80	81,4

In Tabelle 16 sind die Standardabweichungen der DWD-Daten und die Standardabweichungen der WettReg+NAO-Daten eingetragen. Im DJF liegen die beiden

## Skalierungsfaktor für den WettReg-Niederschlag

Standardabweichungen mit einer Differenz von 19 mm dicht beieinander. Der Unterschied zwischen DWD und WettReg+NAO im hWH fällt mit 2,67 mm am geringsten aus.

Im Q1 ist der größte Unterschied in der Standardabweichung zwischen DWD und WettReg+NAO mit 19,6 mm in Tabelle 16 eingetragen.

Dabei streuen die WettReg+NAO-Daten mit dem jeweils höheren Wert um ihren Mittelwert, als die Beobachtungsdaten des DWD.

Der Vergleich der Standardabweichungen der WettReg-Daten aus Kapitel 3.1.1 Tabelle 2 mit den Standardabweichungen der WettReg+NAO-Daten aus Tabelle 16 zeigt deutlich, dass der Wert für den DJF um gut das Vierfache, der des hWH um das Dreifache und der des Q1 um fast das Fünffache nach der Aufprägung angestiegen ist.

Beim Vergleich zwischen Beobachtungsdaten und Modelldaten liegt der Wert für die Standardabweichung zwischen DWD und WettReg+NAO im DJF 25,5 mm dichter beieinander, als im Falle der DWD- und WettReg-Werte. Im hWH liegen die Standardabweichungen zwischen DWD und WettReg+NAO beachtliche 51,5 mm näher zusammen, als die Werte aus den DWD- und WettReg-Daten. Im Q1 liegen die DWD- und WettReg+NAO-Werte 24,9 mm näher beisammen als die DWD- und WettReg-Daten.

Damit hat die Verwendung der zwei Skalierungsfaktoren die Wiedergabe der beobachteten Standardabweichung deutlich verbessert.

## 5.2 Extrema nach dem Aufprägen der Skalierungsfaktoren

Tabelle 17: Vergleich der Extrema von WettReg+NAO. DWD- und WettReg-Daten aus dem DJF, NAO-Index aus dem Q1.

NAO von Q1, DWD und WettReg von DJF	DWD	WettReg+NAO
Maxima	331,8	364,9
Minima	53,3	38,1

Tabelle 18: Vergleich der Extrema von DWD und WettReg+NAO. DWD- und WettReg-Daten aus dem hWH, NAO-Index aus dem Q1.

NAO von Q1, DWD und WettReg von hWH	DWD	WettReg+NAO
Maxima	544,6	544,6
Minima	200,9	213,6

Tabelle 19: Vergleich der Extrema von WettReg+NAO. DWD- und WettReg-Daten aus dem Q1, NAO-Index aus dem Q1.

NAO von Q1, DWD und WettReg von Q1	DWD	WettReg+NAO
Maxima	331,3	357,3
Minima	80,1	19,9

Um die Differenzen zwischen den DWD- und WettReg+NAO-Daten in der Ausprägung der Extrema vergleichen zu können, wurden die jeweiligen Maxima und Minima für den DJF, für das hWH und für das Q1 in die Tabelle 17-19 eingetragen.

Im DJF ist für den DWD ein Wert von 331,8 mm für das Maximum eingetragen. Der WettReg+NAO-Wert liegt mit 364,9 mm um 33,1 mm höher. Vor der Aufprägung betrug der Unterschied 105,9 mm, wobei für WettReg ein Maximum von 225,9 mm in Tabelle 3 verzeichnet ist.

Die Minima des DJF beziffern sich für die Beobachtungsdaten auf 53,3 mm und für den WettReg+NAO auf 38,1 mm. Dies ergibt eine Differenz von 15,2 mm. Vor der Aufprägung lag das Minimum für die WettReg-Daten bei 153,4 mm. Zwischen DWD- und WettReg-Daten ergibt sich dadurch ein Unterschied von 100,1 mm. Der sehr niedrige Wert für das Minimum der DWD-Daten wurde durch die Aufprägung des Skalierungsfaktors auch in den Modelldaten (WettReg+NAO) erreicht.

Im hWH befindet sich das Maximum sowohl für den DWD als auch für den WettReg+NAO bei 544,6 mm. Das Maximum der WettReg+NAO-Daten liegt somit auf gleichem Niveau, wie das

Skalierungsfaktor für den WettReg-Niederschlag

der DWD Daten. Vor der Aufprägung befand sich das Maximum der WettReg Daten bei 432 mm, was 112,6 mm unter dem der DWD-Daten liegt.

Bei den Minima des hWH beträgt der DWD-Wert 200,9 mm und der WettReg+NAO-Wert 213,6 mm. Die zwei Werte liegen mit einer Differenz von 12,7 mm dicht beieinander. Das Minimum bei den WettReg-Daten vor der Aufprägung befand sich bei 338,7 mm, was eine Differenz von 137,8 mm gegenüber dem DWD-Wert bedeutet. Das hWH zeigt als einziges bei den Minima einen zu hohen Wert an.

Das Maximum des Q1 hat für die DWD-Daten den Wert 331,3 mm. Das Maximum der WettReg+NAO-Daten ist mit 357,3 mm in die Tabelle eingetragen. Dadurch liegt der WettReg+NAO Wert um 26 mm höher als der des DWD. Vor der Aufprägung lag das Maximum der WettReg-Werte um 89,6 mm unter dem des DWD.

Das Minimum der DWD-Daten aus dem Q1 beträgt 80,1 mm und das der WettReg+NAO-Daten 19,9 mm. Das Minimum der Modelldaten (WettReg+NAO) liegt um 60,2 mm unter dem des DWD. Vor der Aufprägung hatten die WettReg-Daten einen um 65,7 mm zu hohen Wert.

### **5.3 Mehrjährigkeit des Niederschlags nach dem Aufprägen der Skalierungsfaktoren**

In den Tabellen 20, 21 und 22 liegt ein Vergleich zwischen den Mehrjährigkeiten aus DWD- und WettReg+NAO-Daten vor. Es soll geklärt werden, ob durch die Aufprägung des NAO-Index aus dem Q1 auf die WettReg-Daten des DJF, hWH und Q1, die Mehrjährigkeiten von WettReg an die Mehrjährigkeiten des DWD angeglichen werden können. Dabei hat eine größere Streuung der Datenpunkte um den Mittelwert eine stärkere Ausprägung der Mehrjährigkeiten zur Folge, da sich die Datenpunkte weiter von ihrer Mittellinie entfernen.

Wie in den vorherigen Untersuchungen, gilt auch hier, dass nur positive beziehungsweise negative Langphasen für die Mehrjährigkeit berücksichtigt werden, deren Werte mindestens 50 mm über dem durchschnittlichen Niederschlag liegen.

## Skalierungsfaktor für den WettReg-Niederschlag

Tabelle 20: Vergleich der Mehrjährigkeit von DWD und WettReg+NAO. DWD- und WettReg-Daten aus dem DJF, NAO-Index aus dem Q1.

Anzahl an Jahren bei einer positiven Langphase:	DWD	WettReg+NAO
2	2X	2X
3	-	-
4	-	-
Anzahl an Jahren bei einer negativen Langphase:	DWD	WettReg+NAO
2	1X	1X
3	-	1X
4	-	-

Im DJF aus Tabelle 20 ist eine leicht stärkere Mehrjährigkeit der WettReg+NAO-Daten gegenüber den DWD-Daten zu erkennen. Bei der positiven Langphase liegt bei den DWD-Daten zweimal eine zweijährige Langphase vor. Bei den WettReg+NAO-Daten ist ebenfalls zweimal eine zweijährige Langphase eingetragen.

Bei der Betrachtung der negativen Langphase zeigt die Tabelle für den DWD einmal eine zweijährige Langphase. Für WettReg liegt einmal eine zweijährige und einmal eine dreijährige Langphase vor.

Im DJF kann nach der Aufprägung des Skalierungsfaktors (Gleichung 7) für die WettReg+NAO-Daten eine etwas stärkere Mehrjährigkeit festgestellt werden.



## Skalierungsfaktor für den WettReg-Niederschlag

Tabelle 21: Vergleich der Mehrjährigkeit von DWD und WettReg+NAO. DWD- und WettReg-Daten aus dem hWH, NAO-Index aus Q1.

Anzahl an Jahren bei einer positiven Langphase:	DWD	WettReg+NAO
2	1X	2X
3	-	1X
4	-	-
Anzahl an Jahren bei einer negativen Langphase:	DWD	WettReg+NAO
2	1X	1X
3	1X	1X
4	-	-

Im Falle des hWH, das in Tabelle 21 aufgezeigt ist, geben die WettReg+NAO-Daten gegenüber den DWD-Daten ebenfalls eine etwas stärkere Mehrjährigkeit wieder. Bei den Modelldaten (WettReg+NAO) liegen zweimal eine zweijährige und einmal eine dreijährige positive Langphase eingetragen. Beim DWD findet sich einmal eine zweijährige positive Langphase.

Für die negativen Langphasen liefern die WettReg+NAO-Modelldaten die gleiche Mehrjährigkeit, wie die DWD-Daten. Beide Male befinden sich einmal eine zweijährige und einmal eine dreijährige Langphase unterhalb des Mittelwerts vor.

Die WettReg+NAO-Daten liefern für die positiven Langphasen leicht höhere Mehrjährigkeiten als die DWD-Daten. Für die negative Langphasen geben sie die Mehrjährigkeit der DWD-Daten gleich wieder.

## Skalierungsfaktor für den WettReg-Niederschlag

Tabelle 22: Vergleich der Mehrjährigkeit von DWD und WettReg+NAO. DWD- und WettReg-Daten aus dem Q1, NAO-Index aus Q1.

Anzahl an Jahren bei einer positiven Langphase:	DWD	WettReg+NAO
2	2X	2X
3	-	1X
4	-	-
Anzahl an Jahren bei einer negativen Langphase:	DWD	WettReg+NAO
2	1X	-
3	-	1X
4	-	-

In Tabelle 22 sind die Mehrjährigkeiten der DWD- und der WettReg+NAO-Daten aus dem Q1 eingetragen. Der DWD weist zweimal eine zweijährige positive Langphase auf. Bei den WettReg+NAO-Daten gibt es zweimal eine zweijährige und einmal eine dreijährige positive Langphase.

Bei den negativen Langphasen zeigen die DWD-Daten einmal eine zweijährige Langphase. Bei den WettReg+NAO-Daten ist einmal eine dreijährige Langphase in die Tabelle eingetragen.

**Durch die Aufprägung des NAO-Gibraltar-Indexes aus dem Q1 mittels der Skalierungsfaktoren konnte in allen drei Jahreszeiten (DJF, hWH und Q1) erreicht werden, dass sich in den WettReg+NAO-Daten Werte 50 mm oder mehr vom Mittelwert entfernt haben und sich dadurch eine Mehrjährigkeit gebildet hat.**

## 6 Zusammenfassung, Diskussion und Ausblick

### 6.1 Zusammenfassung

Die Modelldaten des Regionalmodells WettReg liefern in keiner Jahreszeit (meteorologischer Winter (DJF), hydrologisches Winterhalbjahr (hWH) und erstes Quartal (Q1)) zufriedenstellende Ergebnisse in Bezug auf die Standardabweichung, Ausprägung der Extrema und die Mehrjährigkeit von Trocken- beziehungsweise Nassjahren. Die Mittelwerte werden sowohl von den WettReg- als auch von den WettReg+NAO-Daten gut getroffen. Im Vergleich der Standardabweichungen zwischen Beobachtungsdaten (DWD) und den Modelldaten (WettReg) in Kapitel 3 weisen die WettReg-Daten geringere Werte auf als die DWD-Daten. Diese streuen wesentlich stärker um ihren Mittelwert. Durch die fehlende Streuung der WettReg-Daten bilden sich nicht die Extrema und Mehrjährigkeiten der DWD-Daten aus. Um die Eigenschaften der WettReg-Daten näher an die der DWD-Daten zu bekommen, wurden in dieser Arbeit Skalierungsfaktoren gesucht, mit denen NAO-Indices auf die WettReg-Daten aufgeprägt werden können.

Aus der Arbeit von Jansky (2009) kann entnommen werden, dass eine signifikante Korrelation zwischen Beobachtungsdaten des Niederschlags und Beobachtungsdaten des NAO-Indexes im Winter (DJF, hWH und Q1) besteht und dass daher der NAO-Index insbesondere im Winter für einen Skalierungsfaktor geeignet ist. Desweiteren konnte entnommen werden, dass der NAO-Index in diesen Jahreszeiten am ehesten für eine Verbesserung von Standardabweichung, Extrema und Mehrjährigkeit taugt.

Um eine Skalierung von Niederschlagsdaten des Modells WettReg vornehmen zu können, werden Modelldaten des NAO-Indexes benötigt. Diese wurden für die Arbeit aus Luftruckdaten des Globalmodells ECHAM5 berechnet (siehe Kapitel 2.2.1), welches auch als Antrieb für das Regionalmodell WettReg dient. Die Berechnung ist für den NAO-Azoren und für den NAO-Gibraltar über drei Jahreszeiten (DJF, hWH, und Q1) durchgeführt worden. Um die am besten geeignete Jahreszeit und den am besten geeigneten NAO-Index feststellen zu können, wurden diese in Kapitel 4 anhand von Standardabweichungen, Extrema und Mehrjährigkeiten miteinander verglichen. Dabei hat sich das erste Quartal des NAO-Gibraltars als am geeignetsten herauskristallisiert.

Um den NAO-Index als Skalierungsfaktor auf die Niederschlagsdaten aufprägen zu können, wurden in Kapitel 2.3 zwei mathematische Funktionen ermittelt. Die Funktion aus Gleichung 6 dient zur Aufprägung von NAO-Indices auf Zeitspannen von sechs Monaten. Die Funktion aus Gleichung 7 ist für Aufprägungen auf Zeiträume von drei Monaten ausgelegt.

Durch diese Funktion und die Eigenschaften des NAO-Gibraltars aus dem Q1 ist die Ausprägung der Extrema und Mehrjährigkeiten der WettReg-Daten deutlich verbessert worden. Dafür wurde in Kapitel 5 ein Vergleich zwischen den DWD- und den skalierten WettReg+NAO-Daten vorgenommen. Der Vergleich ist für den DJF, hWH und das Q1 durchgeführt worden. Für den DJF und für das hWH liegen die skalierten Daten in Bezug auf die Standardabweichung und die Ausprägung der Extrema und Mehrjährigkeit nahe an den DWD-Daten. Im Q1 ist für das Minimum ein zu kleiner Wert festgestellt worden (siehe Kapitel 5.2)

## 6.2 Diskussion der Ergebnisse

In der Arbeit wurden DWD-Beobachtungsdaten und WettReg-Modelldaten des Niederschlages und CRU-Beobachtungsdaten mit ECHAM5-Modelldaten der NAO-Indices untereinander verglichen. Die Vergleiche fanden alle für den Referenzzeitraum (1971-2000) statt. Die durch den Vergleich als für am besten geeignet befundenen NAO-Daten wurden mittels eines Skalierungsfaktors auf die WettReg-Daten aufgeprägt.

Der Vergleich der Niederschlagsdaten ist für die drei Jahreszeiten DJF, hWH und Q1 durchgeführt worden. Der Vergleich zwischen den Modelldaten des NAO-Index ist für den NAO-Azoren und NAO-Gibraltar über dieselben Jahreszeiten wie beim Niederschlag durchgeführt worden.

Für die Vergleiche sind die Daten verschiedenartig aufbereitet worden. Die Niederschlagsdaten wurden durch das Programm IDP monatlich für das Hessenmittel ausgegeben. Daher mussten die jeweiligen Monatsdaten zu den gewünschten Jahreszeiten gemittelt werden.

Die Luftruckdaten für die Berechnung der NAO-Indices wurden über den Climate Explorer monatlich ermittelt. Daher fand auch hier eine Mittelung über mehrere Monate für die gewünschte Jahreszeit statt.

Zusammenfassung, Diskussion und Ausblick

Ziel war es, einen geeigneten NAO-Index zu finden, um diesen über Skalierungsfaktoren auf die WettReg-Daten aufzuprägen. Nach der Aufprägung sollten die WettReg-Daten ähnliche Werte bei Standardabweichung, Extrema und Mehrjährigkeit liefern, wie die DWD-Daten.

Die durchgeführten Vergleiche und Berechnungen kamen zu folgenden Ergebnissen:

### **Vergleich der Niederschlagsdaten zwischen DWD und WettReg.**

Der Vergleich zwischen DWD- und WettReg-Daten aus dem Referenzzeitraum (1971-2000) hat in dieser Arbeit gezeigt, dass die WettReg-Daten die Ausprägung der Standardabweichung und den Extrema nur unzureichend und die Variabilität der Mehrjährigkeit gegenüber den DWD-Daten gar nicht wiedergeben. Die Mittelwerte werden auch schon von den WettReg-Daten gut getroffen.

### **Vergleich der NAO-Indices zwischen CRU und ECHAM5**

In diesem Vergleich wurden NAO-Indices aus Beobachtungsdaten des CRU mit Modelldaten des ECHAM5-Modells verglichen. Ein Vergleich fand über die Standardabweichungen, die Extrema und die Mehrjährigkeit im Referenzzeitraum (1971-2000) statt.

**Standardabweichung: Das Q1 weist die höchsten Werte und die größte Übereinstimmung auf.**

Bei der Betrachtung der Standardabweichung ist die geringste Differenz zwischen CRU- und ECHAM5-Daten im Q1 des NAO-Gibraltar ermittelt worden. Beide Datenreihen wiesen mit dem Wert 1,26 die gleiche Standardabweichung auf (Tabelle 8). Hohe Standardabweichungen geben eine starke Streuung der Werte einer Datenreihe um ihren Mittelwert wieder. Dies hat zur Folge, dass sich viele Werte weit von ihrem Mittelwert entfernt befinden, was zu starken Extrema und starker Ausprägung der Mehrjährigkeit führt. Das Q1 hat beim NAO-Gibraltar mit 1,26 den höchsten Wert aller Standardabweichungen. Der Gibraltar-Index aus dem DJF und hWh sowie alle Azoren-Indices liegen unterhalb des Ergebnisses.



aufgeprägt. Dafür sind die Funktionen aus Kapitel 2.3 angewendet worden. Die Aufprägung wurde für Daten des Referenzzeitraums (1971-2000) durchgeführt.

In Kapitel 5 ist ein Vergleich zwischen DWD- und WettReg+NAO-Daten dargestellt. Mithilfe des Vergleichs sollte festgestellt werden, ob durch die Aufprägung der Skalierungsfaktoren auf die WettReg-Modelldaten, diese eine Verbesserung in Bezug auf Standardabweichung, Extrema und Mehrjährigkeit in Richtung DWD-Beobachtungsdaten gemacht haben.

**Standardabweichung: Die Differenzen zwischen den Standardabweichungen der Beobachtungsdaten und der Modelldaten haben sich durch die Aufprägung verringert.**

Der Vergleich der Standardabweichungen zwischen DWD- und WettReg+NAO-Daten für DJF, hWH und Q1 hat gezeigt, dass durch die Aufprägung der Skalierungsfaktoren die Werte der WettReg+NAO-Daten dichter an den DWD-Daten liegen als bei den WettReg-Daten.

Im DJF lag der Wert für die Standardabweichung der WettReg-Daten vor der Aufprägung bei 18,8 mm. Nach der Aufprägung des Skalierungsfaktors (Gleichung 7) ist ein Wert von 82,37 mm erreicht worden. Die Standardabweichung der DWD-Daten beträgt für den DJF 63,34 mm. Die Differenz zwischen Beobachtungsdaten und Modelldaten hat sich von 44,54 ohne Aufprägung auf 19,03 mm mit Aufprägung verringert.

Vor der Aufprägung betrug der WettReg-Wert der Standardabweichung für das hWH 25,9 mm. Nach der Aufprägung ist ein Wert von 82,7 mm erreicht worden. Die Standardabweichung der DWD-Daten hat beim hWH einen Wert von 80,03 mm. Die Differenz zwischen den Standardabweichungen aus Beobachtungsdaten und Modelldaten hat sich somit von 54,13 mm vor der Aufprägung auf sehr geringe 2,67 mm nach der Aufprägung verringert.

Im Q1 hatte die Standardabweichung für die WettReg-Daten den Wert 17,3 mm. Für den DWD wurde eine Standardabweichung von 61,8 im Q1 ermittelt. Nach der Aufprägung des NAO-Indexes ist die Standardabweichung für die WettReg+NAO-Daten auf 81,4 mm angewachsen. Somit hat sich die Differenz zwischen Beobachtungsdaten des DWD und

## Zusammenfassung, Diskussion und Ausblick

Modelldaten von 44,5 mm bei dem WettReg-Wert auf 19,8 mm beim WettReg+NAO-Wert verringert.

Vor der Aufprägung der Skalierungsfaktoren lagen die Standardabweichungen der WettReg-Daten für alle drei Jahreszeiten (DJF, hWH und Q1) weit unter denen der DWD-Daten ( $\sigma_{WettReg} < \sigma_{DWD}$ ). Durch die Aufprägung sind die Modelldaten so weit angestiegen, dass die Standardabweichungen für die WettReg+NAO-Daten in allen drei Jahreszeiten über denen der DWD-Daten liegen ( $\sigma_{WettReg+NAO} > \sigma_{DWD}$ ).

**Extrema: Die WettReg-Daten geben nach der Aufprägung des Skalierungsfaktors die Extrema der DWD-Daten exakter wieder.**

Es wurden die Extrema zwischen DWD und WettReg+NAO für den DJF, das hWH und das Q1 verglichen. Die WettReg-Daten geben die Extrema der DWD-Daten nach der Aufprägung des Skalierungsfaktors sehr gut wieder.

Im DJF wurde durch den DWD ein Niederschlagsmaximum von 331,8 mm gemessen. Das Minimum betrug für den Referenzzeitraum in dieser Jahreszeit 53,3 mm. Durch die Aufprägung des Skalierungsfaktors werden die Extrema auch in dieser Jahreszeit gut wiedergegeben. Das Maximum der WettReg+NAO-Daten beträgt für den meteorologischen Winter 364,9 mm und das Minimum 38,1 mm. Vor der Aufprägung haben die WettReg-Daten des DJF ein Maximum von 225,9 und ein Minimum von 153,4 mm wiedergegeben. Die WettReg-Daten haben vor der Aufprägung für das Maximum einen um 105,9 mm zu geringen Wert angezeigt. Das WettReg+NAO Maximum liegt 33,1 mm über dem DWD-Wert. Im Falle des Minimums lag der WettReg-Wert um 100,1 mm über dem DWD-Wert. Nach der Aufprägung befindet sich das Minimum der WettReg+NAO-Daten um 15,2 mm unter dem Minimum der DWD-Daten.

Beim hWH beträgt das Niederschlagsmaximum für die DWD-Daten 544,6 mm und das Minimum 200,9 mm. Die WettReg+NAO-Daten erreichen nach der Aufprägung ebenfalls ein Maximum von 544,6 mm. Das Minimum beträgt nach der Aufprägung 213,36 mm. Vor der Aufprägung lag das WettReg Maximum bei 432 mm und das Minimum bei 338,7 mm. Die Modelldaten haben vor der Aufprägung für das Maximum einen um 112,6 mm zu niedrigen Wert wiedergegeben. Durch den Skalierungsfaktor liegt der Wert jetzt auf gleicher Höhe mit den DWD-Niederschlagsdaten. Beim Minimum haben die WettReg-Daten vor der



Aufprägung einen um 137,8 mm zu hohen Wert wiedergegeben. Nach der Aufprägung liegt der WettReg+NAO-Wert noch um 12,46 mm über dem DWD-Wert.

Für das Q1 liegt das Niederschlagsmaximum des DWD bei 331,3 mm. Das Minimum liegt in dieser Jahreszeit für die DWD-Daten bei 80,1 mm. Nach der Aufprägung wird für das Q1 das Maximum der DWD-Daten durch die WettReg+NAO-Daten gut wiedergegeben. Das Minimum wird aufgrund eines niedrigen negativen NAO-Gibraltar-Indexes (-2,78) im Q1 nicht ganz so gut wiedergegeben. Das Maximum der WettReg-Daten liegt im Q1 bei 241,8 mm und das Minimum bei 145,8 mm. Das Maximum der WettReg+NAO-Daten liegt bei 357,3 mm. Das Minimum der WettReg+NAO-Daten ist nach der Aufprägung auf 19,9 mm abgesunken. Vor der Aufprägung haben die WettReg-Daten für das Maximum einen um 89,1 mm zu geringen Wert aufgewiesen. Das Minimum lag um 65,1 mm über dem der DWD-Daten. Das Maximum der WettReg+NAO-Daten liegt durch die Aufprägung des Skalierungsfaktors um 26 mm über dem DWD-Wert. Das Minimum ist um 60,2 mm niedriger als das des DWD.

Bei den Extrema sind durch die Aufprägung des Skalierungsfaktors alle Maxima der WettReg+NAO-Daten stärker ausgeprägt als die DWD-Werte. Im Falle der Minima sind das Minimum des DJF und des Q1 stärker ausgeprägt als die DWD-Daten. Das Minimum der Modelldaten des hWH liegt nach der Aufprägung noch leicht über dem der Beobachtungsdaten.

Nach der Aufprägung werden die Extrema der Beobachtungsdaten durch die WettReg+NAO-Daten besser wiedergegeben als durch die WettReg-Daten vor der Aufprägung.

**Mehrjährigkeit: Die Modelldaten haben durch den Skalierungsfaktor eine Mehrjährigkeit bekommen.**

Eine Mehrjährigkeit konnte bei den WettReg-Daten des Referenzzeitraums vor der Aufprägung für den DJF, das hWH und das Q1 nicht festgestellt werden. Es befanden sich keine Datenpunkte 50 mm oder mehr von deren Mittel entfernt. Durch die Aufprägung der Skalierungsfaktoren haben die WettReg-Daten für alle drei Jahreszeiten eine Mehrjährigkeit.

Im DJF liegt die Mehrjährigkeit der Modelldaten nach der Aufprägung geringfügig höher als die der DWD-Daten. Für die WettReg+NAO-Daten liegt zweimal eine zweijährige positive Langphase beziehungsweise einmal eine zweijährigen und einmal eine dreijährige negative Langphase vor. Im Falle der DWD-Daten des DJF sind zweimal eine zweijährige positive Langphase und einmal eine zweijährige negative Langphase in Tabelle 20 eingetragen.

Im hWH liegen bei den WettReg+NAO-Daten zweimal eine zweijährige und einmal eine dreijährige positive Langphase vor. Für die negativen Langphasen ist einmal eine zweijährige und einmal eine dreijährige Langphase eingetragen. Damit verzeichnen die WettReg+NAO-Daten ähnliche Mehrjährigkeiten wie die DWD-Daten. Diese verzeichnen für das hWH einmal eine zweijährige positive Langphase, beziehungsweise einmal eine zweijährige und einmal eine dreijährige negative Langphase.

Im Q1 zeigen die WettReg+NAO-Daten für die positiven Langphasen zweimal eine zweijährige und einmal eine dreijährige Langphase. Für die negativen Langphasen ist einmal eine dreijährige Langphase eingetragen. Bei den DWD-Daten liegen zweimal eine zweijährige positive Langphase und einmal eine zweijährige negative Langphase vor. Damit zeigen die Modelldaten eine etwas stärker ausgeprägte Mehrjährigkeit als die Beobachtungsdaten.

Durch die Aufprägung der Skalierungsfaktoren weisen die WettReg+NAO-Daten jetzt eine größere Mehrjährigkeit auf als die Beobachtungsdaten.

### 6.3 Ergebnis

Mit der Aufprägung der Skalierungsfaktoren aus Kapitel 2.3 auf die Modelldaten des WettReg-Modells wurde das Ziel erreicht, die Eigenschaften der Niederschlagsdaten des DWD in Bezug auf Standardabweichung, Extrema und Mehrjährigkeit in den WettReg+NAO-Daten darzustellen. In allen untersuchten Bereichen lagen die Modelldaten nach der Aufprägung näher an den Beobachtungsdaten als zuvor. Allerdings sind überall (bis auf das Minimum der WettReg+NAO-Daten aus dem hWH), wo vorher Unterschreitungen in den Modelldaten gegenüber den Beobachtungsdaten festgestellt wurde, nach der Aufprägung leichte Überschreitungen in den Modelldaten festzustellen.

## 6.4 Ausblick

In dieser Arbeit wurden die Schritte aus der Bachelorarbeit von Frau Jansky durch weitere Schritte ergänzt, um einen Skalierungsfaktor für die Aufprägung von NAO-Indices auf WettReg-Modelldaten zu finden.

Dabei wurden die folgenden Faktoren entwickelt:

$$RR_{NAO} = \overline{RR} + 0,18 * (RR_i * NAO_i)$$

$$RR_{NAO} = \overline{RR} + 0,36 * (RR_i * NAO_i)$$

Die Faktoren sind in dieser Arbeit auf Modelldaten für den Niederschlag des Referenzzeitraums (1971-2000) aufgeprägt worden. Der Niederschlag zeigt nach der Aufprägung der Skalierungsfaktoren leichte Überschreitungen in den Eigenschaften Standardabweichung, Extrema und Mehrjährigkeit. Die Skalierungsfaktoren könnten nun in weiteren Schritten verfeinert werden, um noch näher an die DWD-Eigenschaften zu kommen.

Durch die Skalierungen besteht jetzt die Möglichkeit, Modelldaten für den Zukunftszeitraum (2001-2100) zu generieren und dabei realere Prognosen für die Niederschlagsmengen im Hessenmittel zu erstellen.

## Literaturverzeichnis

CEC-Potsdam, Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH, 2010. *Trans-Wetterlagen*.  
<http://www.cec-potsdam.de/Produkte/Klima/Trans/trans.html> (zuletzt aufgerufen am 04.03.2010)

CEC-Potsdam, Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH, 2010. *Modell WettReg*.  
<http://www.cec-potsdam.de/Produkte/Klima/WettReg/wettreg.html> (zuletzt aufgerufen am 04.03.2010)

Denhard, Michael und Christian-D. Schönwiese, 2001. *Bericht des Instituts für Meteorologie und Geophysik der Universität Frankfurt/Main. Statistisch-dynamische Klimavorhersage für Europa und Deutschland. Abschlussbericht zum Vorhaben 01 LA 9865/6 des BMBF*.  
Frankfurt/Main: Im Eigenverlag des Instituts

*Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Kurzzusammenfassung*, 2010.  
[http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das\\_zusammenfassung.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das_zusammenfassung.pdf)  
(zuletzt aufgerufen am 13.06.2010)

DWD, Deutscher Wetterdienst: *NAO/NAO-Index*. <http://www.deutscherwetterdienst.de/lexikon/download.php?file=NAO.pdf> (zuletzt aufgerufen am 10.05.2010)

DWD, Deutscher Wetterdienst: *Regionaler Klimawandel - Klimamodelle im Vergleich*.  
[http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop;jsessionid=LHrqMS8DI2MrCDTy4GBtS1FHVFFTMpctlm55LHXLPwlTHLnn5nWL!1476235082!-506712509?\\_nfpb=true&\\_pageLabel=dwdwww\\_result\\_page&gsbSearchDocId=710770](http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop;jsessionid=LHrqMS8DI2MrCDTy4GBtS1FHVFFTMpctlm55LHXLPwlTHLnn5nWL!1476235082!-506712509?_nfpb=true&_pageLabel=dwdwww_result_page&gsbSearchDocId=710770)  
(zuletzt aufgerufen am 10.05.2010)

*Freie Daten zu WettReg*. [www.anpassung.net](http://www.anpassung.net) (zuletzt aufgerufen am 03.03.2010)

Fooker, Cornelia, 2007: *Klimawandel und seine Folgen in Hessen*. Wiesbaden: HLUG  
Dezernat 11.

Hartung, Joachim; Bärbel, Elpelt und Karl- Heinz, Klösener, 1993: *Statistik. Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik*. München: Oldenbourg Verlag GmbH.

HLUG: *Das Fachzentrum Klimawandel Hessen stellt sich vor*.

## Literaturverzeichnis

HLUG: *Folgen des Klimawandels*.

KNMI, Climate Explorer. <http://climexp.knmi.nl/start.cgi?Albert.Geiger@hlug.hessen.de>  
(zuletzt aufgerufen am 02.06.2010)

Kreienkamp, Frank; Spekat, Arnet, 2009. Climate & Environmental Consulting Potsdam GmbH: *IDP. Ein Werkzeug zur explorativen Datenanalyse, Bedienungsanleitung, Programmversion 3.3. Ableitungen von Transwetterlagen und Entwicklung eines interaktiven Diagnose- und Präsentationstools*. Potsdam

Löptie, Ulrike: *Effekte der Wechselwirkung zwischen Ozean und Atmosphäre auf die Nordatlantische Oszillation*. [http://eldiss.uni-kiel.de/macau/servlets/MCRFileNodeServlet/dissertation\\_derivate\\_00000954/d954.pdf;jsessionid=1522C243BDBCCA67DCA317B98A595662?hosts=](http://eldiss.uni-kiel.de/macau/servlets/MCRFileNodeServlet/dissertation_derivate_00000954/d954.pdf;jsessionid=1522C243BDBCCA67DCA317B98A595662?hosts=) (zuletzt aufgerufen am 11.03.2010)

Microsoft Office Online: *STDABWN*. <http://office.microsoft.com/de-de/excel/HP052092811031.aspx> (zuletzt aufgerufen am 14. 05. 2010)

NOAA, Climate Prediction Center. <http://www.cpc.noaa.gov/>  
(zuletzt aufgerufen am 13.06.2010)

Schindler, Solveig: *Die Nordatlantische Oszillation*. [http://www.ifm-geomar.de/index.php?id=oz-on\\_ao](http://www.ifm-geomar.de/index.php?id=oz-on_ao) (16.03.2010)

Schönwiese, Christian-Dietrich und Silke Trömel. *Naturwissenschaftliche Rundschau | 59. Jahrgang, Heft 4, 2006*, Frankfurt am Main. [http://www.geo.uni-frankfurt.de/iau/klima/PDF\\_Dateien/Schoenwiese\\_Troemel-NR-4-06\\_pdf.pdf](http://www.geo.uni-frankfurt.de/iau/klima/PDF_Dateien/Schoenwiese_Troemel-NR-4-06_pdf.pdf) (zuletzt aufgerufen am 02.06.2010)

Stock, Manfred und Oliver Walkenhorst: *Regionale Klimaszenarien für Deutschland*. <http://arl-net.org/pdf/publik/e-paper-der-arl-nr6.pdf> (zuletzt aufgerufen am 04.06.2010)

Umweltbundesamt: *4. Klimabericht des IPCC. Auswirkungen, Anpassungen und Verwundbarkeit*. <http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/klima/ipcc-bericht/2policysummary/> (zuletzt aufgerufen am 02.06.2010)

## Literaturverzeichnis

Umweltbundesamt: *Neue Ergebnisse zur regionalen Klimaänderung.*

<http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/hintergrund/Regionale-Klimaaenderungen.pdf> (zuletzt geöffnet am 05.03.2010)

Umweltatlas Hessen, 2009: *Regionale Klimaprojektionen.*

<http://atlas.umwelt.hessen.de/atlas/> (zuletzt aufgerufen am 13.06.2010)

WIKI Bildungsserver: *NAO Folgen.*

[http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/NAO\\_Folgen](http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/NAO_Folgen) (zuletzt geöffnet am 26.04.2010)

Welfens, Maria J.: *Klimaszenarien, Klimamodellierung und Klimamodelle*, Bundeszentrale für

Politische Bildung, [http://www.bpb.de/popup/popup\\_druckversion.html?guid=DQUV8L](http://www.bpb.de/popup/popup_druckversion.html?guid=DQUV8L)

(zuletzt aufgerufen am 26.04.2010)

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Positive und negative Phase der NAO für die Wintermonate. Quelle: <a href="http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/ctl/images/nao.jpg">http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/ctl/images/nao.jpg</a> (zuletzt aufgerufen am 22.06.2010). 12	12
Abbildung 2: Vergleich der Niederschlagsverläufe des DJF aus den DWD- und WettReg-Daten. .... 24	24
Abbildung 3: Niederschlagsverlauf und Mittelwertlinien des hWH aus den DWD- und WettReg-Daten..... 25	25
Abbildung 4: Niederschlagsverlauf und Mittelwertlinien im Q1 aus den DWD- und WettReg-Daten. .... 25	25
Abbildung 5: Vergleich der Gibraltar-NAO-Indices aus ECHAM5- und Beobachtungsdaten im DJF. .... 31	31
Abbildung 6: Vergleich der Azoren-NAO-Indices aus ECHAM5- und Beobachtungsdaten im DJF. .... 31	31
Abbildung 7: Vergleich der Gibraltar-NAO-Indices aus ECHAM5- und Beobachtungsdaten im hWH..... 32	32
Abbildung 8: Vergleich der Azoren-NAO-Indices aus ECHAM5- und Beobachtungsdaten im hWH..... 32	32
Abbildung 9: Vergleich der Gibraltar-NAO-Indices aus berechneten ECHAM5- und Beobachtungsdaten im Q1..... 32	32
Abbildung 10: Vergleich der Azoren-NAO-Indices aus berechneten ECHAM5- und Beobachtungsdaten im Q1..... 32	32
Abbildung 11: DWD-Niederschlag des hWH und WettReg-Niederschlag des hWH, auf den der Skalierungsfaktor mit dem NAO-Index des Q1 aufgeprägt wurde. .... 42	42
Abbildung 12: DWD-Niederschlag des DJF und WettReg-Niederschlag des DJF, auf den der Skalierungsfaktor mit dem NAO-Index des Q1 aufgeprägt wurde. .... 42	42
Abbildung 13: DWD-Niederschlag des Q1 und WettReg-Niederschlag des Q1, auf den der Skalierungsfaktor mit dem NAO-Index des Q1 aufgeprägt wurde. .... 43	43

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Die vier Familien der Klimaszenarien mit den Rubriken homogene Welt/ heterogene Welt und wirtschaftsorientierte Entwicklung/ umweltorientierte Entwicklung.	13
Tabelle 2: Vergleich der Standardabweichungen zwischen den Jahreszeiten und Modell- Beobachtungsdaten. ....	26
Tabelle 3: Vergleich der Maxima.....	27
Tabelle 4: Vergleich der Minima. ....	27
Tabelle 5: Mehrjährigkeit des Niederschlagverlaufs im Vergleich zwischen DWD- und WettReg-Daten für den DJF. ....	28
Tabelle 6: Mehrjährigkeit des Niederschlagverlaufs im Vergleich zwischen DWD- und WettReg-Daten für das hWH. ....	28
Tabelle 7: Mehrjährigkeit des Niederschlagverlaufs im Vergleich zwischen DWD- und WettReg-Daten für das Q1.....	28
Tabelle 8: Standardabweichungen der NAO-Indices von CRU und ECHAM5 für Gibraltar und Azoren. ....	33
Tabelle 9: Vergleich der Maxima.....	34
Tabelle 10: Vergleich der Minima. ....	34
Tabelle 11: Prozentuale Differenz zwischen CRU- und ECHAM5-Werten für die Maxima.....	35
Tabelle 12: Prozentuale Differenz zwischen CRU- und ECHAM5-Werten für die Minima. ....	35
Tabelle 13: Anzahl an Langphasen im DJF um Ähnlichkeiten zwischen CRU und ECHAM5 feststellen zu können. ....	37
Tabelle 14: Anzahl an Langphasen im hWH um Ähnlichkeiten zwischen CRU und ECHAM5 feststellen zu können. ....	38
Tabelle 15: Anzahl an Langphasen im Q1 um Ähnlichkeiten zwischen CRU und ECHAM5 feststellen zu können. ....	40
Tabelle 16: Standardabweichungen der DWD- und WettReg+NAO-Daten.....	44



Tabelle 17: Vergleich der Extrema von WettReg+NAO. DWD- und WettReg-Daten aus dem DJF, NAO-Index aus dem Q1. ....	46
Tabelle 18: Vergleich der Extrema von DWD und WettReg+NAO. DWD- und WettReg-Daten aus dem hWH, NAO-Index aus dem Q1. ....	46
Tabelle 19: Vergleich der Extrema von WettReg+NAO. DWD- und WettReg-Daten aus dem Q1, NAO-Index aus dem Q1. ....	46
Tabelle 20: Vergleich der Mehrjährigkeit von DWD und WettReg+NAO. DWD- und WettReg-Daten aus dem DJF, NAO- Index aus dem Q1. ....	48
Tabelle 21: Vergleich der Mehrjährigkeit von DWD und WettReg+NAO. DWD- und WettReg-Daten aus dem hWH, NAO-Index aus Q1.....	49
Tabelle 22: Vergleich der Mehrjährigkeit von DWD und WettReg+NAO. DWD- und WettReg-Daten aus dem Q1, NAO-Index aus Q1. ....	50