


Vergleich von GCM-simulierten und gemessenen Bodendruckfeldern über dem Nordatlantik und Europa

Markus Kobel*

Nebenfacharbeit
Universität Bern – Geographisches Institut
Klimatologie und Meteorologie
20. August 2002
Betreuer: Dr. Dimitrios Gyalistras



* Markus Kobel, Hindelbankstrasse 21, 3325 Hettiswil, Tel.: 034 4111946, e-mail: kobel@smile.ch, Matrikelnummer: 00-101-568

| | |
|--------------------------------------------------------------|-----------|
| Zusammenfassung | 2 |
| 1 Einleitung | 2 |
| 2 Material und Methoden | 3 |
| 2.1 Daten | 3 |
| 2.2 Vergleichsmethodik | 4 |
| 3 Resultate | 5 |
| 3.1 Vergleich für den gesamten Sektor Nordatlantik/Europa | 5 |
| 3.2 Vergleich für ausgewählte Druckzentren | 6 |
| 3.2.1 Islandtief | 6 |
| 3.2.2 Azorenhoch | 8 |
| 4 Diskussion | 9 |
| 5 Schlussfolgerungen | 12 |
| 6 Literatur | 13 |
| 7 Anhang A – tabellarische Auflistung der Fehlerwerte | 14 |

Zusammenfassung

In dieser Arbeit ging es darum, die Simulation von Felder des langjährig gemittelten monatlichen Bodendrucks von drei verschiedenen Globalen Klimamodellen auf ihre Güte in der Region Nordatlantik und Europa zu untersuchen. Es wurden Schwerpunkte auf die Untersuchung der Simulationen des Islandtiefs und des Azorenhochs gelegt.

Betrachtet wurden die Unterschiede in der Amplitude und in den räumlichen Mustern der monatlichen Felder des langjährig gemittelten Bodendrucks zwischen Modell- und Messdaten.

Von den drei verglichenen Modellen, ECHAM4/OPYC, HadCM3 und CGCM1, lieferte die ECHAM4-Simulation die besten Resultate. Auch das HadCM3 zeigte gute Resultate. Das CGCM1 schnitt bei den Betrachtungen der Unterschiede in der Amplitude mit recht grossem Abstand am schlechtesten ab, wobei das räumliche Muster in den simulierten Feldern für die meisten Monate recht gut wiedergegeben wurde.

1 Einleitung

Globale Klimamodelle (GCM) sind sehr wichtige Werkzeuge, um mögliche zukünftige Veränderungen des globalen Klimas abzuschätzen. Viele wichtige Annahmen und Faktoren, welche die Veränderung des zukünftigen Klimas beeinflussen, werden durch diese Modelle konsistent abgebildet.

GCMs sind jedoch bei weitem nicht fehlerfrei. Deshalb ist es wünschenswert, Aussagen über die Güte dieser Modelle zu haben.

Es wurden bis heute schon einige Vergleiche von GCMs mit Messdaten durchgeführt (z. B. Gates et al. 1999). In diesen Untersuchungen werden Aussagen über die Güte der Modelle lediglich auf der globalen Skala gemacht.

Es wäre sicher auch interessant, wenn man von den einzelnen Modellen Aussagen hätte, wie gut sie das Klima in einigen ausgewählten Regionen, wie zum Beispiel Nordatlantik/Europa, simulieren. Mit einem solchen kleinräumigeren Vergleich könnte man die Modellgüte im Hinblick auf Eigenschaften ermitteln, die für das europäische Klima wichtig sind, aber in den bisherigen Studien, wie zum Beispiel dem 'Atmospheric Model Intercomparison Project' (AMIP), gar nicht beachtet werden.

Im Sektor Nordatlantik/Europa sind das Islandtief (IT) und das Azorenhoch (AH) wohl die augenfälligsten Merkmale der Bodendruckkarte. Diese beiden Druckzentren sind von grosser Bedeutung für das Wetter in diesem ganzen Sektor. Meistens ist die Ausprägung der Druckzentren ähnlich, das heisst, wenn das IT sehr tief ist, so ist das AH meist sehr hoch und andererseits ist ein mässiges IT mit einem schwachen AH verbunden. Das AH ist für uns, vor allem im Sommer, oft der Ausgangspunkt für längere Schönwetterlagen. Ein starkes IT geht mit stärkerer Westwind-Aktivität über Europa und

somit oft mit mehr Niederschlag im Alpenraum einher. Man kann wohl sagen, dass dieses Druckgebilde unser Wetter das ganze Jahr über sehr stark beeinflusst. Deshalb ist es von grossem Interesse, zu wissen, wie gut diese Druckzentren simuliert werden können.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, genau einen solchen Vergleich, für den Sektor Nordatlantik/Europa, durchzuführen. Es werden hier monatlich gemittelte Bodendruckfelder, wie sie von drei ausgewählten GCMs simuliert wurden, mit gemessenen Daten vergleichen. Da sämtliche Rechnungen mit Monatsmittelwerten gemacht wurden, können wir auch die Güte der Modelle in den Übergangsjahreszeiten genauer untersuchen.

2 Material und Methoden

Der Bodendruck wird zwar von anderen Klimafaktoren beeinflusst, aber dennoch nimmt er in der Klimatologie eine Schlüsselposition ein. Die langjährigen mittleren Bodendruckfelder enthalten wichtige Informationen zu den mittleren grossräumigen Luftzirkulationen, Winden, Niederschlägen, Zyklonenhäufigkeiten und Temperaturschwankungen. Auch da der Bodendruck diese wichtige Rolle in der Klimatologie einnimmt und da auch viele gute Messdaten vorhanden sind, wurden für diese Arbeit Bodendruckfelder gewählt.

2.1 Daten

Die drei für diese Arbeit ausgewählten GCMs waren: 'ECMWF Model, modified in HAMBURG/Isopycnal Ocean Model' (ECHAM4/OPYC) (Roeckner et al. 1999), 'Hadley Centre Climate Model 3' (HadCM3) (Gordon et al. 1998) und 'Canadian Global Coupled Model 1' (CGCM1) (Flato et al. 2000, Boer et al. 2000a,b). Als Referenzdaten wurden die Daten von Trenberth's Northern Hemisphere Monthly Sea-Level Pressure (TrenbMSLP)¹ genommen. Alle verfügbaren Daten waren Monatsmittelwerte über die Jahre von 1961 bis 1990. Die Bodendruckfelder wurden in einem Gebiet von 62.5°W bis 62.5°E und 22.5°N bis 82.5°N betrachtet. In dieser Region liegen die beiden Druckzentren IT und AH.

Die Qualität der Messdaten (TrenbMSLP) ist als relativ gut einzuschätzen. Es wurden bis jetzt nur sehr wenige Fehler in diesem Datensatz gefunden². Daher kann man davon ausgehen, dass diese Werte als Referenzdaten genügen.

Die Messdaten wurden auf das selbe Gitter wie die GCMs uminterpoliert. Das heisst, auf ein fünf Grad Breite/Länge Gitter, welches bei (2.5N,2.5E) beginnt und nicht bei (0N,0E). Die Umrechnung wurde mit einer Funktion des 'Procedural INterface for GRIB

¹ <http://dss.ucar.edu/datasets/ds010.1/>

² <http://dss.ucar.edu/datasets/ds010.1/docs/>

3 Resultate

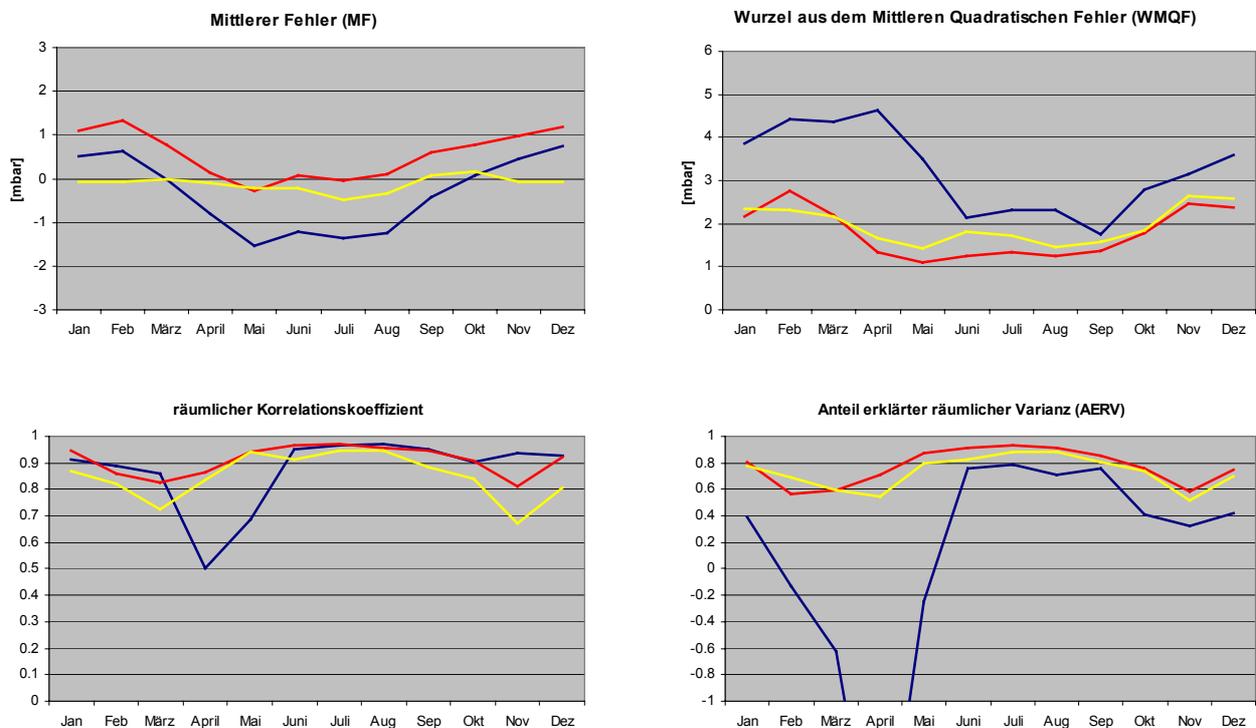
3.1 Vergleich für den gesamten Sektor Nordatlantik/Europa

Die betrachteten Fehlerwerte sind in Figur 3 graphisch dargestellt. Für die genauen Werte sei auf die Tabelle A1 im Anhang A verwiesen.

Bei der Untersuchung des MF lieferten die Daten der HadCM3-Simulation mit einem jährlich gemittelten MF von -0.12 mbar die kleinste Abweichung von den Messdaten. CGCM1 folgte mit -0.35 mbar und beim ECHAM4 ergab es einen Mittelwert von 0.56 mbar. Wobei hier bemerkt werden muss, dass der MF der Daten des CGCM1 im Sommer stark negativ war und im Winter positiv.

Die WMQF der Daten der CGCM1-Simulation lag immer deutlich über denjenigen der anderen beiden Modelle. Die ECHAM4-Simulation lieferte über das ganze Jahr gesehen (ausser im Februar und im März) die besseren Werte als die HadCM3-Simulation. Hier waren die Unterschiede zwischen den Fehlerwerten allerdings ziemlich gering. Alle drei Simulationen lieferten für den Zeitraum Oktober bis April deutlich schlechtere absolute Werte als für die Sommermonate.

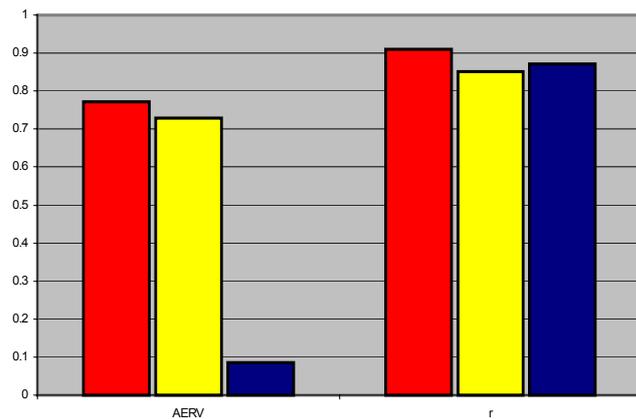
Beim AERV fallen die sehr schlechten Werte für die CGCM1-Simulation auf. Der AERV war für diese Simulation von März bis Mai sogar negativ. Bei allen drei Modellen war der AERV für die Sommermonate ein wenig besser als für die Wintermonate (wie auch die WMQF). Bei der Untersuchung des jährlich gemittelten AERV fällt der sehr



Figur 3: Darstellungen der Fehlerwerte für den gesamten Sektor Nordatlantik/Europa. (für die genauen Werte sei auf Tabelle A1 im Anhang A verwiesen)

ECHAM4 —
HadCM3 —
CGCM1 —

schlechte Wert der CGCM1-Simulation auf, welcher bei 0.09 liegt (Figur 4). Die beiden anderen Modelle lieferten mit über 0.7 gute Resultate.



Figur 4: Darstellung der jährlich gemittelten Werte des Anteils erklärter räumlicher Varianz (AERV) und des räumlichen Korrelationskoeffizienten (r).

ECHAM4 ■
HadCM3 ■
CGCM1 ■

Bei der Betrachtung der räumlichen Korrelationskoeffizienten, welche die Ähnlichkeit der Muster messen, fiel auf, dass die Daten des CGCM1 vor allem im April und im Mai nicht dem Bild der Referenzdaten entsprachen. Die räumlichen Korrelationskoeffizienten, welche die Daten der beiden anderen Modelle ergaben, waren einander ziemlich ähnlich. Beide lieferten ein gutes Bild, wobei auch hier

die ECHAM4-Simulation immer ein wenig besser ist, als die HadCM3-Simulation. Beim Vergleich der jährlich gemittelten Korrelationskoeffizienten waren die Resultate des HadCM3 sogar etwas schlechter als diejenigen des CGCM1 und die der ECHAM4-Simulation (Figur 4).

3.2 Vergleich für ausgewählte Druckzentren

3.2.1 Islandtief

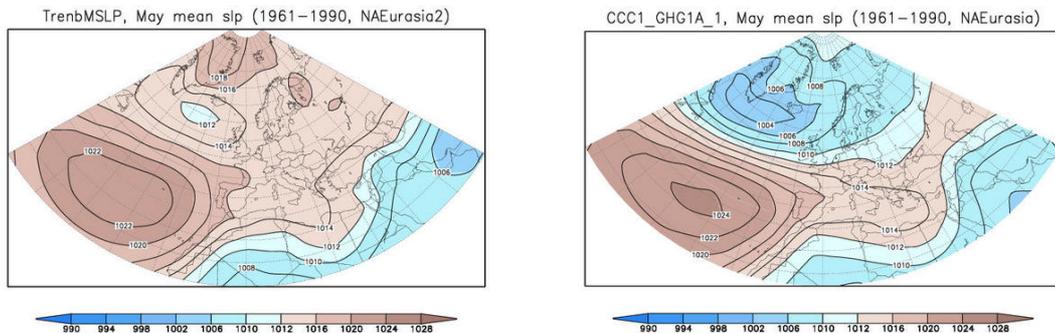
Auch für das Teilgebiet 'Island' sind die betrachteten Fehlerwerte graphisch dargestellt (Figur 6). Für die genauen Werte sei hier auf die Tabelle A2 im Anhang A verwiesen.

Für den MF des CGCM1 wurden für alle Monate recht stark negative Resultate gefunden. Für die beiden anderen Modelle ergaben sich ähnliche Fehlerwerte, wobei das ECHAM4-Modell fast das ganze Jahr über etwas bessere Resultate lieferte als das HadCM3.

Bei der Betrachtung der WMQF wurden in den Monaten von Januar bis Mai sehr grosse Fehler für die CGCM1-Simulation gefunden. Der grösste Fehler entstand mit 5.85 mbar im April. Die WMQF war für alle drei Modelle in den Sommermonaten von Juni bis September deutlich kleiner als im Winter. Der Verlauf der Fehlerkurven, die durch die Daten des ECHAM4-Modells und des HadCM3 berechnet wurden, war fast identisch, wobei die Fehlerwerte für das HadCM3 fast immer etwas grösser waren, als diejenigen der ECHAM4-Simulation.

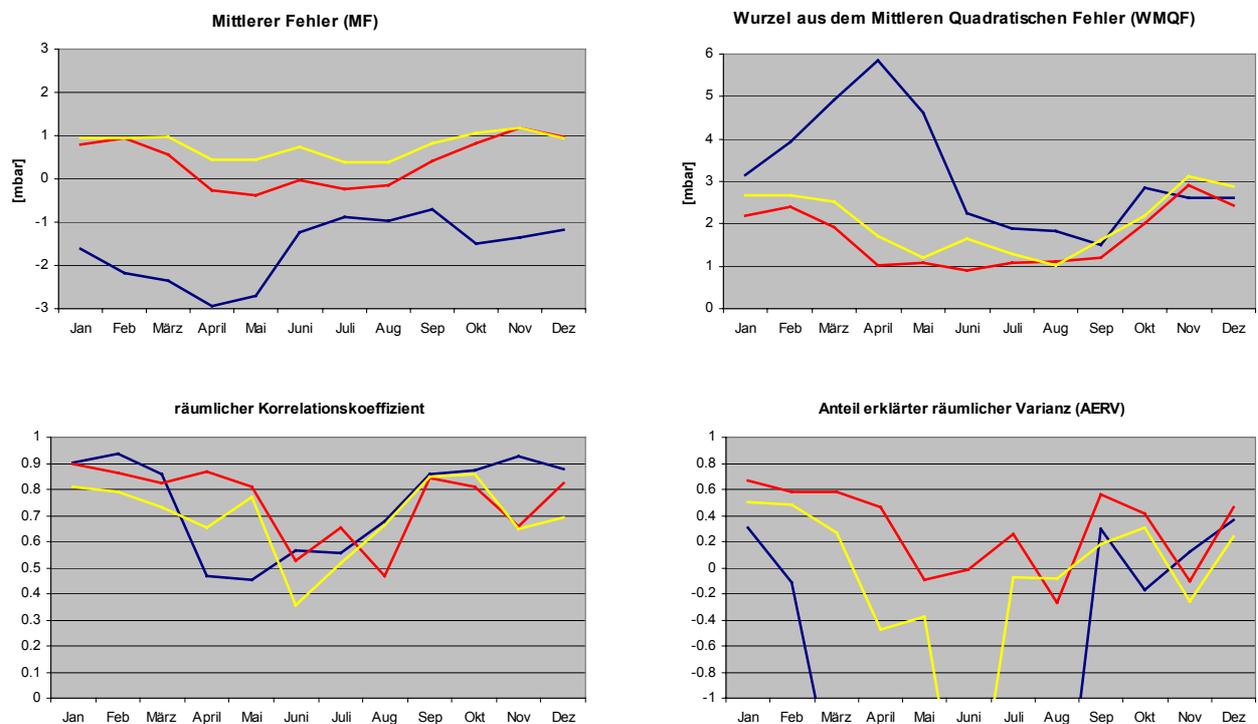
Der AERV ergab für das IT ein völlig anderes Bild, als wir dies beim ganzen Sektor Nordatlantik/Europa gesehen haben. Es gab sehr viele negative Werte, sowohl beim CGCM1, wie auch beim HadCM3. Der schlechteste Wert für die Daten des HadCM3 wurde im Juni mit -2.32 gefunden. Der AERV lag für die CGCM1-Simulation im Mai mit -19.55 beim schlechtesten Wert, der für dieses Mass in dieser Arbeit überhaupt berechnet wurde. Man konnte auch beim Betrachten der Bodendruckfelder sehen, dass

ein sehr schlechter AERV herauskommen könnte. In Figur 5 sind sich die Bodendruckfelder der Messdaten und der Daten der CGCM1-Simulation gegenübergestellt. Man kann sehr gut erkennen, dass das IT vom CGCM1 sehr schlecht simuliert wurde. Beim Vergleich der jährlich gemittelten AERV erreicht nur die ECHAM4-Simulation mit 0.29 einen positiven Wert. Die Daten der HadCM3-Simulation ergaben einen Mittelwert von -0.13 und diejenigen des CGCM1 -3.84.



Figur 5: Bodendruckfelder im Mai. Links ist das Feld nach den Messdaten gezeigt, rechts nach den Daten der CGCM1-Simulation. (Quelle: D. Gyalistras)

Bei der Betrachtung der räumlichen Korrelationskoeffizienten fiel auf, dass hier für die Wintermonate die besseren Daten geliefert wurden. Diese Koeffizienten sind jedoch allgemein schlechter als bei der Betrachtung des gesamten Sektors. Der tiefste Wert erreichen die Daten der HadCM3-Simulation mit 0.35 im Juni. Wenn wir die jährlichen Mittelwerte betrachten, so liegen diese bei 0.69 (HadCM3) beziehungsweise bei 0.75 (ECHAM4 und CGCM1).



Figur 6: Darstellungen der Fehlerwerte für den Bereich des Islandtiefs. (für die genauen Werte sei auf Tabelle A2 verwiesen)

ECHAM4 —
HadCM3 —
CGCM1 —

3.2.2 Azorenhoch

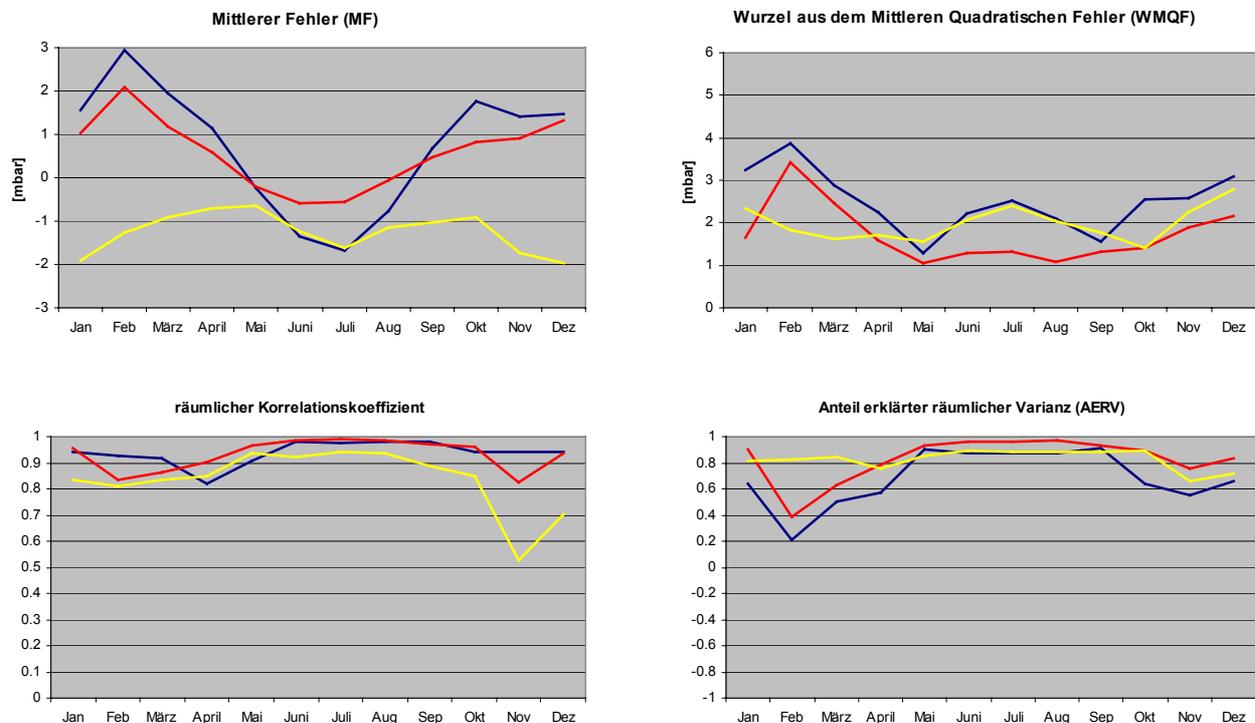
Für das AH sind die betrachteten Fehlerwerte in Figur 7 graphisch dargestellt. Für die genauen Werte sei hier auf die Tabelle A3 im Anhang A verwiesen.

Der Jahresverlauf des MF war hier für die Daten des CGCM1 und der ECHAM4-Simulation ähnlich, wobei das ECHAM4-Modell immer deutlich bessere Resultate lieferte. Für den MF des HadCM3 wurden das ganze Jahr über negative Resultate gefunden. Der jährlich gemittelte MF liegt für die HadCM3-Simulation bei -1.26, für das CGCM1 bei 0.74 und für die ECHAM4-Simulation bei 0.58.

Im Februar und März lieferte das HadCM3 die mit Abstand besten Werte für die WMQF. In den übrigen Monaten wurden für die Daten der ECHAM4-Simulation die kleinsten Fehlerwerte gefunden. Das CGCM1 lieferte nur für den Mai und den September vergleichbar gute Werte.

Der AERV ist hier überall positiv. Die schlechtesten Werte wurden im Februar gefunden (0.21 beim CGCM1). Von Mai bis September lag der AERV bei allen drei Simulationen über 0.8. Mit einem jährlichen Mittelwert von 0.83 lag auch hier das ECHAM4-Modell knapp vor dem HadCM3 mit 0.82. Das CGCM1 schnitt mit 0.68 auch hier am schlechtesten ab.

Die räumlichen Korrelationskoeffizienten waren allgemein sehr gut. Die einzigen Werte unter 0.8 konnten im November und im Dezember für die HadCM3-Simulation berechnet werden. Bei den jährlichen Mittelwerten lag die CGCM1-Simulation mit 0.94 vor dem ECHAM4-Modell mit 0.93 und der HadCM3-Simulation mit 0.84.



Figur 7: Darstellungen der Fehlerwerte für den Bereich des Azorenhochs. (für die genauen Werte sei auf Tabelle A3 verwiesen)

ECHAM4 —
HadCM3 —
CGCM1 —

4 Diskussion

Es ging bei dieser Arbeit nur darum, die simulierten Werte des Bodendrucks mit den Referenzdaten zu vergleichen. Ich habe nicht versucht, auf die Bedeutung der gefundenen Resultate für die Simulation von anderen Variablen, wie Niederschlag oder Zyklonenhäufigkeit, zu schliessen. Dies könnte man tun, würde jedoch mehr als eine solche Arbeit in Anspruch nehmen. Man kann dies auch nicht einfach so tun, denn das Zusammenspiel dieser vielen Faktoren, welche das Klima beeinflussen, ist sehr komplex.

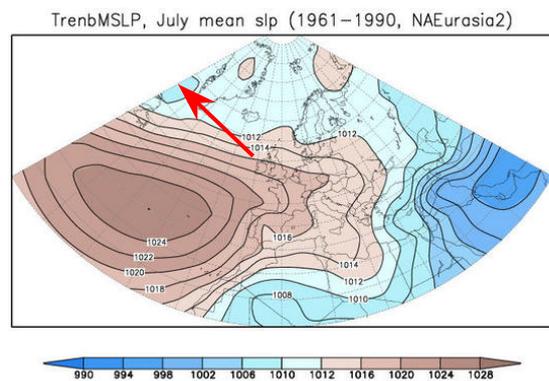
Jedoch schon die Resultate des vorliegenden Vergleiches liefern einige interessante Denkanstösse.

Was sicherlich zuerst noch geklärt werden muss, ist, wie gut wir uns auf die hier verwendeten Daten verlassen dürfen. Auch die Messdaten können Fehler enthalten und somit die Resultate massiv verfälschen. Diese Frage kann ich in dieser Form gar nicht beantworten, denn ich habe keine anderen Messdaten, mit welchen ich allenfalls einen Vergleich machen könnte. Aber es gibt andere Studien, in denen Messdaten miteinander verglichen wurden (z. B. Gates et al. 1999. 43). Dort waren die Fehler zwischen den Messdaten wesentlich kleiner als die systematischen Fehler, welche die Modelle enthalten. Bei den hier verwendeten Referenzdaten kommt noch der bereits erwähnte Fehler dazu, welcher durch die Uminterpolation entstanden ist. Wie gross dieser wirklich ist, ist mir nicht gut bekannt, aber es handelt sich höchstens um einige wenige mbar (D. Gyalistras, persönliche Mitteilung). Das heisst zusammengefasst, dass die für diese Arbeit verwendeten Messdaten genügen sollten und die gewonnenen Aussagen ernst genommen werden können.

Wenn wir die Resultate des gesamten Sektors betrachten und mit denjenigen für die beiden Druckzentren vergleichen, so fällt sofort auf, dass die Fehler im Gesamtbild viel eher von der Simulation des IT her kommen als vom AH. Das AH wird im Vergleich mit dem IT sehr gut simuliert. Es ist wohl schwieriger, dieses dynamisches Tiefdruckgebiet über Island zu simulieren, als das eher träge Hochdruckgebiet über den Azoren. Dies sieht man ganz klar, wenn man die Werte des AERV und die Korrelationskoeffizienten in Figur 6 betrachtet. Man kann dort kaum irgend einen allgemeinen Verlauf der Kurven erkennen.

Ein interessantes Resultat im Bereich des AH ist, dass die Fehlerwerte für das CGCM1 in den Monaten von September bis Mai prinzipiell den gleichen Verlauf haben, wie diejenigen des ECHAM4 und von Mai bis September entspricht er demjenigen der Fehlerwerte des HadCM3. Das heisst mit anderen Worten, dass das ECHAM4-Modell für das AH im Winter dieselben Simulationsfehler macht, wie das CGCM1. Dasselbe gilt für das HadCM3 im Sommer. Warum dies so ist, kann ich nicht sagen. Die Beantwortung dieser Frage würde ein intensives Studium der Modelle voraussetzen und recht viel Zeit in Anspruch nehmen.

Bei der Untersuchung des IT sieht man bei der Betrachtung des MF und der WMQF, dass diese Fehlerwerte der drei Simulationen in den Monaten Juni bis August näher beieinander liegen als in den restlichen Monaten. Dies könnte daran liegen, dass sich das Zentrum des IT in diesen Monaten stark nach Westen verlagert und somit fast aus dem betrachteten Sektor heraus rutscht (Wanner et al. 2000. 38ff). Somit werden die wirklich tiefen Druckwerte, welche oft einen grossen Fehler verursachen, hier gar nicht mehr in die Rechnungen einbezogen. (Figur 8)



Figur 8: Bodendruckfeld nach den Messdaten im Juli. Das Zentrum des Islandtiefs verschiebt sich westwärts. (Quelle: D. Gyalistras)

Hier liegt wohl ein Problem der gewählten Daten. Man hätte eventuell den betrachteten Sektor etwas nach Westen ausdehnen sollen, damit das IT das ganze Jahr über vollständig darin liegen würde. Man hätte aber den Sektor auch nach Osten ausdehnen sollen, damit man das in Figur 1 erwähnte dritte Teilgebiet anders hätte definieren können und somit eine Aussage über das Verhalten der Modelle im Bereich des Kontinentalhochs (beziehungsweise –tiefs im Sommer) erhalten hätte. Denn auch dieses Druckzentrum hat einen grossen Einfluss auf das Klima in Europa und wäre sicherlich eine Untersuchung wert.

Das wohl auffälligste Resultat in dieser Arbeit ist der riesige Fehler, der die CGCM1-Simulation für die Monate März bis Mai beim IT liefert (Figur 6). Das heisst, gerade für die Übergangsjahreszeit könnte das Modell noch massiv verbessert werden. Warum entsteht nun ein solch grosser Fehler? Dies ist eine sehr schwierige Frage, da auch hier eine intensive Auseinandersetzung mit dem Modell hilfreich sein würde, welche aber den Rahmen dieser Arbeit bei weitem sprengen würde. Da Tiefdruckgebiete immer sehr dynamische Gebilde sind, ist es sehr schwierig, diese zu simulieren. Gerade das CGCM1 liefert ja zum Teil sehr extreme Werte. Dies könnte daher kommen, dass sich das Meereis in dieser Simulation im Frühling über ein viel zu kleines Gebiet ausdehnt, zum Beispiel aufgrund zu rascher Schmelze mit zunehmender Tageslänge (D. Gyalistras, persönliche Mitteilung). Denn eine vereiste (und somit kalte) Oberfläche hat eine stabilisierende Wirkung auf die darüberliegende Luftsäule (siehe auch Wanner et al. 2000. 20ff).

Das CGCM1 ist allgemein gesehen weniger gut als die beiden anderen Modelle. Die Unterschiede im Muster wären nicht allzu gross, wobei auch dort für April und Mai ziemlich schlechte Resultate erhalten wurden. Die schlechteren Resultate in diesen Monaten hängen vor allem mit der falschen Simulation des IT zusammen, denn dass AH wird vom CGCM1 recht gut simuliert (Figur 7). Die Daten des CGCM1 sind meistens zu extrem, das heisst, tiefe Bodendruckwerte werden zu tief simuliert und hohe Werte

zu hoch. Dagegen liefert die ECHAM4-Simulation fast überall sehr gute Daten. Dieses allgemein gute Verhalten des ECHAM4-Modells wird auch durch die Resultate des AMIP bestätigt (Gates et al. 1999). Die HadCM3-Simulation ordnet sich wohl irgendwo zwischen den beiden anderen ein. Diese Simulation hat bei den Mustern zum Teil grössere Fehler, wogegen die Unterschiede in der Amplitude gegenüber den Messdaten meist nur unbedeutend schlechter sind als diejenigen der ECHAM4-Simulation.

Da ich hier die Simulationen der Bodendruckfelder nur in der Region Nordatlantik/Europa betrachte, könnte es sein, dass das 'Hadley Center' in Grossbritannien und das 'Max-Planck-Institut' in Deutschland vielleicht schon bei der Entwicklung ihrer Modelle mehr Wert auf die Simulation des IT und AH gelegt haben als das 'Canadian Center for Climate Modelling and Analysis' und ihre Modelle liefern deshalb in dieser Region die besseren Werte. Diese beiden Druckzentren haben ja wie bereits erwähnt, einen sehr grossen Einfluss auf das Klima in Europa und sind deshalb von den europäischen Forschungszentren eventuell stärker berücksichtigt worden als von der kanadischen Universität, welche das CGCM1 entwickelt hat.

Mittlerweile gibt es das CGCM2. Diese Arbeit sollte dieses Modell ursprünglich gar nicht beachten. Es wäre jedoch interessant, zu wissen, ob das CGCM1 nun effektiv verbessert wurde. Die Fehlermasse für das CGCM2-Modell sind im Anhang A zu finden. Es zeigte sich tatsächlich, dass das CGCM2 fast überall die besseren Daten liefert als das CGCM1. Aber die schlimmsten Fehler treten auch dort immer noch auf, denn die Extrema der Fehlerwerte liegen immer noch an den selben Orten. Allerdings sind die Absolutwerte der Fehler schon etwas kleiner geworden, was auf eine allgemeine Verbesserung des Modells hinweist.

Dass das AH und das IT von GCMs im Allgemeinen recht gut simuliert wird, wurde auch durch andere Studien bestätigt. Obschon dort ziemlich grosse Unterschiede in der Amplitude vorkommen können, sind doch die Muster im Allgemeinen recht gut (Covey et al. 2001). Dies zeigt uns auch das CGCM1 sehr deutlich; das Muster wäre nicht schlecht, aber die Amplitudenunterschiede sind gewaltig. Diese Amplitudenunterschiede schlagen sich dann auch massiv im WMQF nieder. Auch in dieser Arbeit kann man immer wieder feststellen, dass es wohl einfacher ist, das Muster der Messdaten zu treffen, als deren absoluten Werte. Der räumliche Korrelationskoeffizient ist schliesslich nirgends extrem schlecht, der AERV aber schon. Dies könnte damit zusammenhängen, dass der turbulente Austausch von Energie, Masse und Impuls, der unser tägliches Wetter und somit auch das Bodendruckfeld prägt, auf der Zeitskala von Jahrzehnten durch mehr oder weniger lineare Gesetzmässigkeiten approximiert werden kann. Der grossräumige, langjährig gemittelte Bodendruck (gemessen in absoluten Einheiten) beschreibt den mittleren Zustand oder "Arbeitspunkt" dieses Systems, während die Form der Bodendruckmuster vor allem typische Tendenzen oder "Gradienten" abbildet. Bei einem näherungsweise linearen

System wäre denn auch zu erwarten, dass solche Gradienten, die praktisch unabhängig vom Arbeitspunkt sind, besser als der Arbeitspunkt selber simuliert werden. (D. Gyalistras, persönliche Mitteilung)

5 Schlussfolgerungen

Das ECHAM4-Modell ist für die betrachtete Region über alles gesehen wohl das beste Modell. Für die WMQF wurden bei diesem Modell die besten Resultate gefunden und das AH und das IT werden von ihm am besten simuliert. Auch wenn wir die Korrelationskoeffizienten vergleichen, schneidet das ECHAM4-Modell am besten ab.

Die HadCM3-Simulation zeigte den kleinsten MF und simuliert den Bereich des östlichen Mittelmeeres bis zum Ural am besten. Auch dieses Modell ist für den betrachteten Sektor durchaus brauchbar.

Das CGCM1 liefert oft ein recht gutes Muster, wobei die einzelnen Werte meist viel zu extrem sind. Das heisst, oft wird ein viel zu tiefes IT simuliert, aber auch ein viel zu hohes AH. Das AH wird vom CGCM1 recht gut simuliert, das IT dafür sehr schlecht.

6 Literatur

- W. Lawrence Gates, James S. Boyle, Curt Covey, Clyde G. Dease, Charles M. Doutriaux, Robert S. Drach, Michael Fiorino, Peter J. Gleckler, Justin J. Hnilo, Susan M. Marlais, Thomas J. Phillips, Gerald L. Potter, Benjamin D. Santer, Kenneth R. Sperber, Karl E. Taylor, Dean N. Williams (1999). An Overview of the Results of the Atmospheric Model Intercomparison Project (AMIP I). *Bulletin of the American Meteorological Society* 80(1): 29-56.
- Wanner, H., Gyalistras, D., Luterbacher, J., Rickli, R., Salvisberg, E. & Schmutz, C. (2000). *Klimawandel im Schweizer Alpenraum*. vdf, Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.
- J. Waszkewitz, P. Lenzen and Nathan Gillet (2001). The PINGO package. Max-Planck Institute for Meteorology.
- Roeckner E., Bengtsson, L., Feichter, J., Lelieveld J. and Rodhe, H. (1999). Transient climate change simulations with a coupled atmosphere-ocean GCM including the tropospheric sulfur cycle. *J. Climate*, 12, 3004-3032.
- Gordon, C., Cooper, C., Senior, C.A., Banks, H., Gregory, J.M., Johns, T.C., Mitchell, J.F.B. and Wood, R.A. (2000). The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. *Climate Dynamics*, 16, 147-168.
- Flato, G.M., Boer, G.J., Lee, W.G., McFarlane, N.A., Ramsden, D., Reader, M.C., and Weaver, A.J., (2000). The Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis Global Coupled Model and its Climate. *Climate Dynamics*, 16, 451-467.
- Boer, G.J., Flato, G.M., Reader, M.C., and Ramsden, D. (2000a). A transient climate change simulation with greenhouse gas and aerosol forcing: experimental design and comparison with the instrumental record for the 20th century. *Climate Dynamics*, 16, 405-425.
- Boer, G.J., Flato, G.M., and Ramsden, D., (2000b). A transient climate change simulation with greenhouse gas and aerosol forcing: projected climate for the 21st century. *Climate Dynamics*, 16, 427-450.
- Covey, C., Jousaume, S., Kattsov, V., Kitoh, A., Ogana, W., Pitman, A.J., Weaver, A.J., Wood, R.A., Zhao, Z.-C. (2001). 8.7.5 The North Atlantic Oscillation (NAO) and the Arctic Oscillation (AO). In: *Climate Change 2001: The Scientific Basis - Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. <http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/308.htm> (20. August 2002)

7 Anhang A – tabellarische Auflistung der Fehlerwerte

| ECHAM4 | Jan | Feb | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug | Sep | Okt | Nov | Dez |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| MF | 1.11 | 1.34 | 0.77 | 0.13 | -0.27 | 0.06 | -0.06 | 0.10 | 0.59 | 0.78 | 0.99 | 1.19 |
| WMQF | 2.16 | 2.75 | 2.19 | 1.33 | 1.10 | 1.26 | 1.35 | 1.26 | 1.38 | 1.79 | 2.46 | 2.37 |
| AERV | 0.81 | 0.57 | 0.59 | 0.71 | 0.88 | 0.92 | 0.93 | 0.91 | 0.85 | 0.76 | 0.59 | 0.75 |
| r | 0.95 | 0.86 | 0.83 | 0.87 | 0.94 | 0.96 | 0.97 | 0.96 | 0.95 | 0.91 | 0.81 | 0.92 |
| HadCM3 | Jan | Feb | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug | Sep | Okt | Nov | Dez |
| MF | -0.07 | -0.06 | -0.01 | -0.10 | -0.21 | -0.22 | -0.48 | -0.33 | 0.08 | 0.15 | -0.07 | -0.08 |
| WMQF | 2.34 | 2.32 | 2.18 | 1.66 | 1.43 | 1.83 | 1.73 | 1.47 | 1.56 | 1.85 | 2.65 | 2.59 |
| AERV | 0.78 | 0.69 | 0.59 | 0.55 | 0.79 | 0.82 | 0.88 | 0.88 | 0.81 | 0.74 | 0.52 | 0.70 |
| r | 0.87 | 0.82 | 0.73 | 0.84 | 0.94 | 0.91 | 0.94 | 0.95 | 0.88 | 0.84 | 0.67 | 0.81 |
| CGCM1 | Jan | Feb | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug | Sep | Okt | Nov | Dez |
| MF | 0.51 | 0.63 | -0.01 | -0.81 | -1.54 | -1.22 | -1.37 | -1.25 | -0.41 | 0.08 | 0.46 | 0.75 |
| WMQF | 3.87 | 4.44 | 4.36 | 4.63 | 3.50 | 2.14 | 2.31 | 2.31 | 1.75 | 2.79 | 3.14 | 3.60 |
| AERV | 0.39 | -0.13 | -0.62 | -2.54 | -0.24 | 0.76 | 0.79 | 0.71 | 0.76 | 0.41 | 0.33 | 0.42 |
| r | 0.91 | 0.89 | 0.86 | 0.50 | 0.69 | 0.95 | 0.97 | 0.97 | 0.95 | 0.90 | 0.94 | 0.93 |
| CGCM2 | Jan | Feb | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug | Sep | Okt | Nov | Dez |
| MF | 0.79 | 0.90 | 0.63 | -0.22 | -0.77 | -0.78 | -0.77 | -0.41 | 0.08 | 0.24 | 0.75 | 1.18 |
| WMQF | 3.61 | 4.50 | 3.63 | 3.77 | 2.47 | 1.63 | 1.76 | 1.56 | 1.20 | 1.68 | 2.31 | 3.11 |
| AERV | 0.47 | -0.16 | -0.12 | -1.34 | 0.38 | 0.86 | 0.88 | 0.87 | 0.89 | 0.79 | 0.63 | 0.57 |
| r | 0.94 | 0.89 | 0.86 | 0.56 | 0.76 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.95 | 0.93 | 0.95 | 0.94 |

Tabelle A1: Auswertung für den gesamten Sektor. MF = Mittlerer Fehler in mbar. WMQF = Die Wurzel aus dem Mittleren Quadratischen Fehler in mbar. AERV = Anteil erklärter räumlicher Varianz. r = Korrelationskoeffizient.

| ECHAM4 | Jan | Feb | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug | Sep | Okt | Nov | Dez |
|---------------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| MF | 0.80 | 0.95 | 0.56 | -0.26 | -0.39 | -0.02 | -0.24 | -0.14 | 0.41 | 0.82 | 1.19 | 0.97 |
| WMQF | 2.18 | 2.41 | 1.91 | 1.03 | 1.07 | 0.91 | 1.07 | 1.11 | 1.19 | 2.01 | 2.92 | 2.42 |
| AERV | 0.67 | 0.58 | 0.58 | 0.46 | -0.09 | -0.01 | 0.26 | -0.27 | 0.56 | 0.42 | -0.10 | 0.46 |
| r | 0.90 | 0.86 | 0.82 | 0.87 | 0.81 | 0.53 | 0.65 | 0.47 | 0.84 | 0.81 | 0.66 | 0.82 |
| HadCM3 | Jan | Feb | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug | Sep | Okt | Nov | Dez |
| MF | 0.94 | 0.93 | 0.96 | 0.44 | 0.45 | 0.74 | 0.38 | 0.37 | 0.83 | 1.07 | 1.17 | 0.95 |
| WMQF | 2.67 | 2.68 | 2.52 | 1.70 | 1.20 | 1.65 | 1.28 | 1.02 | 1.63 | 2.19 | 3.12 | 2.88 |
| AERV | 0.50 | 0.48 | 0.27 | -0.47 | -0.38 | -2.32 | -0.07 | -0.08 | 0.18 | 0.31 | -0.25 | 0.24 |
| r | 0.81 | 0.79 | 0.73 | 0.65 | 0.77 | 0.35 | 0.52 | 0.66 | 0.85 | 0.86 | 0.65 | 0.69 |
| CGCM1 | Jan | Feb | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug | Sep | Okt | Nov | Dez |
| MF | -1.60 | -2.18 | -2.35 | -2.95 | -2.71 | -1.24 | -0.88 | -0.98 | -0.70 | -1.49 | -1.36 | -1.16 |
| WMQF | 3.16 | 3.93 | 4.92 | 5.85 | 4.63 | 2.24 | 1.89 | 1.84 | 1.51 | 2.86 | 2.61 | 2.62 |
| AERV | 0.30 | -0.12 | -1.79 | -16.52 | -19.55 | -5.13 | -1.32 | -2.52 | 0.30 | -0.17 | 0.12 | 0.37 |
| r | 0.90 | 0.94 | 0.86 | 0.47 | 0.45 | 0.57 | 0.56 | 0.68 | 0.86 | 0.87 | 0.93 | 0.88 |
| CGCM2 | Jan | Feb | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug | Sep | Okt | Nov | Dez |
| MF | -1.47 | -2.05 | -1.43 | -2.00 | -1.54 | -0.97 | -0.28 | -0.06 | 0.19 | -0.56 | -0.53 | -0.41 |
| WMQF | 2.76 | 3.72 | 3.50 | 4.57 | 3.17 | 1.78 | 1.45 | 1.19 | 1.09 | 1.33 | 1.39 | 1.81 |
| AERV | 0.47 | 0.00 | -0.41 | -9.68 | -8.67 | -2.85 | -0.37 | -0.46 | 0.63 | 0.74 | 0.75 | 0.70 |
| r | 0.94 | 0.94 | 0.85 | 0.47 | 0.39 | 0.69 | 0.40 | 0.38 | 0.80 | 0.93 | 0.94 | 0.88 |

Tabelle A2: Auswertung für den Bereich des Islandtiefs. MF = Mittlerer Fehler in mbar. WMQF = Die Wurzel aus dem Mittleren Quadratischen Fehler in mbar. AERV = Anteil erklärter räumlicher Varianz. r = Korrelationskoeffizient.

| ECHAM4 | Jan | Feb | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug | Sep | Okt | Nov | Dez |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| MF | 1.02 | 2.09 | 1.18 | 0.60 | -0.22 | -0.58 | -0.56 | -0.05 | 0.46 | 0.83 | 0.92 | 1.32 |
| WMQF | 1.65 | 3.41 | 2.47 | 1.60 | 1.06 | 1.28 | 1.33 | 1.07 | 1.31 | 1.40 | 1.89 | 2.15 |
| AERV | 0.91 | 0.39 | 0.63 | 0.79 | 0.93 | 0.96 | 0.96 | 0.97 | 0.93 | 0.89 | 0.76 | 0.83 |
| r | 0.96 | 0.83 | 0.86 | 0.90 | 0.97 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.97 | 0.96 | 0.83 | 0.94 |
| HadCM3 | Jan | Feb | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug | Sep | Okt | Nov | Dez |
| MF | -1.92 | -1.26 | -0.91 | -0.70 | -0.64 | -1.24 | -1.61 | -1.14 | -1.04 | -0.91 | -1.73 | -1.96 |
| WMQF | 2.33 | 1.84 | 1.61 | 1.72 | 1.55 | 2.07 | 2.39 | 2.05 | 1.76 | 1.42 | 2.26 | 2.80 |
| AERV | 0.81 | 0.82 | 0.84 | 0.75 | 0.86 | 0.89 | 0.89 | 0.88 | 0.88 | 0.89 | 0.66 | 0.71 |
| r | 0.83 | 0.81 | 0.83 | 0.85 | 0.94 | 0.92 | 0.94 | 0.94 | 0.89 | 0.85 | 0.52 | 0.70 |
| CGCM1 | Jan | Feb | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug | Sep | Okt | Nov | Dez |
| MF | 1.57 | 2.94 | 1.93 | 1.15 | -0.22 | -1.34 | -1.68 | -0.77 | 0.66 | 1.78 | 1.40 | 1.46 |
| WMQF | 3.24 | 3.87 | 2.87 | 2.26 | 1.30 | 2.21 | 2.51 | 2.11 | 1.56 | 2.55 | 2.59 | 3.08 |
| AERV | 0.64 | 0.21 | 0.50 | 0.58 | 0.90 | 0.87 | 0.87 | 0.87 | 0.91 | 0.64 | 0.55 | 0.65 |
| r | 0.94 | 0.93 | 0.92 | 0.82 | 0.91 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.94 | 0.94 | 0.94 |
| CGCM2 | Jan | Feb | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug | Sep | Okt | Nov | Dez |
| MF | 2.64 | 3.64 | 2.31 | 1.33 | -0.20 | -0.99 | -1.63 | -0.44 | 0.20 | 0.83 | 1.39 | 2.02 |
| WMQF | 3.60 | 4.50 | 2.99 | 2.14 | 1.17 | 1.57 | 2.27 | 1.74 | 1.05 | 1.75 | 2.28 | 3.21 |
| AERV | 0.56 | -0.06 | 0.46 | 0.62 | 0.92 | 0.94 | 0.90 | 0.91 | 0.96 | 0.83 | 0.65 | 0.62 |
| r | 0.96 | 0.92 | 0.93 | 0.85 | 0.94 | 0.99 | 0.97 | 0.97 | 0.98 | 0.94 | 0.95 | 0.95 |

Tabelle A3: Auswertung für den Bereich des Azorenhochs. MF = Mittlerer Fehler in mbar. WMQF = Die Wurzel aus dem Mittleren Quadratischen Fehler in mbar. AERV = Anteil erklärter räumlicher Varianz. r = Korrelationskoeffizient.

| ECHAM4 | Jan | Feb | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug | Sep | Okt | Nov | Dez |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| MF | 2.09 | 1.38 | 0.78 | 0.57 | -0.01 | 1.18 | 1.14 | 0.99 | 1.26 | 0.61 | 0.52 | 1.62 |
| WMQF | 2.66 | 2.61 | 2.48 | 1.62 | 1.24 | 1.88 | 1.94 | 1.78 | 1.87 | 1.60 | 1.61 | 2.53 |
| AERV | 0.74 | 0.59 | 0.19 | 0.71 | 0.94 | 0.91 | 0.93 | 0.92 | 0.80 | 0.83 | 0.88 | 0.78 |
| r | 0.97 | 0.84 | 0.57 | 0.85 | 0.97 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.96 | 0.93 | 0.91 | 0.94 |
| HadCM3 | Jan | Feb | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug | Sep | Okt | Nov | Dez |
| MF | -0.34 | -1.15 | -1.48 | -0.78 | -1.46 | -1.49 | -1.28 | -1.16 | -0.45 | -0.92 | -1.22 | -0.38 |
| WMQF | 0.97 | 1.76 | 1.82 | 1.45 | 1.80 | 1.92 | 1.74 | 1.56 | 0.98 | 1.21 | 1.51 | 0.94 |
| AERV | 0.97 | 0.81 | 0.56 | 0.77 | 0.87 | 0.91 | 0.95 | 0.94 | 0.94 | 0.91 | 0.89 | 0.97 |
| r | 0.98 | 0.88 | 0.46 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.96 | 0.82 | 0.86 | 0.99 |
| CGCM1 | Jan | Feb | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug | Sep | Okt | Nov | Dez |
| MF | 4.90 | 5.25 | 3.79 | 2.42 | -0.12 | -1.01 | -2.33 | -2.66 | -1.08 | 2.09 | 4.19 | 5.04 |
| WMQF | 5.92 | 6.15 | 4.37 | 2.93 | 1.20 | 1.69 | 2.97 | 3.44 | 2.47 | 2.93 | 4.75 | 5.88 |
| AERV | -0.29 | -1.26 | -1.53 | 0.06 | 0.94 | 0.93 | 0.84 | 0.72 | 0.65 | 0.44 | -0.06 | -0.19 |
| r | 0.94 | 0.88 | 0.72 | -0.27 | 0.64 | 0.97 | 0.99 | 0.98 | 0.92 | 0.84 | 0.95 | 0.97 |
| CGCM2 | Jan | Feb | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug | Sep | Okt | Nov | Dez |
| MF | 4.50 | 5.30 | 4.03 | 2.60 | 0.61 | 0.04 | -0.95 | -1.34 | -0.40 | 1.63 | 3.41 | 4.43 |
| WMQF | 5.30 | 6.16 | 4.62 | 3.02 | 1.25 | 1.22 | 1.76 | 2.10 | 1.62 | 2.32 | 3.87 | 5.15 |
| AERV | -0.03 | -1.27 | -1.82 | 0.00 | 0.94 | 0.96 | 0.95 | 0.90 | 0.85 | 0.65 | 0.30 | 0.09 |
| r | 0.95 | 0.87 | 0.72 | -0.11 | 0.82 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.96 | 0.90 | 0.97 | 0.97 |

Tabelle A4: Auswertung für den Bereich des östlichen Mittelmeers bis zum Ural. MF = Mittlerer Fehler in mbar. WMQF = Die Wurzel aus dem Mittleren Quadratischen Fehler in mbar. AERV = Anteil erklärter räumlicher Varianz. r = Korrelationskoeffizient.