

# Computersimulationen zum atlantischen Atmosphäre/Ozean-System (ATMOS, Atlantic Model Studies), (Modul B)

## Schlussbericht zu Nr. 3.2

Kiel, 22. April 2016

**Anlage 2**  
(zu Nr. 3.2 BNBEST-BMBF 98)

Zuwendungsempfänger (ZE): GEOMAR  
Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel  
Wischhofstr. 1-3  
24148 Kiel

Ansprechpartner beim ZE: Prof. Dr. Richard J. Greatbatch  
Telefon: +49 431 / 600 4000  
E-Mail: rgreatbatch@geomar.de

Förderkennzeichen: 01LP1152A

## I. Kurze Darstellung

### 1. Aufgabenstellung

The objective of ATMOS was "To investigate atmosphere-ocean coupling over the Gulf Stream and the North Atlantic Current and assess the impact of this coupling on decadal climate variability and its importance for decadal predictions".

### 2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

The project was based at the GEOMAR Helmholtz Zentrum für Ozeanforschung Kiel, an excellent research environment.

### 3. Planung und Ablauf des Vorhabens

The project was planned and implemented by Prof. Dr. Richard Greatbatch in cooperation with Prof. Noel Keenlyside from the University of Bergen (Prof. Keenlyside moved from Kiel to Bergen in 2011 at the start of the project).

### 4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

There is a long history of interest in the possible impact of the Gulf Stream Extension and North Atlantic Current systems on the atmosphere and the possibility of harnessing sea surface temperature (SST) variability in the area for making seasonal and decadal predictions of the

climate over Europe going back to the work of Namias (1964, 1973) , Ratcliffe and Murray (1970) , Rodwell and Folland (2002) and the modeling work of Palmer and Sun (1985) and Rodwell et al. (1999). Recently, interest has been revived by results from Minobe et al. (2008) who show the importance of resolving the Gulf Stream front in the lower boundary condition seen by an atmospheric model. A related issue is the North Atlantic cold bias, a ubiquitous feature of coupled atmosphere/ocean models, and the associated negative impact on model performance (Scaife et al., 2011; Keeley et al., 2012).

## 5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

The project involved Prof. Keenlyside from the University of Bergen.

## II. Eingehende Darstellung

### 1. Verwendung der Zuwendung und erzieltes Ergebnis im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Analysis was performed of a 5 member ensemble of a T106 version of ECHAM5 driven by HadISST from 1870-2007 and the results have been published in Hand et al. (2014). The model has 31 levels in the vertical and a top at 10 hPa. The results show that a significant fraction of the convective precipitation over and to the south of the Gulf Stream in the model can be explained by the variability of the underlying SST, especially in summer. A companion experiment was also carried out in which a warm SST anomaly derived from the precipitation time series is added to the background SST climatology. This experiment shows that it is the local SST that drives the precipitation variability over the Gulf Stream and that enhanced evaporation associated with the warm SST anomaly plays an important role. In summer there is an enhanced local SLP minimum, a concentrated band of low level convergence on the south side of the Gulf Stream front, deep upward motion and enhanced precipitation centered on the south side of the Gulf Stream, as in Minobe et al. (2008). In winter, there is also enhanced precipitation, but a direct connection to deep vertical upward motion is not found. Nearly all of the anomalous precipitation in winter is connected to passing atmospheric fronts. In summer the connection between precipitation and atmospheric fronts is weaker, but still important. The winter response also shows a large-scale atmospheric circumpolar wave pattern reminiscent of Branstator (2002) and not unlike that reported by Palmer and Sun (1985). Using satellite rainfall products as a surrogate for diabatic heating over the Gulf Stream, Dahlke (2015) finds a similar circumpolar wave pattern in reanalysis for the post-1980 period (the satellite era). Herr Dahlke worked as a Student Assistant (paid for by ATMOS) with Prof. Dr. Greatbatch and wrote a Masters thesis on the topic.

A comparison between ECHAM5 model ensembles of different resolution was also carried out. Here the underlying SST is the high resolution NOAA-OI satellite-derived product for the period 1982-2009. The model resolutions that were analysed are T31L19, T42L19, T42L31, T63L19,

T63L31, T106L31, T159L31 and T213L31, ranging from T31 to T213 in horizontal resolution and from 19 to 31 levels in the vertical. Results indicate that the intensity, tilt and northeastward extension of the North Atlantic storm track depends on resolution. Likewise, total precipitation over the Gulf Stream region shows a strong dependence on resolution. The focusing of the band of precipitation along the path of the Gulf Stream becomes more and more apparent as the resolution is increased and it is only in the highest resolution case (T213) that the anchoring of the precipitation band to the Gulf Stream, as in Minobe et al. (2008), can be seen. The dependence on resolution is particularly noticeable in summer but is also evident in winter when a sharp precipitation maximum just to the south of the Gulf Stream path can be seen. The anchoring of the precipitation band to the location of the Gulf Stream front in the highest resolution (T213L31) case points to the importance of mitigating the misplacement of the Gulf Stream and the North Atlantic Current and the associated cold bias in coupled climate models. It should be noted that this bias is a ubiquitous feature of coupled atmosphere/ocean/sea-ice models, including MPI-ESM. The resolution study appears as a chapter in Hand (2015).

An analysis has also been carried out on some MPI-ESM model runs that formed part of CMIP5. The first of these model runs is an historical run from 1850 to 2005 and second is a projection using the IPCC RCP 8.5 scenario extending up to 2300. The MPI-ESM results were interpreted using a suite of experiments run using ECHAM6 in stand-alone mode and using different specifications for sea surface temperature. The analysis forms part of Ralf Hand's Ph.D. thesis (Hand, 2015) and is currently being written up for publication. The results show that the change in the position of the Gulf Stream front has a significant impact on the precipitation pattern in the future projection compared to the historical run. For example, there is a local reduction of mean precipitation on the south side of the Gulf Stream front in the future scenario compared to the historical run, despite the warming of sea surface temperature there. This reduction can be associated with the northward movement of the Gulf Stream front from the historical to the future scenario and is consistent with results reported by Minobe et al. (2008). It was found, nevertheless, that the difference in the large-scale circulation over the North Atlantic from the historical to the future scenario is controlled mostly by the large scale warming.

We have also explored the use of a "flow field correction" technique to alleviate the North Atlantic cold bias in coupled climate models. The cold bias is associated with the misplacement of the Gulf Stream and the North Atlantic Current in models and the "flow field correction" attempts to alleviate the bias by adjusting these currents to a realistic location. We have tested the technique using the Kiel Climate Model with some success (Drews et al., 2015) and plan to further test this technique using the MPI-ESM during MiKlip2. Given that many authors have claimed that SST anomalies in the region of the cold bias have an important influence on the overlying atmosphere (e.g. Rodwell and Folland, 2002), we anticipate that alleviating the cold bias in the MiKlip system will lead to improved forecast skill over the North Atlantic sector.

## 2. Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Es wird auf den Verwendungsnachweis verwiesen.

## 3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

The work that has been carried out is entirely consistent with the original proposal and makes an important contribution to MiKlip through improving our understanding of the role of the Gulf Stream and the North Atlantic Current in the climate system and in the models we use for prediction.

## 4. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

The results are important for the next phase of MiKlip, partly for clarifying the sensitivity of model results to the representation of the Gulf Stream in the models and partly through the development of the “flow field correction” technique for ameliorating the North Atlantic cold bias.

## 5. Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

The group of Arnaud Czaja at Imperial College, London, UK, is doing some exciting work on the interaction between atmospheric storms and the Gulf Stream front that is complementary to what we have done here. Czaja's group currently have several papers under review on the topic.

## 6. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 11

The following publications have so far resulted from this work with at least one more in preparation:

Dahlke, S., 2015, Global teleconnections associated with diabatic heating due to local rainfall events, Masterarbeit, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.

Drews, A., R. J. Greatbatch, H. Ding, M. Latif and W. Park, 2015: The use of a flow field correction technique for alleviating the North Atlantic cold bias with application to the Kiel Climate Model Ocean Dynamics, 65 . pp. 1079-1093, doi: 10.1007/s10236-015-0853-7.

Hand, R., N. Keenlyside, N.-E. Omrani and M. Latif, 2014: Simulated response to inter-annual SST variations in the Gulf Stream region, Clim. Dyn., 42, 715-731, doi: 10.1007/s00382-013-1715-y.

Hand, R., 2015: The Role of Ocean-Atmosphere Interaction over the Gulf Stream Region in North Atlantic Sector Climate. Doktorarbeit, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.

# **Computersimulationen zum atlantischen Atmosphäre/Ozean-System (ATMOS, Atlantic Model Studies), (Modul B)**

## **Zusammenfassung**

Kiel, 22. April 2016

Förderkennzeichen: 01LP1152A

Das Ziel von ATMOS war die Untersuchung der Atmosphären-Ozean-Kopplung über dem Golfstrom und dem Nordatlantischen Stromsystem und die Abschätzung des Einflusses dieser Kopplung auf dekadische Klimavariabilität sowie ihrer Relevanz für dekadische Vorhersagen. Das Projekt war am GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel verankert und wurde von Prof. Dr. Richard Greatbatch geleitet. Prof. Noel Keenlyside wechselte im Verlauf des Projektes an die Universität Bergen in Norwegen und trug deshalb lediglich zu Beginn der Projektlaufzeit bei. Das wissenschaftliche Interesse an der Nutzung von Anomalien der Meeresoberflächentemperatur (sea-surface temperature, SST) in der Golfstromregion und im Nordatlantischen Stromsystem für saisonale und dekadische Vorhersagen blickt auf eine lange Geschichte zurück. In der jüngeren Vergangenheit wurde diese Idee wiederbelebt, als Forschungen zeigten, dass der Golfstrom zumindest in der unmittelbaren Umgebung der Front die darüberliegende Atmosphäre beeinflusst.

In ATMOS wurde der Einfluss einer zeitlich veränderlichen SST in der Golfstromregion mithilfe des Atmosphärenmodells ECHAM5 untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass ein signifikanter Anteil konvektiven Niederschlags über und südlich des Golfstroms im Modell durch die Veränderlichkeit der unterliegenden SST erklärt werden kann. Dieser Zusammenhang besteht vor Allem im Sommer. Im Winter wurden Hinweise auf eine großskalige atmosphärische Antwort gefunden. Ferner konnte gezeigt werden, dass sowohl die horizontale als auch die vertikale Auflösung des atmosphärischen Modells die Darstellung des Niederschlags und der Atlantischen Sturmbahnen beeinflusst. Zusätzlich wurde eine Modellprojektion des MPI-ESM bis zum Jahr 2300 untersucht, die einen Einfluss der Verschiebung der Golfstromposition in wärmerem Klima auf die lokale Verteilung des Niederschlags im Modell zeigt. Schließlich wurde eine „Zirkulationskorrektur“-Technik entwickelt und getestet, die die in praktisch allen gekoppelten Atmosphäre-Ozean-Modellen (inkl. des MPI-ESM) vorherrschende nordatlantische Kälteanomalie verringert. Es ist bekannt, dass diese nordatlantische Kälteanomalie im Ozean eine signifikante Verschlechterung der darüberliegenden atmosphärischen Zirkulation hervorruft. Es ist geplant, diese „Zirkulationskorrektur“ als Teil des neuen ATMOS/MODINI-Projektes in der zweiten Phase von MiKlip zu implementieren.

Die Arbeiten in ATMOS wurden in Übereinstimmung mit dem beantragten Arbeits- und Zeitplan durchgeführt. Die Projektmittel wurden überwiegend zur Finanzierung der Arbeit eines Doktoranden, für Reisen zu nationalen und internationalen Konferenzen sowie für Publikationen, die im Rahmen von ATMOS entstanden sind, eingesetzt. Die Ergebnisse von ATMOS sind von großer Wichtigkeit für die zweite Phase von MiKlip, weil sie die Sensitivität der Modellergebnisse auf die Darstellung des Golfstroms im Modell erklären und weil sie durch die Entwicklung der „Zirkulationskorrektur“ eine Verringerung der nordatlantischen Kälteanomalie in den zukünftig in MiKlip genutzten Modellen ermöglichen. Im Rahmen von ATMOS ist eine Reihe von Publikationen entstanden.

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN -/-	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel  Computersimulationen zum atlantischen Atmosphäre/Ozean-System (ATMOS, Atlantic Model Studies), (Modul B)	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]  Greatbatch, Richard John	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31. August 2015
	6. Veröffentlichungsdatum -/-
	7. Form der Publikation -/-
8. Durchführende Institution(en) [Name(n), Adresse(n)]  GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel Wischofstr. 1-3 24148 Kiel	9. Ber. Nr. durchführende Institution -/-
	10. Förderkennzeichen 01LP1152A
	11. Seitenzahl 5
12. Fördernde Institution [Name, Adresse]  Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 4
	14. Tabellen 0
	15. Abbildungen 0
16. Zusätzliche Angaben -/-	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) -/-	
18. Kurzfassung Es wurde der Einfluss einer zeitlich veränderlichen Meeresoberflächentemperatur (sea-surface temperature, SST) in der Golfstromregion mithilfe des Atmosphärenmodells ECHAM5 untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass ein signifikanter Anteil konvektiven Niederschlags über und südlich des Golfstroms im Modell durch die Veränderlichkeit der unterliegenden SST erklärt werden kann. Dieser Zusammenhang besteht vor Allem im Sommer. Im Winter wurden Hinweise auf eine großskalige atmosphärische Antwort gefunden. Ferner konnte gezeigt werden, dass sowohl die horizontale als auch die vertikale Auflösung des atmosphärischen Modells die Darstellung des Niederschlags und der Atlantischen Sturmbahnen beeinflusst. Zusätzlich wurde eine Modellprojektion des MPI-ESM bis zum Jahr 2030 untersucht, die einen Einfluss der Verschiebung der Golfstromposition in wärmerem Klima auf die lokale Verteilung des Niederschlags im Modell zeigt. Schließlich wurde eine „Zirkulationskorrektur“-Technik entwickelt und getestet, die die in praktisch allen gekoppelten Atmosphäre-Ozean-Modellen (inkl. des MPI-ESM) vorherrschende nordatlantische Kälteanomalie verringert. Es ist bekannt, dass diese nordatlantische Kälteanomalie im Ozean eine signifikante Verschlechterung der darüberliegenden atmosphärischen Zirkulation hervorruft. Es ist geplant, diese „Zirkulationskorrektur“ als Teil des neuen ATMOS/MODINI-Projektes in der zweiten Phase von MiKlip zu implementieren.	
19. Schlagwörter Golfstrom, Nordatlantik, Europäisches Klima	
20. Verlag -/-	21. Preis -/-

## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN -/-	2. type of document [e.g. report, publication] report
3. title  Computersimulationen zum atlantischen Atmosphäre/Ozean-System (ATMOS, Atlantic Model Studies), (Modul B)	
4. author(s) [family name(s), first name(s)]  Greatbatch, Richard John	5. end of project 31/08/2015
	6. publication date -/-
	7. form of publication -/-
8. performing organisation(s) [name(s), address(es)]  GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel Wischhofstr. 1-3 24148 Kiel	9. originator's report no. -/-
	10. reference no. 01LP1152A
	11. no. of pages 5
12. sponsoring agency [name, address]  Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references 4
	14. no. of tables 0
	15. no. of figures 0
16. supplementary notes -/-	
17. presented at [title, place, date] -/-	
18. abstract  The impact of time varying sea surface temperature (SST) in the Gulf Stream region has been investigated using the ECHAM5 atmospheric model. The results show that a significant fraction of the convective precipitation over and to the south of the Gulf Stream in the model can be explained by the variability of the underlying SST, especially in summer, and evidence for a large-scale atmospheric response was found during winter. It was also found that atmospheric model resolution, both horizontal and vertical, has an impact on the representation of precipitation and the Atlantic storm track in the model. Additionally, a model projection out to 2030 using the MPI-ESM was analysed showing the impact of the changed position of the Gulf Stream in the warmer climate on the local distribution of precipitation in the model. Finally, a "flow field correction" technique has been developed and tested to ameliorate the North Atlantic cold bias that is a ubiquitous feature of coupled atmosphere/ocean models, including the MPI-ESM, and that is known to be responsible for a significant and detrimental bias in the overlying atmospheric circulation in the models. It is planned to implement the "flow field correction" as part of the project ATMOS-MODINI during the second phase of the MiKlip project.	
19. keywords Gulf Stream, North Atlantic, European climate	
20. publisher -/-	21. price -/-