

# ABSCHLUSSBERICHT



## Entwicklung und Validierung eines gekoppelten Modellsystems in der Ostseeregion

**Kurztitel:**

**BALTIMOS**

**Förderkennzeichen:**

**01LD0027**

**Laufzeit:**

**01.02.2001 bis 31.01.2005**  
**(kostenneutrale Verlängerung**  
**bis 28.2.2005)**

## Berichtsblatt

|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
| 1. ISBN oder ISSN  | 2. Berichtsart<br><b>Schlussbericht für den gesamten Verbund</b> |   |  |
| 3a. Berichtstitel<br><b>Entwicklung und Validierung eines gekoppelten Modellsystems in der Ostseeregion (BALTIMOS)</b>                             |  |   |  |
| 3b. Titel der Publikation<br><b>siehe beiliegende Liste</b>  |  |   |  |
| 4a. Autoren des Berichts (Name, Vorname(n))<br><b>Dr. Daniela Jacob</b>  |  | 5. Abschlußdatum des Vorhabens<br><b>15.03.2005</b>                 |  |
| 4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname(n))<br><b>siehe Liste</b>   |  | 6. Veröffentlichungsdatum<br><b>2006</b>                            |  |
|  |  | 7. Form der Publikation<br><b>Sonderausgabe<br/>Fachzeitschrift</b> |  |
| 8. Durchführende Institution (Name, Adresse)<br><br><b>Max-Planck-Institut für Meteorologie<br/>Bundesstraße 53<br/><br/>20146 Hamburg</b>         |  | 9. Ber.Nr. Durchführende Institution                                |  |
|  |  | 10. Förderkennzeichen *)<br><b>01LD0027</b>                         |  |
|  |  | 11. Seitenzahl Bericht<br><b>noch offen</b>                         |  |
|  |  | 11b. Seitenzahl Publikation   |  |
| 13. Fördernde Institution (Name, Adresse)<br><br><b>Bundesministerium für Bildung und Forschung<br/>BMBF<br/><br/>53170 Bonn</b>                   |  | 12. Literaturangaben  |  |
|  |  | 14. Tabellen  |  |
|  |  | 15. Abbildungen   |  |
| 16. Zusätzliche Angaben<br><b>Es ist geplant, die Ergebnisse in einer Sonderausgabe von Theoretical and Applied Climatology zu veröffentlichen</b> |  |   |  |
| 17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)  |  |   |  |
| 18. Kurzfassung<br><b>eine Liste der geplanten Veröffentlichungen liegt bei</b>  |  |   |  |
| 19. Schlagwörter<br><b>Ostsee, Wasserkreislauf, regionale Klimamodellierung, Validierung, BALTEX</b>   |  |   |  |
| 20. Verlag   |  | 21. Preis   |  |

\*) Auf das Förderkennzeichen des BMBF soll auch in der Veröffentlichung hingewiesen werden.

BMBF-Vodr. 3832/01.96

## Document Control Sheet

|   |  |
|---|--|
| 1. ISBN or ISSN   | 2. Type of Report<br><b>Final report of the consortium</b>           |
| 3a. Report Title<br><b>Development and Validation of a Coupled Model System in the Baltic Region</b>  |  |
| 3b. Title of Publication<br><b>see list</b>   |  |
| 4a. Author(s) of the Report (Family Name, First Name(s))<br><b>Dr. Daniela Jacob</b>  | 5. End of the project<br><b>15.03.2005</b>                           |
| 4b. Author(s) of the Report (Family Name, First Name(s))<br><b>see list</b>   | 6. Publication Date<br><b>2006</b>                                   |
|   | 7. Form of Publication<br><b>special issue in scientific journal</b> |
| 8. Performing Organization(s) (Name, Address)<br><br><b>Max-Planck-Institut für Meteorologie<br/>Bundesstraße 53<br/><br/>20146 Hamburg</b> | 9. Originator's Report No.   |
|   | 10. Reference No. *)<br><b>01LD0027</b>                              |
|   | 11. No. of Pages Report<br><b>still open</b>                         |
|   | 11b. No. of Pages Publication  |
| 13. Sponsoring Agency (Name, Address)<br><br><b>Bundesministerium für Bildung und Forschung<br/>BMBF<br/><br/>53170 Bonn</b>                | 12. No. of References  |
|   | 14. No. of Tables  |
|   | 15. No. of Figures   |
| 16. Supplementary Notes<br><b>It is planned to publish the results in a special issue of Theoretical and Applied Climatology</b>            |  |
| 17. Presented at (Title; Place, Date)   |  |
| 18. Abstract<br><b>see list</b>   |  |
| 19. Keywords<br><b>Baltic Sea, water cycle, regional climate modelling, Evaluation, BALTEX</b>  |  |
| 20. Publisher   | 21. Price  |

\*) Auf das Förderkennzeichen des BMBF soll auch in der Veröffentlichung hingewiesen werden.

BMBF-Vordr. 3832/01.96

Geplante Liste der Titel für eine Sonderausgabe der Zeitschrift

*Theoretical and Applied Climatology*

**BALTIMOS –  
a fully coupled modelling system for the Baltic Sea  
and its drainage basin**

**Cloud variability in the Baltic region observed by satellites**

Max Reuter, Rene Preusker, Jürgen Fischer

**The diurnal cycle of non-frontal precipitation in the Baltic area from  
observations and models**

Andi Walther and Ralf Bennartz

**GPS-Based Water Vapour Estimation in the Baltic Sea for Validation of  
Climate Model REMO**

Torben Schüler, Andrea Pósfay, Eva Krueger und Günter W. Hein

**Analysis of runoff for the BALTEX basin with an integrated atmospheric  
hydrological ocean model**

Karl-Gerd Richter, Philip Lorenz, Martin Ebel, Daniela Jacob

**Comparison of solar radiative flux over clouds from MODIS with regional  
climate simulations**

Anja Hünenbein and Jürgen Fischer

**Validating structural characteristics of BALTIMOS rain areas using  
BALTRAD data**

Michael Theusner and Thomas Hauf

**A Global Algorithm for Root Zone Soil Moisture**

Ralf Lindau and Clemens Simmer

**BALTIMOS – a fully coupled modelling system for the Baltic Sea and its  
drainage basin**

Philip Lorenz and Daniela Jacob

**BALTIMOS – Validation strategy and model performance**

Daniela Jacob and all partners

**Seasonal variability of sea ice extent, sea surface temperature, water vapour column amount, sea surface wind speed, and cloud liquid water from BALTIMOS and passive microwave satellite observations.**

Ralf Bennartz, Philip Lorenz, Daniela Jacob

**Variability of atmospheric properties in the Baltic region observed by satellites and estimated by BALTIMOS**

Daniela Jacob and Jürgen Fischer

**Validation of Boundary Layer Parameters of Climate Model REMO**

Eberhard Reimer, Birgit Streckenbach, Michael Woldt, Heiner Billing, Jörg Mohnen

**The atmospheric boundary layer structure over the Baltic Sea: REMO simulations compared to in situ measurements**

Burkhard Brümmer, Amelie Kirchgäßner, A. Beeken

# VERBUNDBERICHT

## “Entwicklung und Validierung eines gekoppelten Modellsystems in der Ostseeregion” (BALTIMOS)

*Kennzeichen:* 01LD0027 – BALTIMOS  
*Laufzeit:* 01.02.2001 bis 31.01.2005 (kostenneutrale Verlängerung bis 28.02.2005)

### 1. Beitrag zu förderpolitischen Zielen

Schon im Projektantrag wurde auf den Beitrag zu den förderpolitischen Zielen hingewiesen. So entsprechen die Ziele des Verbundprojektes den Richtlinien über die Förderung des deutschen Klimaforschungsprogramms DEKLIM vom 28.12.1999 und den Ausführungen in *Notwendiger Forschungsbedarf zum Förderschwerpunkt GEWEX/BALTEX* des BMBF vom 5.10.1999.

Das im vorgeschlagenen Projekt entwickelte und validierte Modellsystem BALTIMOS für das Ostsee-Einzugsgebiet ist ein notwendiges und wertvolles Werkzeug, um die innerhalb von GEWEX/BALTEX existierenden Ziele zu erreichen. Hierzu gehören insbesondere die detaillierten Analysen der Prozesse, die die Wasser- und Energiekreisläufe beeinflussen. Das Besondere in diesem Verbund ist die Zusammenarbeit verschiedener Wissenschaftsdisziplinen, die gemeinsam die Wasser- und Energiehaushalte im Ostseeraum studieren. Hierfür wird besonderes Augenmerk auf die BALTEX/BRIDGE-Phase gelegt, die als Intensivmessphase exemplarisch angesehen werden kann. Ihre Einordnung in langjährige Zeitreihen liefert wertvolle Aussagen über die mittleren und extremen Zustände im Ostseeraum.

Am Ende der Projektlaufzeit steht nun ein Instrument zur Verfügung, mit dem der Lebensraum Ostsee und seine gegebenenfalls zu erwartenden Veränderungen unter Klimaänderungen detailliert untersucht werden kann.

BALTIMOS wird in der bereits laufenden 2. Phase von BALTEX eine zentrale Rolle spielen. In einer BALTEX-GRID Pilotstudie ist der Grundgedanke zur Validierung, wie er innerhalb des BALTIMOS-Verbundes entstanden ist, aufgenommen und in die internationale Gemeinschaft der Ostseeforschung ausgebreitet worden. Auf der letzten Sitzung der BALTEX Science Steering Group (BSSG) im Oktober 2005 wurde von Andreas Lehmann und Daniela Jacob das Konzept von BALTEX-GRID vorgestellt. Der Grundgedanke dieser Pilotstudie ist die gemeinsame Nutzung und Entwicklung von BALTIMOS im internationalen Rahmen, wie sie auch bei der Validierung schon innerhalb dieses Verbundes erarbeitet wurde. In BALTEX-GRID sollen Modelldaten, Beobachtungsdaten und die Expertisen der einzelnen Wissenschaftler gemeinsam verwendet werden. Es ist geplant, hierfür das bereits existierende wissenschaftliche Netz der Kooperationen innerhalb von BALTEX zu nutzen. Konkret soll zunächst der Zeitraum 1999 bis 2004 untersucht werden. Hierfür werden die Modellergebnisse von BALTIMOS zur Verfügung gestellt. Eine erste Liste möglicher Forschungsthemen wurde bereits erstellt und im Oktober 2005 auf der BSSG Sitzung diskutiert.

## 2. Wissenschaftlich-technische Ergebnisse

Die Gesamtziele des Verbundvorhabens lehnen sich an die wissenschaftlichen Aufgaben und Ziele von BALTEX an. In allen Teilprojekten wurde an der Entwicklung und Güteüberprüfung von BALTIMOS gearbeitet. Die wesentlichen Ergebnisse können aus den Schlussberichten der einzelnen Teilprojekte entnommen werden. Eine weitere und detailliertere Darstellung der Ergebnisse wird in einer Sonderausgabe der Zeitschrift *Theoretical and Applied Climatology (TAC)*, deren Herausgabe für das Jahr 2006 geplant ist, zu finden sein. Die vorläufige Liste der momentan geplanten Artikel ist angehängt.

Fünf Themenschwerpunkte (siehe Projektantrag) wurden während der Verbundlaufzeit behandelt. Hierzu gehört die Entwicklung des gekoppelten Modellsystems für die Ostseeregion, um Austauschprozesse zwischen der Atmosphäre, der Ostsee, den Land- und Inlandseeoberflächen und der Hydrologie zu verstehen und zu modellieren. Diese Entwicklung wurde erfolgreich abgeschlossen.

Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der Validierung und Verbesserung des Modellsystems nach einer gemeinsam zu entwickelnden Strategie. Auch dieses Ziel wurde erfolgreich verwirklicht. Alle Projektpartner haben gemeinsam eine Validierungsstrategie entwickelt und umgesetzt. Zunächst wurden zu validierende Größen und ihre Raum- und Zeitrelationen festgelegt. Hierbei wurden verschiedene Mittelungsgebiete und -perioden betrachtet. Dann konnten zu allen Variablen Qualitätsziele definiert werden. Diese Ziele beschreiben die Wertebereiche, in denen sich die Modellergebnisse bewegen sollen. Alle Wertebereiche sind aus der momentanen Messgüte dieser Variablen, wenn sie nach dem heutigen Stand der Technik beobachtet wird, abgeleitet worden. Nähere Informationen zu diesen Qualitätszielen und zur Güte von BALTIMOS, gemessen an den in der 2. Hälfte des Projektzeitraums durchgeführten Modellsimulationen, sind unter [www.baltimos.de](http://www.baltimos.de) zu finden.

Neben der Validierung wurden an Hand der Beobachtungen, der REMO-Simulationen und auch der BALTIMOS-Ergebnisse die Wasser- und Energiekreisläufe in der Ostseeregion für verschiedene Zeiträume analysiert. Zum einen wurde die BRIDGE-Phase (1999 bis 2003) betrachtet, zum anderen konnte die interannuale Variabilität der Wasserhaushaltsgrößen in den letzten 2 Dekaden, also 1980 bis heute untersucht werden. Die Ergebnisse sind Bestandteil der wissenschaftlichen Veröffentlichung im TAC Sonderband.

In GEWEX ist die Übertragbarkeit der innerhalb von kontinentalen Experimenten wie BALTEX entwickelten Methoden auf anderen Einzugsgebiet von großer Bedeutung. Aus diesem Grund wurden alle Arbeiten innerhalb BALTIMOS so angelegt, dass eine Übertragbarkeit auf andere Einzugsgebiete mit angemessenem Aufwand möglich ist.

Abschließend ist anzumerken, dass alle Ziele im Verbund erreicht wurden. Die Anwendung von BALTIMOS unter Klimaänderungsbedingungen konnte auf Grund der Kürzung der Verbundlaufzeit von 5 auf 4 Jahre leider nicht mehr erfolgen.

### **3. Fortschreibung des Verwertungsplans**

Mit BALTIMOS können nun mehrere Dekaden in der Vergangenheit als auch unter Klimaänderungsbedingungen für den Ostseeraum berechnet werden. Somit ist es möglich, die dekadische Variabilität in Wasser- und Energiekreisläufen zu untersuchen und zu analysieren, beispielsweise ob die Anzahl und Stärke von Salzwassereinbrüchen in der Zukunft deutlich von den heutigen Gegebenheiten variiert. Wie oben erwähnt, ist die Durchführung solcher Arbeiten innerhalb des internationalen BALTEX-GRID Ansatzes geplant.

Innerhalb GEWEX gibt es Planungen, das Modellsystem auf andere Regionen zu übertragen.

Eine Erweiterung von BALTIMOS im Sinne der Erdsystemmodellierung wird innerhalb der COSMOS Initiative erwägt. Hierfür wird die Vervollständigung des physikalischen Systems mit bio-geochemischen Prozessen notwendig, um zum Beispiel den Nitratkreislauf im Ostseebereich zu untersuchen.

### **4. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben.**

Keine.

### **5. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer**

Das Modellsystem wurde Ende Februar 2005 auf dem WORKSHOP zum Thema BALTIMOS am Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg interessierten Kollegen aus dem DEKLIM-Bereich *Ostsee* und aus dem internationalen BALTEX Programm vorgestellt.

### **6. Einhaltung des Kosten- und Zeitplans**

Kosten- und Zeitplan wurden eingehalten.

### **7. Erfindungen/Schutzanmeldungen**

Die Komponenten des Modellsystems BALTIMOS unterliegen der Lizenzvergabe der einzelnen Institute. Dies sind Ing. Büro Ludwig für LARSIM, Universität Kiel für BSIOM und Max-Planck-Institut für REMO.

Beiträge aus dem BALTIMOS Verbundprojekt zur  
„Fourth Study Conference on BALTEX“, Bornholm, Mai 2004

Der Konferenzband (Editor: Hans-Jörg Isemer) ist als No. 29 in der Reihe „**International BALTEX Secretariat Publication Series (ISSN 1681-6471)**“ erschienen und kann unter [http://www.gkss.de/baltex/Documents/PubNo.29/BALTEX\\_no29\\_03.pdf](http://www.gkss.de/baltex/Documents/PubNo.29/BALTEX_no29_03.pdf) heruntergeladen werden.

**Ralf Bennartz, A. Walther:** Precipitation Type Statistics in the Baltic Region Derived from Three Years of BALTEX Radar Data Centre (BRDC) Data

**Ralf Lindau, C. Simmer:** A Continental Scale Soil Moisture Retrieval Algorithm, its Derivation and its Application to Model Data

**Anja Hünenbein, R. Preusker, J. Fischer:** Broadband Cloud Albedo from MODIS

**Maximilian Reuter, P. Lorenz, J. Fischer:** Observation of Clouds and Water Vapour with Satellites

**Torben Schüler, A. Posfay, E. Krueger, G. W. Hein, D. Jacob:** GPS-Based Integrated Water Vapour Estimation on Static and Moving Platforms for Verification of Regional Climate Model REMO

**Birgit Streckenbach, E. Reimer:** Validation of Boundary Layer Parameters and Extension of Boundary Conditions of the Climate Model REMO - Estimation of Leaf Area Index from NOAA-AVHRR-Data

**Burghard Brümmer, A. Kirchgäßner, G. Müller:** Characteristics of the Atmospheric Boundary Layer over Baltic Sea Ice

**Michael Woldt, E. Reimer:** Validation of Boundary Layer Parameters and Extension of Boundary Conditions of Climate Model REMO - Snow Cover

**Daniela Jacob, P. Lorenz, A. Lehmann (invited):** Baltic Sea Saltwater Inflow 2003 - Simulated with the Coupled Regional Climate Model System BALTIMOS

**Philip Lorenz, D. Jacob:** Comparison of Simulations with the Atmosphere-Only Regional Climate Model REMO against Simulations with the Fully Coupled Regional Climate Model System BALTIMOS

**Karl-Gerd Richter, P. Lorenz, M. Ebel, D. Jacob:** Analysis of the Water Cycle for the BALTEX Basin with an Integrated Atmospheric Hydrological Ocean Model  
Karl-Gerd Richter, P. Lorenz, M. Ebel, D. Jacob

**Andi Walther, R. Bennartz, D. Jacob, J. Fischer:** Classification of Precipitation Type and its Diurnal Cycle in REMO Simulation and in Observations

# ABSCHLUSSBERICHT

## “Entwicklung und Validierung eines gekoppelten Modellsystems in der Ostseeregion” (BALTIMOS)

*Auftragnehmer:* Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg  
*Kennzeichen:* 01LD0027 – BALTIMOS  
*Vorhaben:* BALTEX - Integrales MOdellSystem BALTIMOS (Teilprojekt 1)  
*Laufzeit:* 01.02.2001 bis 31.01.2005  
*Berichtszeitraum:* Gesamtzeitraum

### 1. Beitrag zu förderpolitischen Zielen

Die Ziele des Verbundprojektes entsprechen den Richtlinien über die Förderung des deutschen Klimaforschungsprogramms DEKLIM vom 28.12.1999 und den Ausführungen in *Notwendiger Forschungsbedarf zum Förderschwerpunkt GEWEX/BALTEX* des BMBF vom 5.10.1999.

Dieses Teilprojekt hat entscheidend zur Entwicklung und Validierung des Modellsystem BALTIMOS beigetragen. So wurde BALTIMOS unter der Federführung des MPI-M fertiggestellt und am MPI-M angewendet. Die Modelergebnisse wurden den Projektpartnern zur Analyse der mittleren und extremen Zustände des Wasserkreislaufs im Ostsee-Einzugsgebiet und zum Vergleich mit Beobachtungen bereitgestellt.

Durch die Entwicklung einer geeigneten Validierungsstrategie, sowie der Abschätzung der Übertragbarkeit der verwendeten Methoden und gefundenen Ergebnisse auf andere GEWEX Studien, kann in den folgenden Jahren BALTIMOS in weiteren GEWEX/BALTEX Untersuchungen angewendet und weiterentwickelt werden.

### 2. Wissenschaftlich-technische Ergebnisse

Das Hauptziel des Teilprojektes am Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M) war die Entwicklung eines vollgekoppelten regionalen Modellsystems für den Ostseeraum. Diese Arbeit wurde in Zusammenarbeit mit BALTIMOS Teilprojekt 2 (Karl-Gerd Richter, Ingenieurbüro Ludwig, Karlsruhe), dem DEKLIM-Ostseeverbund BASEWECS (Andreas Lehmann, Institut für Meereskunde, Kiel) sowie dem Department for Engineering der National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan, durchgeführt.

Das Modellsystem besteht aus Komponenten für die Atmosphäre (REMO), für den Ozean inklusive See-Eis (BSIOM), für die Hydrologie (LARSIM) sowie für Inlandseen (SiT). Alle Komponenten benutzen ein identisches horizontales Gitter mit einer Auflösung von  $1/6^\circ$  (~ 18 km), lediglich die Ozean/Seeis-Komponente arbeitet mit einer Horizontalauflösung von 5 km.

Zur Vorbereitung der Kopplung wurden zunächst in Zusammenarbeit mit den Partnern Schnittstellen zwischen den jeweiligen Modulen spezifiziert. Die Partner stellten daraufhin jeweils eine koppelbare Programmversion des jeweiligen Modells bereit, und am MPI-M wurden

die Gegenseiten der spezifizierten Schnittstellen implementiert. Daraufhin wurde das gesamte Modellsystem am MPI-M zusammengesetzt und Experimente damit durchgeführt.

Der Austausch der Informationen zwischen allen Komponenten findet einmal je Simulationsstunde statt. Dabei werden von REMO berechnete Impuls-, Wärme-, und Strahlungsflüsse sowie Niederschlag, reduzierter Bodendruck an die anderen Komponenten übergeben. Das BSIOM gibt aktualisierte Meeres- bzw. Seeeisoberflächentemperaturen sowie den fraktionellen Eisanteil an Remo zurück. Das vertikale Bodenmodul, welches identisch in REMO und LARSIM formuliert ist, gibt Landoberflächentemperaturen sowie die Bodenfeuchte an REMO zurück und berechnet zwei Abflusskomponenten, die in das laterale Transportschema von LARSIM einfließen. Der von LARSIM simulierte Ausfluss der 42 größten Flüsse im Ostseeinzugsgebiet wird dann an das BSIOM übergeben.

Zu betonen ist hierbei, das für sämtliche Kopplungen zwischen den Modulen keinerlei Art von Flusskorrektur durchgeführt worden ist.

Mit dem beschriebenen Modellsystem wurden mehrere Simulationen durchgeführt. Es zeigten sich zunächst in den Ergebnissen verschiedene Probleme, welche jeweils analysiert wurden und auf Fehler in einzelnen Modulen zurückgeführt werden konnten. Diese Fehler wurden beseitigt, und neue Testläufe konnten mit den korrigierten Versionen erfolgreich durchgeführt werden.

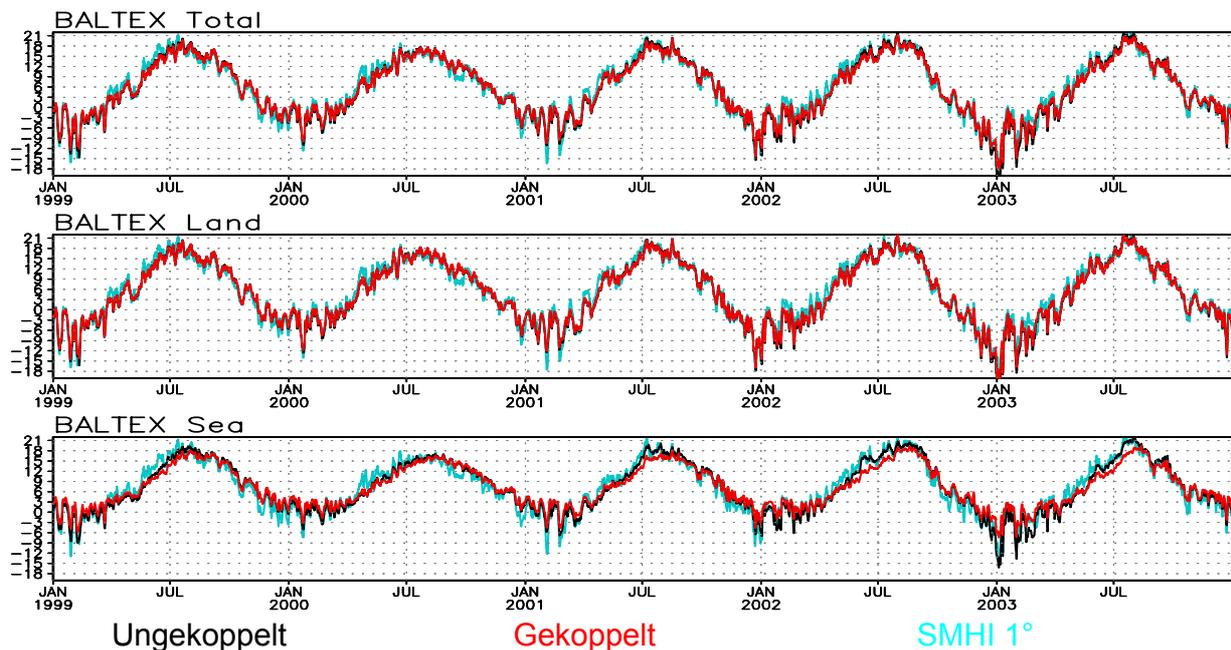


Abbildung 1: Tägliche mittlere 2-Meter Temperatur [°C] für die gekoppelte BALTIMOS-Simulation (rote Linie), die ungekoppelte REMO-Simulation (schwarze Linie) und aus auf Beobachtungen beruhenden 1x1° meteorologischen Datensatz vom SMHI (blaue Linie), jeweils für die Zeit von 1999 bis 2003. Der obere Teil zeigt Flächenmittel für das gesamte Ostseeinzugsgebiet, der mittlere für den Landanteil, der untere für den Meeresanteil.

Die zuletzt durchgeführte Simulation umfasst den Zeitraum von 1999-2003. Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der 2-Meter-Temperatur einer gekoppelten Modellsimulation und einer ungekoppelten Simulation (REMO) in Vergleich zu Beobachtungen (1x1°-Meteorologischer Datensatz vom SMHI). Über dem Landanteil des Ostseeinzugsgebietes existieren fast keine Abweichung zwischen dem gekoppelten und ungekoppelten Experiment, während sich über der Ostsee selbst im gekoppelten Experiment eine leicht verringerte Amplitude des Jahresganges der 2-Meter-Temperatur im Vergleich zu dem ungekoppelten Experiment zeigt.

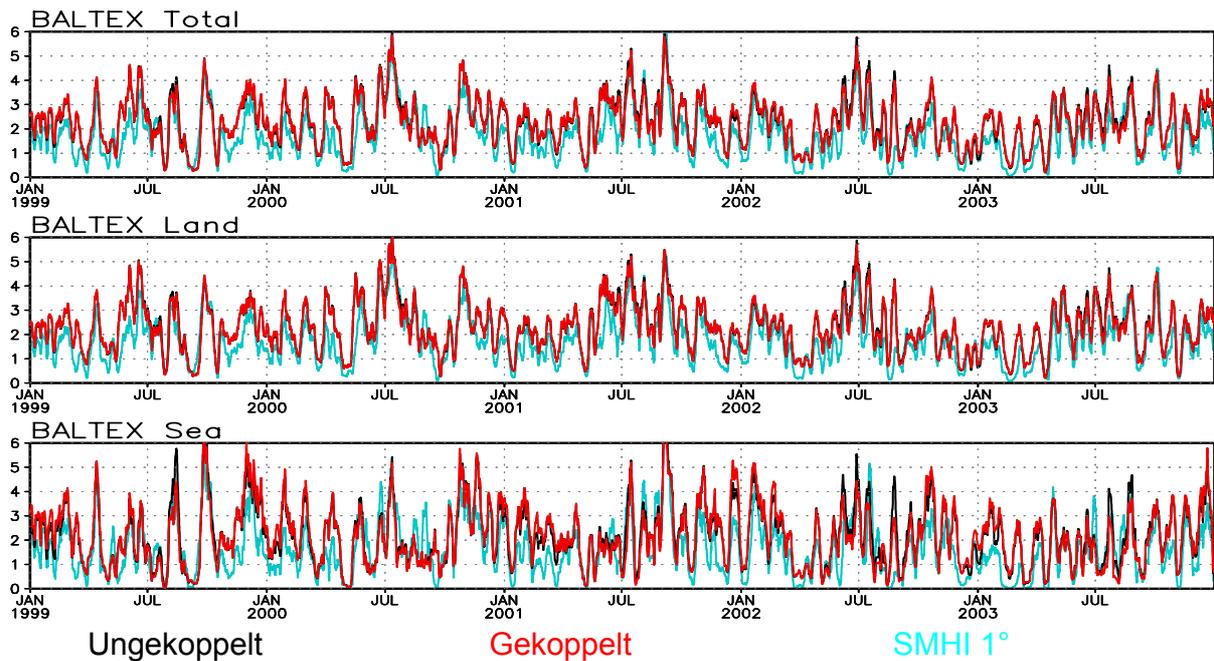


Abbildung 2: Wie Abbildung 1, jedoch für Niederschlag [mm/Tag] (laufendes 7-Tage-Mittel).

Der Niederschlag ist ein Parameter, der sensitiv auf alle anderen simulierten Variablen reagiert und damit als eine integrative Größe angesehen werden kann. Er zeigt ein sehr ähnliches Verhalten zwischen dem ungekoppelten und dem gekoppelten Experiment (Abbildung 2), was grundsätzlich als ein sehr positives Ergebnis gewertet werden kann.

Neben der realitätsnahen Simulation von mittleren Zuständen wurden BALTIMOS-Ergebnisse auch auf Extremereignisse hin untersucht. Ein Ziel war dabei, den im Januar 2003 beobachteten Einstrom von kaltem, salzreichen Wasser aus der Nordsee in die Ostsee („Salzwassereinbruch“) zu analysieren. Dieses wurde in Zusammenarbeit mit Andreas Lehmann (IfM, Kiel) durchgeführt und ist im November 2004 in den „Geophysical Research Letters“ veröffentlicht worden (Lehmann, A., P. Lorenz, and D. Jacob (2004), Modelling the exceptional Baltic Sea inflow events in 2002–2003, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L21308, doi:10.1029/2004GL020830). Hier wurde gezeigt, daß BALTIMOS dieses Einstromereignis realitätsnah simulieren konnte.

Die Ergebnisse der mit BALTIMOS durchgeführten Experimente wurden allen Projektpartnern zum Zwecke der Validation zugänglich gemacht. Zusätzlich wurden jeweils Vergleichsläufe mit dem ungekoppelten REMO-Modell durchgeführt und zu Vergleichszwecken den Projektpartnern zur Verfügung gestellt.

Unabhängig von den Arbeiten am gekoppelten BALTIMOS-System wurden mit dem ungekoppelten REMO-Modell einzelne Perioden im sogenannten Vorhersagemodus gerechnet und dem BALTIMOS Partner 8 (Meteorologisches Institut der Universität Hamburg) zur Verfügung gestellt, der genau in diesen Perioden Schiff- und Flugzeugmessungen über der Ostsee im Rahmen von BALTIMOS durchgeführt hat. Um die Lage der Eiskante in der Ostsee möglichst realitätsnah in den Simulationen zu berücksichtigen, wurde die Lage der Eiskante aus Eiskarten im Bereich der Ostsee von BALTIMOS-Partner 8 digitalisiert. Diese Daten der Eisbedeckung wurden dann dem Modell vorgegeben.

### **3. Fortschreibung des Verwertungsplans**

Mit dem gekoppelten Modellsystem können nun Klimaänderungsszenarien für den Ostseeraum durchgeführt werden, um beispielsweise die mögliche zukünftige Entwicklung der Anzahl und Stärke von Salzwassereintrüben zu analysieren. Die Durchführung solcher Arbeiten wird innerhalb des BALTEX-Grid-Ansatzes verfolgt.

Außerdem wird überlegt, das Modellsystem auf andere Regionen wie z.B. den Mittelmeerraum zu übertragen. Auch der Einschluss von weiteren Prozessen wie den Nitratkreislauf in das System wird angedacht.

### **4. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben.**

Keine.

### **5. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer**

Das Modellsystem wurde Ende Februar 2005 auf dem WORKSHOP zum Thema BALTIMOS am Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg interessierten Kollegen aus dem DEKLIM-Bereich *Ostsee* und aus dem internationalen BALTEX Programm vorgestellt.

### **6. Einhaltung des Kosten- und Zeitplans**

Kosten- und Zeitplan wurden eingehalten.



**DR.-ING. KARL LUDWIG**

Beratender Ingenieur Wasserwirtschaft - Wasserbau  
76133 Karlsruhe, Herrenstraße 14, Tel. 0721/91251-0

**Forschungsvorhaben: 01 LD0027  
unterstützt durch das  
Bundesministerium für Bildung und Forschung**

**ANALYSE DES WASEERKREISLAUFES FÜR DAS  
OSTSEEEINZUGSGEBIET MIT EINEM GEKOPPELTEN  
ATMOSPÄREN-OZEAN-HYDROLOGIE MODELL**

**- SCHLUSSBERICHT -**

# ANALYSE DES WASEERKREISLAUFES FÜR DAS OSTSEEEINZUGSGEBIET MIT EINEM GEKOPPELTEN ATMOSPÄREN-OZEAN-HYDROLOGIE MODELL

## - Erläuterungsbericht -

### - INHALT -

Seite

|    |                                   |    |
|----|-----------------------------------|----|
| 1. | Aufgabenstellung und Ablauf ..... | 1  |
| 2. | Ergebnisdarstellungen.....        | 5  |
| 3. | Literatur .....                   | 11 |
| 4. | Publikationen und Poster .....    | 14 |

## **VORWORT**

Das hier bearbeitete Forschungsvorhaben zum Thema " Entwicklung und Validierung eines gekoppelten Modellsystems in der Ostseeregion" wurde vom Ingenieurbüro Dr.-Ing. Karl Ludwig (IBL), Karlsruhe in Zusammenarbeit mit dem Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg (MPI) durchgeführt.

Folgende Mitarbeiter waren an der Durchführung des Forschungsvorhabens beteiligt:

für das Max-Planck-Institut Hamburg:

Dr. Daniela Jacob (Projektleitung MPI)  
Philip Lorenz

für das Ingenieurbüro Dr.-Ing. Karl Ludwig:

Dr.-Ing. Karl-Gerd Richter (Projektleitung IBL)  
Dipl.-Hydr. Martin Ebel  
Dipl.-Hydr. Bettina Grosskinsky

## **ERKLÄRUNG**

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde aus Mitteln des Bundesministerium für Bildung und Forschung unter den Förderkennzeichen 01 LD0027 Teilprojekt 2 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

## 1. AUFGABENSTELLUNG UND ABLAUF

### Aufgabenstellung

Am 26. September 2000 wurde der Neuantrag zum Thema " Entwicklung und Validierung eines gekoppelten Modellsystems in der Ostseeregion“ vom Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg und verschiedenen Verbundpartnern u.a. dem Ingenieurbüro Dr.-Ing. Karl Ludwig, Karlsruhe gestellt. Das Forschungsvorhaben wurde insgesamt 4 Jahre vom 1.2.2001 bis 31.1.2005 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert.

In dem gemeinsamen Verbundvorhaben BALTIMOS wird ein vollständig gekoppeltes Modellsystem aus bereits existierenden Modellkomponenten für die Atmosphäre (REMO, Jacob 2001), für die Ostsee und das Meereis (BSIOM, Lehmann 1995), für die Hydrologie (LARSIM, Bremicker 2000, Richter et al. 2003) sowie die Inlandseen und die Vegetation entwickelt. Die detaillierte Validierung dieses gekoppelten Modellsystems, welches das gesamte Ostsee-Einzugsgebiet überdeckt, mit Beobachtungen aus einem Zeitraum von etwa einer Dekade ist eine notwendige Voraussetzung, um den Wasser- und Energiehaushalt unter heutigen und veränderten Klimabedingungen zu bestimmen.

Karlsruhe, im Mai 2005



.....  
(Dr.-Ing. Karl Ludwig)



.....  
(Dr.-Ing. Karl - Gerd Richter)

## **Voraussetzungen unter denen das Forschungsvorhaben durchgeführt wurde**

Die meisten bestehenden meteorologischen und hydrologischen Modelle arbeiten heutzutage noch getrennt ohne direkte Modellkopplung. Dem entsprechend ergeben sich bei der Berechnung hydrometeorologischer Extremereignissen Unsicherheiten. Meteorologische Klimamodelle arbeiten mit vereinfachten Annahmen über den Bodenwasserhaushalt und ohne Beschreibung des lateralen Wassertransportes. Hydrologische Modelle arbeiten mit Niederschlag, Temperatur etc. als Input und vernachlässigen die Wechselwirkung zwischen der unteren Atmosphäre und dem Boden.

Die Modellkopplung des hydrologischen Modells LARSIM mit dem Klimamodell REMO ist das Hauptziel dieses Antrages. Das gekoppelte Atmosphären-Hydrologie-Ozean-Modell soll mit möglichst viel gemessenen Daten verifiziert werden. Diese Ziele wurden erreicht.

## **Planung und Ablauf des Vorhabens**

Das Forschungsvorhaben wurde entsprechend des im Antrag aufgeführten Zeitplanes durchgeführt. Im Verlauf des Vorhabens gab es zwischenzeitliche Verzögerungen, die sich beim Beschaffen von Daten ergaben. Diese Verzögerungen konnten im Laufe des Projektzeitraumes wieder ausgeglichen werden.

## **Wissenschaftlicher und technischer Stand bei der Anknüpfung**

Klimamodelle sind in den letzten Jahren im Hinblick auf die Beschreibung des Bodenwasserhaushaltes deutlich verbessert worden. Übersichten hierzu werden von PITMAN ET AL (1993), HENDERSON-SELLERS ET AL (1995) und VITERBO (1996) gegeben. Zur verbesserten Beschreibung der Komponenten der Wasserkreislaufs und der Wechselwirkung zwischen Atmosphäre, Biosphäre und Bodenwasserhaushalt wurden in den letzten Jahren die SVATS-Modelle (Soil Vegetation Atmospheric Transfer Schemes) (DICKENSON ET AL (1986), WIGMOSTA ET AL. (1994)) entwickelt.

LARSIM wurde in der ersten Projektphase von BALTEX (1994 - 1996) entwickelt und direkt an REMO/ECHAM angepasst. Es ist ein rasterbasiertes hydrologisches Modell, das den gesamten Wasserkreislauf und die Wechselwirkung zwischen Atmosphäre, Biosphäre und Bodenwasserhaushalt beschreibt (BREMICKER 2000). Es wurde bisher auf verschiedenen räumlichen und zeitlichen Skalen validiert (Rhein, Neckar, Mosel, Donau etc.)

Im Regionalmodell REMO (DKRZ 1994) wurde von DUEMENIL und TODINI (1992) das Hydrologiemodell verbessert, indem die Aufteilung zwischen der Infiltration und dem Oberflächenabfluss durch einen orographischen Faktor parametrisiert wurde. REMO enthielt zwei Parametrisierungen, eine für die Kurzfrist- und eine für die Langfristvorhersage, die die hydrologischen Prozesse auf der regionalen Skala jedoch nicht genügend genau beschreiben.

## **Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Jacob, Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg (Koordinator)

- BALTEX-Integrales Modell System BALTIMOS

Brümmer, Meteorologisches Institut der Universität Hamburg:

- Validierung von Komponenten des Wasser- und Energiekreislaufs in einer Modellsäule über Wasser und Meereis mit Hilfe von Schiffs- und Flugzeugmessungen zu allen Jahreszeiten

Fischer, Institut für Weltraumwissenschaften der Freien Universität Berlin

- Niederschlagsstatistik in der Baltischen Region

Fischer, Institut für Weltraumwissenschaften der Freien Universität Berlin

- Wolkenbeobachtung mittels Satelliten

Hauf, Institut für Meteorologie und Klimatologie der Universität Hannover

- Kleinskalige Niederschlagsstruktur - Beobachtung und Validierung

Hein, Institut für Erdmessung und Navigation der Universität der Bundeswehr in München

- Messung des Wasserdampfgehaltes mittels verfügbarer und zukünftiger Satellitennavigation

Reimer, Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin

- Validierung von Grenzschichtparametern und Erweiterung der Randbedingungen des Klimamodells REMO

Simmer, Meteorologisches Institut der Universität Bonn

- Impact of the regional land-sea surface memory on the weather and climate variability in the Baltic Sea catchment area and its global climate implication.

Berger, Universität Dresden

- Quantifizierung der Wasser und Energiezyklusses für das BALTEX Einzugsgebiet einschließlich ihrer räumlichen und zeitlichen Variabilität

Grassl Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg

- Messung des flächenhaften Niederschlages über Land und See

International:

- Das hier beantragte Forschungsvorhaben ist eine Fortsetzung der ersten Phase des BALTEX-Projektes (1994 - 1996) im Rahmen den GEWEX Programms. Ein verbessertes Verständnis für die Prozesse zwischen Atmosphäre, Biosphäre und dem Wasserkreislauf führt zu einer verbesserten Vorhersage extremer Ereignisse unter unterschiedlichen klimatologischen Bedingungen

## 2. ERGEBNISDARSTELLUNGEN

### Darstellung der Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in der nachfolgenden Zusammenfassung unter Verweis auf die Publikationen.

#### Zusammenfassung

In dem gemeinsamen Verbundvorhaben BALTIMOS wird ein vollständig gekoppeltes Modellsystem aus bereits existierenden Modellkomponenten für die Atmosphäre (REMO, Jacob 2001), für die Ostsee und das Meereis (BSIOM, Lehmann 1995), für die Hydrologie (LARSIM, Bremicker 2000, Richter et al. 2003) sowie die Inlandseen und die Vegetation entwickelt. Die detaillierte Validierung dieses gekoppelten Modellsystems, welches das gesamte Ostsee-Einzugsgebiet überdeckt, mit Beobachtungen aus einem Zeitraum von etwa einer Dekade ist eine notwendige Voraussetzung, um den Wasser- und Energiehaushalt unter heutigen und veränderten Klimabedingungen zu bestimmen.

Das Modellnetz hat eine horizontale Auflösung von 1/6 Grad und bedeckt die Region zwischen 0 und 30 Grad Ost und 50 bis 75 Grad Nord. Die Nachbildung des Flussnetzes im Modell und damit die Vernetzung der Rasterflächen erfolgt durch ein Verschneiden eines vektorisierten Flussnetzes sowie eines digitalen Geländemodells mit dem vorgegebenen Modellraster: In LARSIM werden folgende Prozesse simuliert: Interzeption, aktuelle Evapotranspiration, Schneeschmelze (Akkumulation, Metamorphose und Ablation), Bodenwasser- und Grundwasserspeicherung, lateraler Wassertransport zu den Gewässern (Abflusskonzentration) sowie Translation und Retention im Gewässer. Zudem können anthropogene Maßnahmen (z.B. Wassereinleitungen und -überleitungen sowie Abflussregelungen durch Rückhaltebecken) im Modell nachgebildet werden.

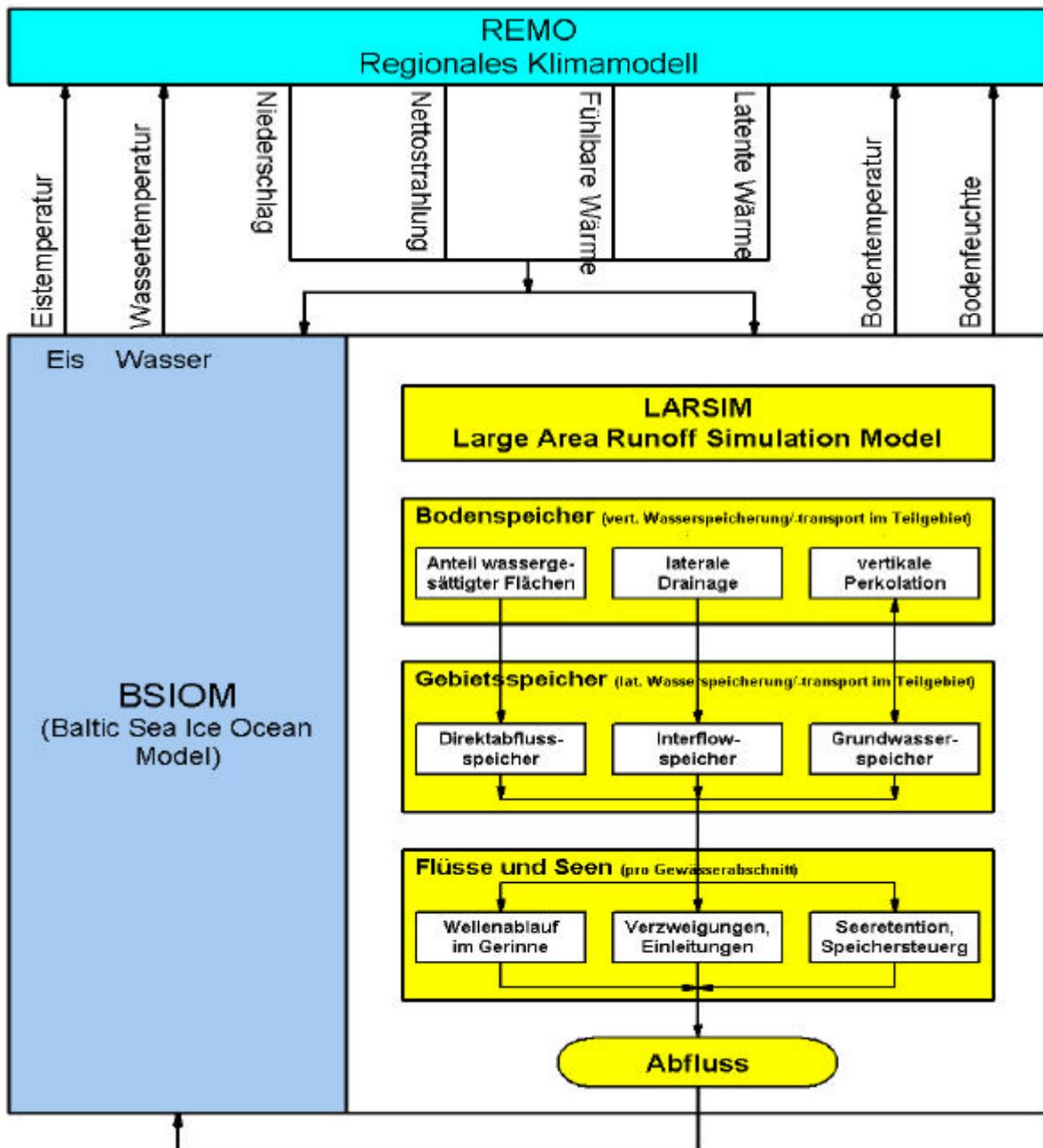


Bild 1: Blockdiagramm des gekoppelten Atmosphären-Ozean-Hydrologie-Modells

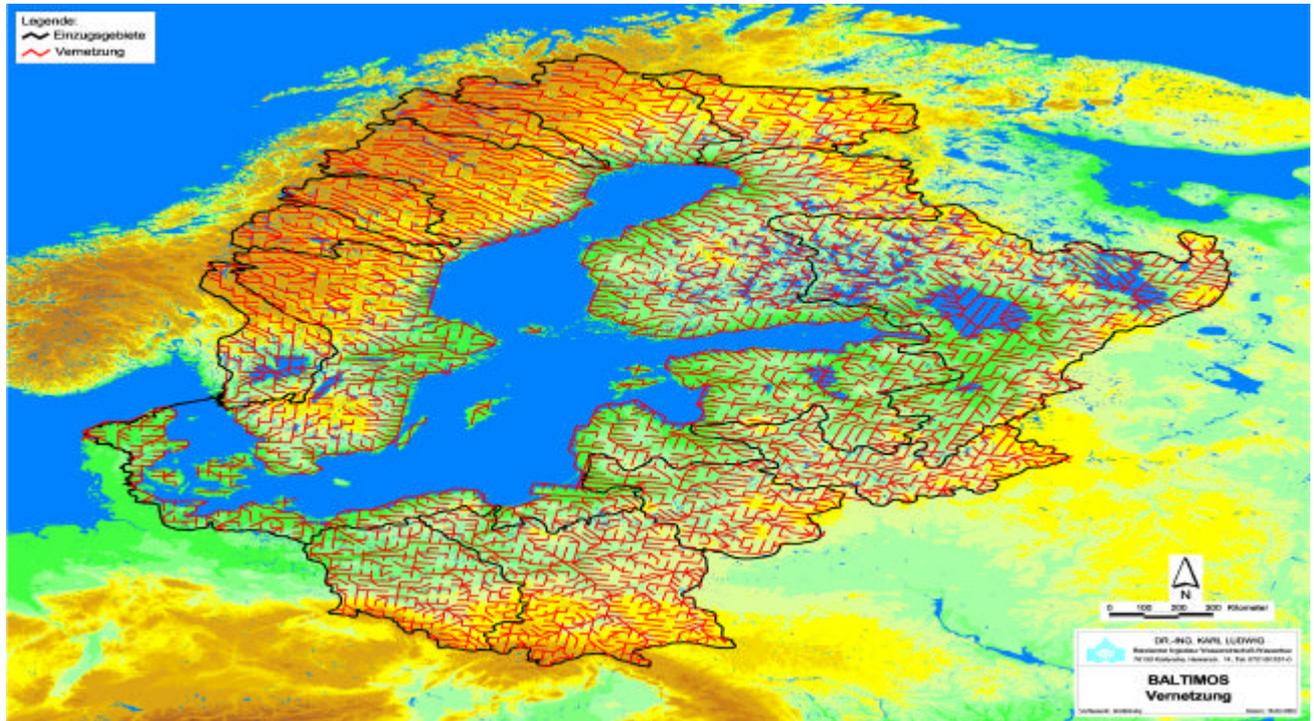


Bild 2: Modellgebiet mit lateralem Transportschema

Umfangreiche Validierungen für den Abfluss aus dem Ostsee-Einzugsgebiet wurden durchgeführt. Solche Validierungen sind notwendig, um mit dem gekoppelten Modell realistische Berechnungen für den Wasser- und Energiehaushalt des Ostsee-Einzugsgebiets unter gegenwärtigen und zukünftigen klimatologischen Bedingungen zu erhalten.

Die Validierung des Abflusses wurde in drei Stufen durchgeführt. In der ersten Stufe wurden die Abflüsse mit gemessenen meteorologischen Inputdaten mit LARSIM für den Zeitraum 1996 bis 2000 berechnet und mit Messungen verglichen. Bild 3 zeigt die berechneten und gemessenen mittleren monatlichen Abflüsse für das gesamte Ostsee-Einzugsgebiet. Es ergibt sich eine gute Übereinstimmung zwischen den gemessenen und berechneten Abflüssen.

Im zweiten Schritt wurde REMO und LARSIM validiert. Das Bild 4 zeigt die gemessenen und berechneten Jahressummen für den Abfluss mit berechnetem meteorologischen REMO Input in LARSIM. Für den Zeitraum bis 1993 ergibt sich eine leichte Unterschätzung des berechneten Jahresabflusses und danach eine geringfügige Überschätzung.

### Mittlerer monatlicher Gesamtabfluss (1996 - 2000)

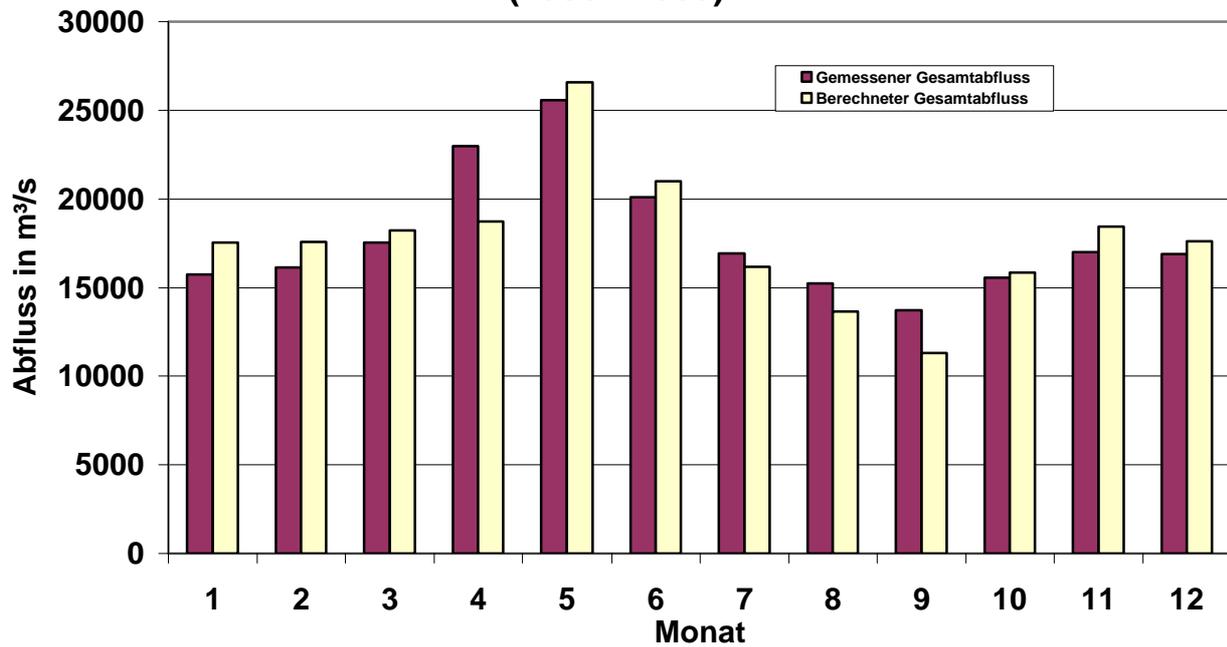


Bild 3: Validierung des Abflusses mit gemessenem meteorologischen Input

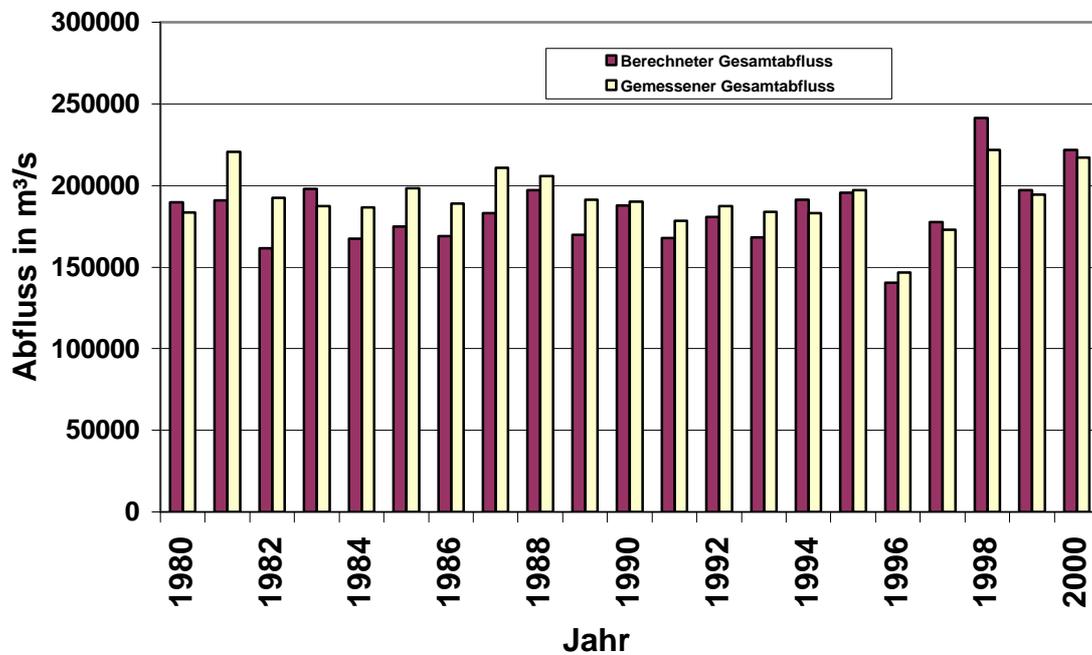
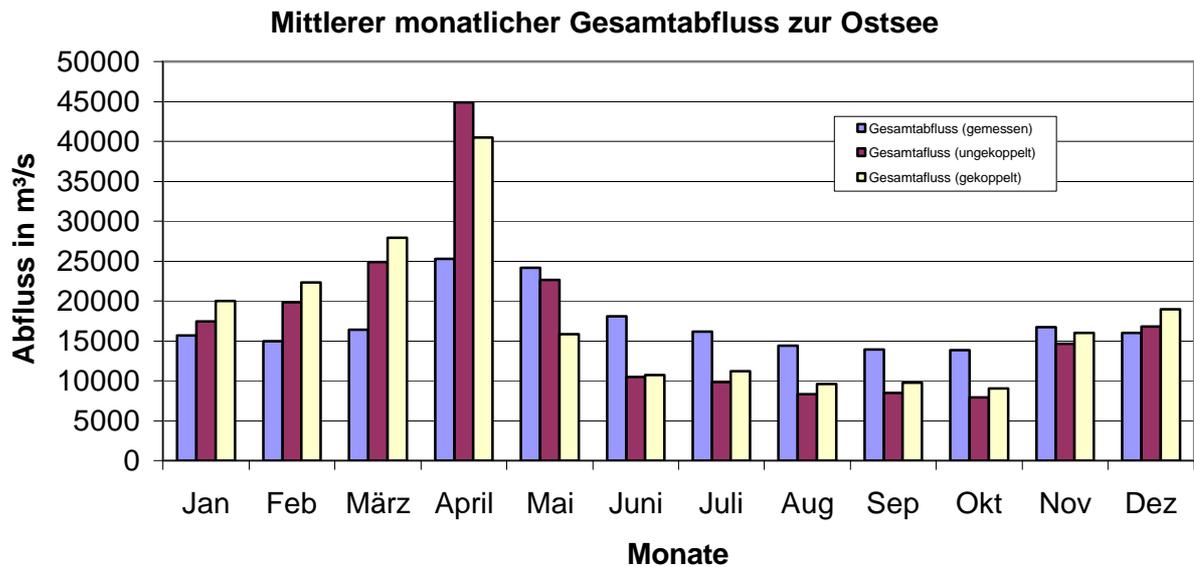


Bild 4: Jahressummen für den Gesamtabfluss aus dem Ostsee-Einzugsgebiet für REMO und LARSIM

In einem dritten Schritt wird der Abfluss für das gekoppelte Modellsystem REMO-BSIOM-LARSIM validiert. Bild 5 zeigt für den mittleren monatlichen Gesamtabfluss zur Ostsee für einen Zeitraum von 1999 bis 2001. Im Winter und Frühjahr werden die gemessenen Abflüsse deutlich überschätzt und im Sommer leicht unterschätzt. Für das gekoppelte und ungekoppelte Modell ergeben sich nur geringfügige Unterschiede für die berechneten mittleren monatlichen Abflüsse.



**Bild 5:** Mittlerer monatlicher Abfluss Gesamtabfluss zur Ostsee mit dem gekoppelten und ungekoppelten Modell

## **Voraussichtliche Nutzen**

Folgender Nutzen kann erwartet werden

- Ein verbessertes Prozeß-Verständnis für die Komponenten des Wasserkreislaufes und ihre Wechselwirkung zwischen Atmosphäre, Biosphäre und der Landoberfläche,
- Ein verbessertes Atmosphären-Hydrologie-Modell (REMO-LARSIM-BSMO) wird verfügbar sein, da die Komponenten des Wasserkreislaufes durch Messungen validiert werden, die die anderen Teilnehmer des Verbundes bestimmen (Reimers: Verdunstung; Hein: Wasserdampf; Grassl, Fischer: Niederschlag; Fischer, Simmer: Wolken) und
- Berechnung des Wasserkreislaufes für das BALTEX-Einzugsgebiet unter vergangenen, gegenwärtigen und zukünftigen klimatologischen Bedingungen.

Folgende Ergebnisse/Programme verfügbar sein:

- ein Tool zur Kurzfristvorhersage von Abflüssen für das BALTEX-Einzugsgebiet und zur Berechnung von Wasserbilanzen,
- ein Regionalisierungsansatz zur Abschätzung der Modellparameter für unbeobachtete Gebiete und
- die Möglichkeit unterschiedliche hydrologische Modellansätze unterschiedlicher Komplexität auszutesten und ihre Auswirkungen im Klimamodell zu studieren.

## **Fortschritt bei anderen Stellen**

Nicht bekannt

## **Publikationen in Zusammenhang mit dem Forschungsvorhaben (siehe im Kapitel 4)**

Richter K.-G., Ludwig K. 2003: „Analyse des Wasserkreislaufes für das BALTEX Einzugsgebiet unter gegenwärtigen und zukünftigen klimatologischen Bedingungen“, Tag der Hydrologie 20/21. März 2003, Hydrologische Wissenschaften, Fachgemeinschaft der ATV-DVWK.

Richter K.-G., Ludwig K. 2003: “Analysis of the Water Cycle of the Baltic Area under present and future Conditions”, German Climate Research Programme (2001–2006), DEKLIM Staus Seminar 2003, Bad Münstereifel, 6-8 Oktober 2003.

Richter K.-G., Lorenz P., Ebel M., Jacob D 2004: “Analysis of the Water Cycle for the BALTEX Basin within an Integrated Atmospheric Hydrological Ocen Model”. Fourth Study Conference on BALTEX, Gudhjem, Bornholm, Denmark 24–28 May 2004, ISSN 1681-647

Richter K.-G., Lorenz P., Ebel M., Jacob D 2005: „Analyse des Wasserkreislaufes für das Ostsee-einzugsgebiet mit einem gekoppelten Atmosphären-Ozean-Hydrologie-Modell“, German Climate Research Programme (2001–2006), DEKLIM Abschlussseminar 2005, Leipzig, 10-12 Mai 2005.

Richter K.-G., Lorenz P., Ebel M., Jacob D 2005: “Simulation of Runoff of the Baltic region with a coupled Atmospheric-Ocean-Hydrology model”, Baltimos, An Integrated Model System, Applied Atmospheric Climatology, Special Issue, in Vorbereitung.

### 3. LITERATUR

- Bremicker M. 2000: Das Wasserhaushaltsmodell LARSIM – Modellgrundlagen und Anwendungsbeispiele. Freiburger Schriften zur Hydrologie, Institut für Hydrologie, University of Freiburg (in press).
- Bremicker M., Ludwig K., Richter K.G. 1998: Effiziente Erstellung mesoskaliger Wasserhaushaltsmodelle. In: PIK Report Nr. 43: Modellierung des Wasser- und Stofftransportes in großen Einzugsgebieten, Zusammenstellung der Beiträge des Workshops am 15. Dez. 1997 in Potsdam, S. 23 - 32. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung.
- Bremicker M., Ludwig K., Richter K.G., 1996: Wasserhaushaltsmodelle für das Weser- und Ostsee-Einzugsgebiet. Mitteilungen des Institutes für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau der Universität Hannover, Heft 83, S. 87-104.
- Dickison R. E., Henderson-Sellers A., Kennedy P. J., Wilson M. F., 1986: Biosphere-atmosphere transfer scheme (BATS) for the NCAR Community Climate Model. Tech. Note NCAR/TN-275+STR, Nat. Cent. for Atmos. Res., Boulder, Colorado.
- DKRZ, 1994: The ECHAM 3 Atmospheric General Circulation Model, Deutsches Klimarechenzentrum, Technical Report No. 6, Revision 3, July 1994, Hamburg.
- Dümenil, L., Todini, E., 1992: A rainfall-runoff scheme for use in the Hamburg climate model. In: Advances In Theoretical Hydrology, A tribute to James Dooge, European Geophysical Society Series on Hydrological Sciences, 1, Elsevier, pp 129 - 157.
- Henderson-Sellers A., Pitman A., Love P. K. et al., 1995: The Project for Intercomparison of Land-Surface Parameterisation Schemes (PILPS: Phase 2 and 3). Bull. Am. Meteor. Soc., 94. pp 489 - 503.
- Jacob D., 1995: REMO - a model for climate research and weather forecast. In: Conference proceedings of the first study conference on BALTEX, Visby, Sweden. International BALTEX Secretariat, Publication No. 3, p. 99.
- Jacob D. (2001): A note to simulation of the Annual and Interannual Variability of the Water Budget over the Baltic Sea Drainage Basin. Meteorology and Atmospheric Physics 77, No 1-4, 61-74, 2001.
- Lehmann A. (1995): A three-dimensional baroclinic eddy-resolving model of the Baltic Sea, Tellus 47A: 1013-1031, 1995.

Ludwig K., 1989: Hochwasservorhersage für große, semiaride Einzugsgebiete am Beispiel des Gelben Flusses. Mitteilungen des Instituts für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau der Universität Hannover, Heft 70.

Pitman A., Henderson-Sellers A., Abramopoulos F. et al., 1993: Results from off-line control simulations. Project for Intercomparison of Land-Surface Parameterisation Schemes (PILPS). Technical report 7, International GEWEX Project Office (IGPO), Technical Report 7. Washington D.C.

Richter K.-G., Ludwig K. (2003); Analysis of the Water Cycle of the Baltic Area under present and future Conditions, German Climate Research Program (2001 –2006), DEKLIM Status Seminar 2003, Bad Münstereifel, 6-8 Oktober 2003: 205-206  
Sellers P. J., Mintz Y., Sud Y. C., Dalcher A., 1986: A simple biosphere Model (SiB) for use within general circulation Models. J. Atmos. Sci., 43, pp 505 - 531.

Viterbo P., 1996: The representation of surface processes in general circulation models. PhD thesis, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, Reading, UK.

Wigmosta M. S., Lance L. W., Lettenmaier D. P., 1994: A distributed hydrology-vegetation model for complex terrain. In: Water Resources Research, Vol. 30, No. 6, p. 1665 - 1679.

#### Berichte:

Richter, K.G., 1997: Wasserhaushaltsmodell für das Ostsee-Einzugsgebiet als Baustein eines Atmosphären-Hydrologie-Modells. Abschlußbericht für das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Forschungsvorhaben. Ingenieurbüro Dr. K. Ludwig, Karlsruhe.

#### **4. PUBLIKATIONEN UND POSTER**

# **Analyse des Wasserkreislaufes für das BALTEX Einzugsgebiet unter gegenwärtigen und zukünftigen klimatologischen Bedingungen**

Karl-Gerd Richter und Karl Ludwig

## **Zusammenfassung**

Eine wesentliche Aufgabe des BALTic Sea EXperimentes (BALTEX) ist es, den Wasser- und Energiehaushalt im Ostsee-Einzugsgebiet zu bestimmen, diejenigen Prozesse zu identifizieren und zu verstehen, welche die Wasser- und Energiekreisläufe beeinflussen, um Grundlagen für die Simulation dieser Kreisläufe in einem zukünftigen Klima zu schaffen.

In dem vom BMBF geförderten Verbundvorhaben „**Entwicklung und Validierung eines gekoppelten Modellsystems für die Ostseeregion (BALTIMOS)**“ wird ein vollständig gekoppeltes Modellsystem aus bereits existierenden Modellkomponenten für die Atmosphäre (REMO = Regionalmodell), für die Ostsee und das Meereis (BSIOM), für die Hydrologie (LARSIM = Large Area Runoff Simulation Model) sowie die Inlandseen und die Vegetation entwickelt.

Die detaillierte Validierung dieses gekoppelten Modellsystems, das das gesamte Ostsee-Einzugsgebiet überdeckt mit Beobachtungen aus einen Zeitraum von etwa einer Dekade ist eine notwendige Voraussetzung, um den Wasser- und Energiehaushalt unter heutigen und veränderten Klimabedingungen zu bestimmen.

In der vorliegenden Untersuchung werden zunächst für drei repräsentative Einzugsgebiete (Oder, Daugava und Tornelaev), die im Wesentlichen unterschiedliche hydrologische Gegebenheiten des BALTEX-Einzugsgebietes charakterisieren, die Modellparameter des vertikalen und lateralen Transportmodells bestimmt (Modelleichung). Mit diesen validierten Modellparametern wird mit dem gekoppelte Modellsystem eine Simulation für das Jahr 1995 durchgeführt und diese Ergebnisse mit den Ergebnissen des ungekoppelten Systems gegenübergestellt.

## **1. Einleitung und Zielsetzung**

Die meisten bestehenden meteorologischen und hydrologischen Modelle arbeiten heutzutage noch getrennt ohne direkte Modellkopplung. Dem entsprechend ergeben sich bei der Berechnung hydrometeorologischer Zustände Unsicherheiten. Meteorologische Klimamodelle arbeiten mit vereinfachten Annahmen über den Bodenwasserhaushalt und ohne Beschreibung des lateralen Wassertransportes. Hydrologische Modelle arbeiten mit Niederschlag, Temperatur etc. als Input und beschreiben die Wechselwirkung mit der unteren Atmosphäre.

In dem gemeinsamen Verbundvorhaben BALTIMOS wird ein vollständig gekoppeltes Modellsystem aus bereits existierenden Modellkomponenten für die Atmosphäre (REMO), für die Ostsee und das Meereis (BSIOM), für die Hydrologie (LARSIM) sowie die Inlandseen und die Vegetation entwickelt. Die detaillierte Validierung dieses gekoppelten Modellsystems, das das gesamte Ostsee-Einzugsgebiet überdeckt, mit Beobachtungen aus einem Zeitraum von etwa einer Dekade ist eine notwendige Voraussetzung, um den Wasser- und Energiehaushalt unter heutigen und veränderten Klimabedingungen zu bestimmen.

## **2. Theoretische Modellgrundlagen**

Die räumliche und zeitliche Verteilung der meteorologischen Parameter im BALTEX-Einzugsgebiet wurden mit Hilfe des REgionalen KlimaMOdells REMO (JACOB, 1995) berechnet. REMO ist ein hydrostatisches numerisches Atmosphärenmodell zur Berechnung der dreidimensionalen Felder des Windvektors, der Temperatur, der Feuchte und des Niederschlags sowie deren zeitliche Entwicklung.

Die Modellsimulationen mit REMO können wahlweise mit der Physik des Deutschland-Modells des Deutschen Wetterdienstes (DWD, 1995) und des globalen Klimamodells ECHAM4 (DKRZ, 1994) durchgeführt werden. Für die hier präsentierten Simulationen wurde die Physik des Klimamodells ECHAM4 gewählt. Da REMO kein globales, sondern ein regionales Modell ist, müssen an den seitlichen Modellrändern Informationen über den Zustand der Atmosphäre vorgegeben werden. Dieser Antrieb kann durch Ergebnisse größerskaliger und globaler Modelle, durch Reanalysedaten oder auch durch REMO-Ergebnisse, die aus einer vorangegangenen größerskaligen Modellrechnung resultieren, erfolgen.

Die erste Simulation erfolgte auf einem Modellgitter mit einer horizontalen Auflösung von  $\frac{1}{2}$  Grad (etwa 55 km), welches Gesamteuropa und angrenzende Gebiete abdeckt. Zur Initialisierung sowie zum Antrieb dieser Modellsimulation dienten Reanalysedaten des European Center of Medium-Range Weather Forecast (ECMWF; GIBSON et al., 1997) und NCEP (SERREZE & HURST, 2000), die vor der Modellrechnung auf das numerische Gitter von REMO interpoliert wurden. Die zweite REMO-Simulation wurde mit den Ergebnissen der erstgenannten Simulation angetrieben und erfolgte auf einem Modellgitter mit einer horizontalen Auflösung von  $\frac{1}{6}$  Grad (etwa 18 km).

Das Kieler Ostseemodell (BSIMO) wurde bisher zur Untersuchung der allgemeinen Zirkulation der Ostsee, mesoskaliger Prozesse, Deckschichtprozesse, Wassermassenaustausch zwischen Nord- und Ostsee, Eisbedeckung und Driftstudien angewendet (LEHMANN, 1995).

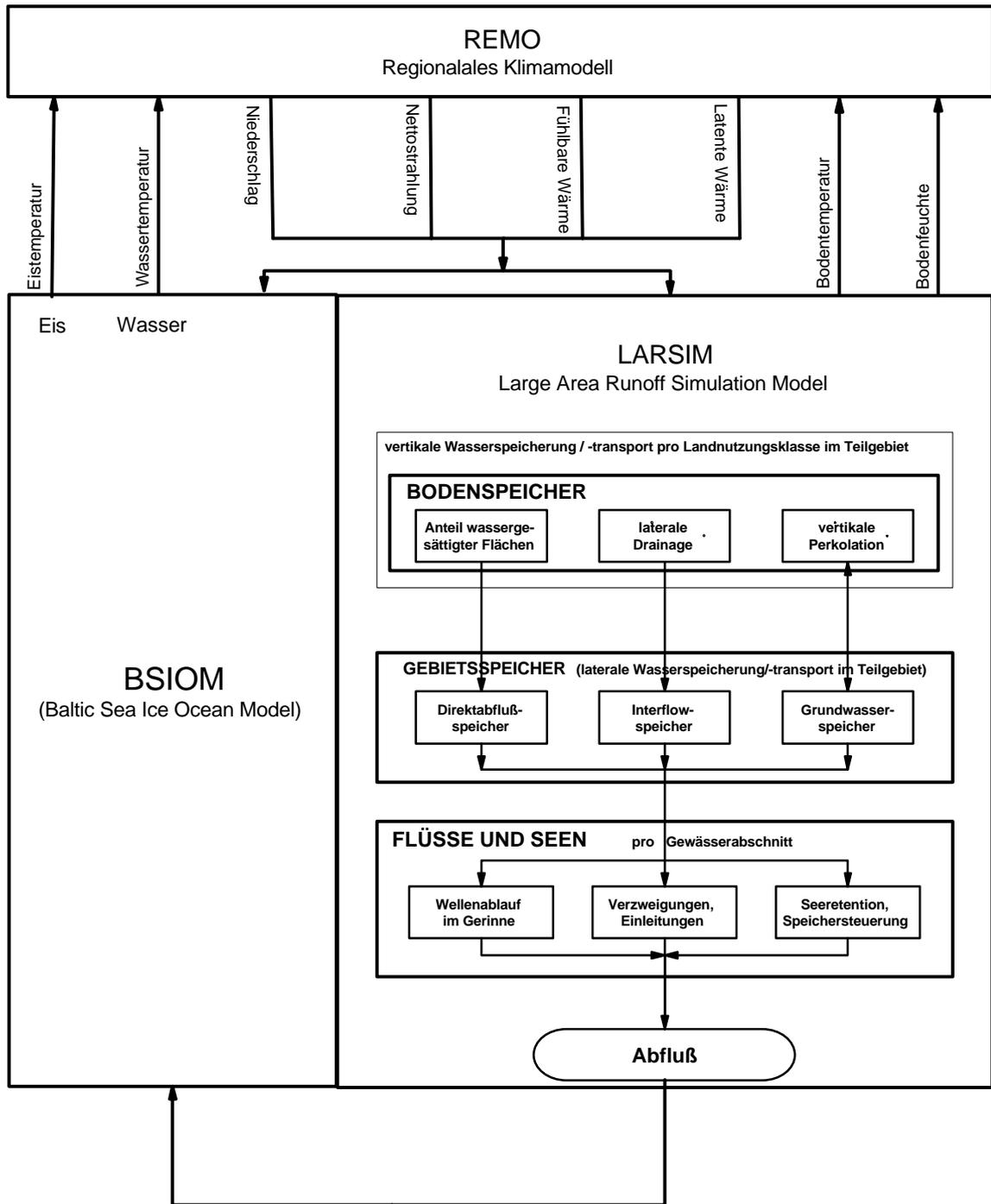


Abb. 1: Modellschema von REMO-LARSIM-BSIOM

Das am Institut für Meereskunde in Kiel entwickelte Ostseemodell basiert auf einem allgemeinen Zirkulationsmodell mit freier Oberfläche.

Die heutige Notwendigkeit der Kopplung von meteorologischen ozeanographischer und hydrologischen Modellen fordert den Einsatz von prozeßdetaillierten hydrologischen Modellen.

Eines der hierfür umfassend einsetzbaren Arbeitsmittel sind Wasserhaushaltsmodelle, wie z.B. das Programmsystem LARSIM

Das hydrologische Large Area Runoff Simulation Model LARSIM (RICHTER et. al., 1997, BREMICKER, 2000) enthält deterministische Modellansätze auf Basis physikalischer Modellkonzepte. Das Modellschema ist als Blockdiagramm in Abbildung 1 dargestellt. Folgende Ansätze für hydrologische Teilprozesse sind implementiert:

- Die Akkumulation und Ablation von Schnee wird über das vereinfachte Verfahren zur Modellierung des Wärmehaushaltes nach Knauf sowie das Snow-Compaction Verfahren nach Bertle bestimmt (DVWK, 1980).
- Die vertikalen Transporte zur Berechnung des Bodenwasserhaushaltes werden nach dem Xinanjiang-Verfahren (ZHAO, 1977) bestimmt. Je nach Füllung des Bodenwasserspeichers und der Niederschlagsintensität tritt Zufluß in die Speicher für Oberflächenabfluß, Zwischenabfluß und Grundwasserabfluß in unterschiedlichen Relationen auf.
- Die Verdunstung wird über den Ansatz von Penman-Monteith nach dem MORECS-Schema (THOMSON et al., 1981) bestimmt. Dabei handelt es sich um ein Energiebilanzverfahren mit Berücksichtigung des Wasserdampftransportes, bei dem die aktuelle Verdunstung in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte und dem Bewuchs bestimmt wird.
- Die Abflußkonzentration (laterale Transporte in die Gewässer) wird über drei parallele lineare Einzelspeicher für den Oberflächenabfluß, den Zwischenabfluß und den Grundwasserabfluß beschrieben (LUDWIG, 1989).
- Die Laufzeiten sowie die Retention in den Gewässern wird über hydrologische Verfahren zur Wellenverformung im Gerinne berechnet (WILLIAMS, 1969).

### **3. Modellaufbau und erste Modellanwendung für das BALTEX-Einzugsgebiet**

Im mesoskaligen BALTEX-Einzugsgebiet beträgt die Rasterweite etwa 18 km. Für das ca. 1.700.000 km<sup>2</sup> große BALTEX Einzugsgebiet ergeben sich ca. 5300 Rasterflächen für das Wasserhaushaltsmodell (siehe Abbildung 2).

Für die drei ausgewählte Einzugsgebiete Daugava, Oder und Tornelaev, die die unterschiedlichen hydrologischen Gegebenheiten des Einzugsgebietes charakterisieren, wurden zunächst die Modellparameter des hydrologischen Modells kalibriert und validiert.

Diese ermittelten Modellparameter werden im Anschluß hieran für die entsprechenden hydrologisch ähnliche Gebiete regionalisiert und übertragen.

In der Abbildung 3 sind zunächst die Ergebnisse für das BALTEX-Einzugsgebiet für den Gesamtabfluß mit und ohne laterales Transportmodell dargestellt.

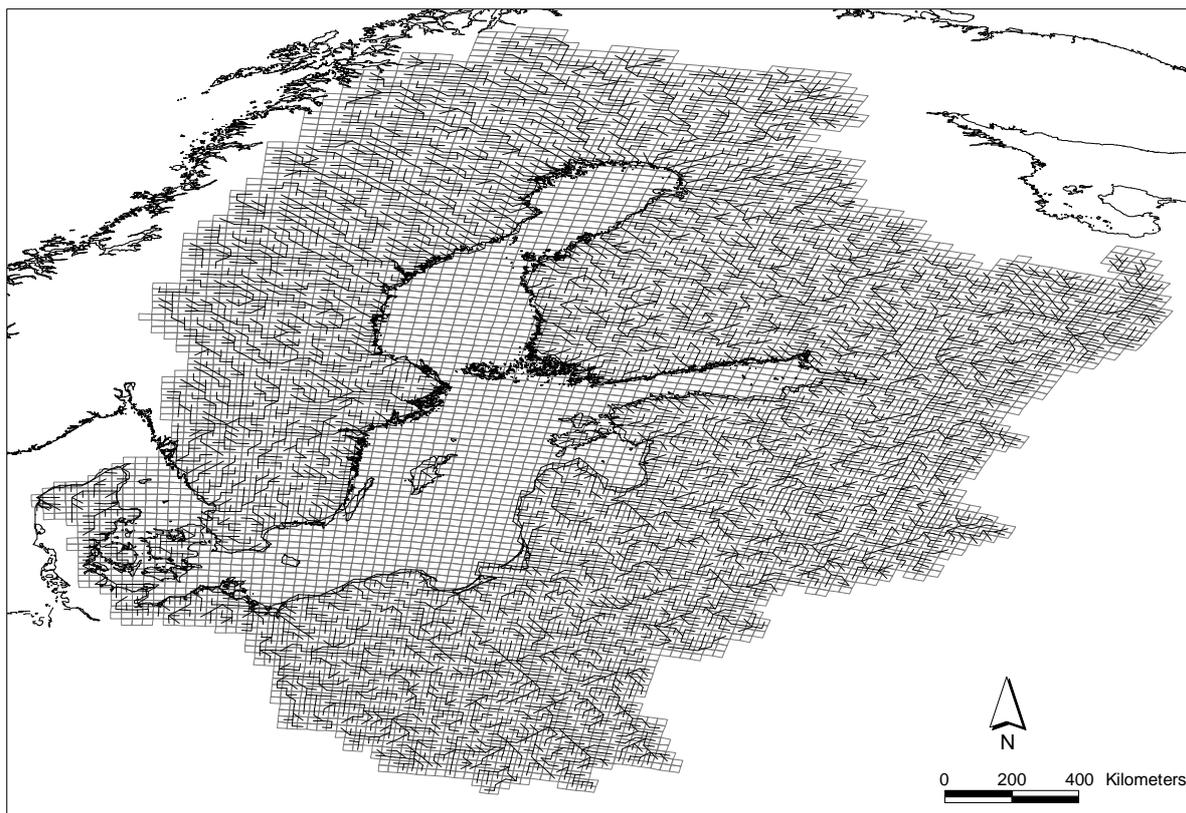


Abb. 2: Einzugsgebiet mit REMO-Modellraster und Vernetzung der Flächenelemente

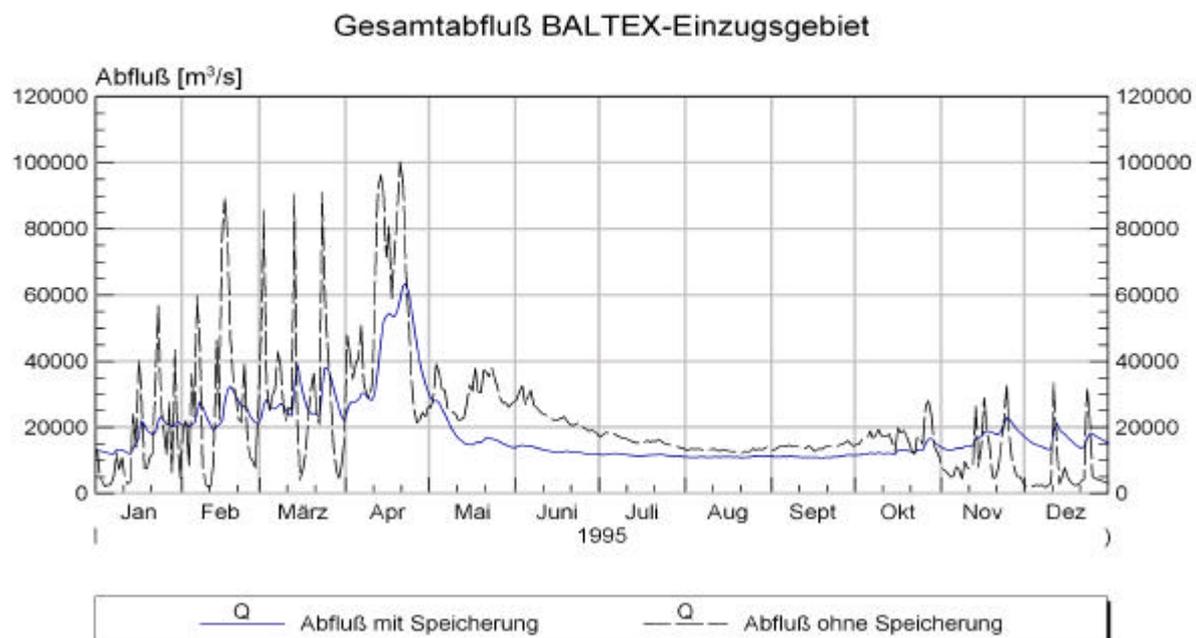


Abb. 3: Gesamtabfluß für das BALTEX-Einzugsgebiet mit und ohne Speicherung

### Baltex-Gesamtabfluß 1995

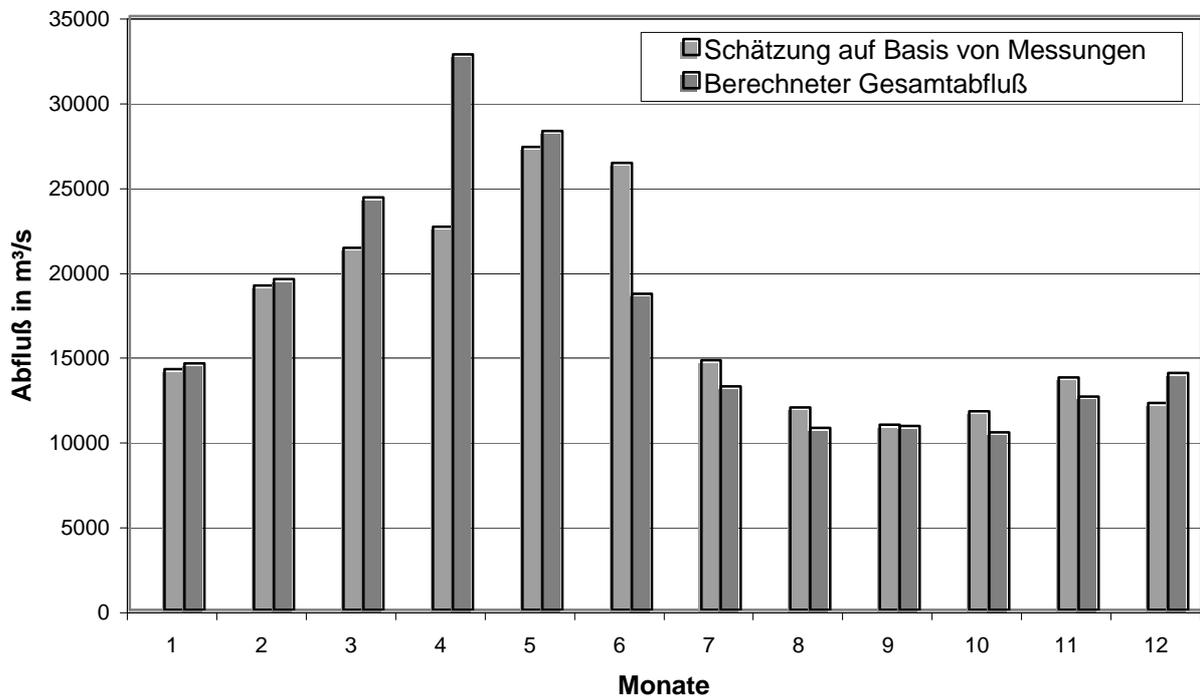


Abb. 4: Berechneter und gemessener monatlicher Gesamtabfluß für das Jahr 1995

Die hohe zeitliche Variabilität des Gesamtabflusses ohne Berücksichtigung der Gebietsspeicherung ist eine direkte Reaktion auf die hohen zeitliche Variabilität des Niederschlages. Durch die Berücksichtigung der Gebietsspeicherung sowie der Translation und Retention in den Gewässerabschnitten wird eine deutliche Dämpfung der zeitlichen Variabilität erreicht. In der Abbildung 4 sind die mittleren monatlichen Gesamtabflüsse (auf Basis von Abflussmessungen geschätzt) für das BALTEX-Einzugsgebiet für das Jahr 1995 dargestellt. Durch die Berücksichtigung der Gebietsspeicherung und der Translation und Retention in den Gewässerabschnitten wird eine realistischere Nachbildung des Gesamtabflusses im BALTEX-Einzugsgebiet erreicht. Eine mögliche Ursache für die zeitliche Verschiebung der Abflüsse sind die vorhandenen Talsperren in BALTEX-Einzugsgebiet. Die Abflüsse aus den Teileinzugsgebieten beeinflussen über ihre Mengen den Salzgehalt und Temperatur und somit die allgemeine Zirkulation der Ostsee.

#### 4. Arbeitsteilung und Kooperation

Im vorliegenden Verbundvorhaben sind insgesamt 8 Institutionen beteiligt. Die Vernetzung ist in Abbildung 5 dargestellt. Dabei werden nicht nur die Parameter des flüssigen Wasserkreislaufes selber validiert (Niederschlag, Abfluß, Verdunstung), sondern auch die Parameter

die den Niederschlag bedingen bzw. beeinflussen, wie z.B. Wolkenausdehnung, Struktur des Niederschlages, Wasserdampftransport, Eisbedeckung, Bodenfeuchte etc. Diese Größen werden ebenfalls durch Messungen einzelner Partner validiert.

### Vernetzung der Teilprojekte mit dem Gesamtsystem

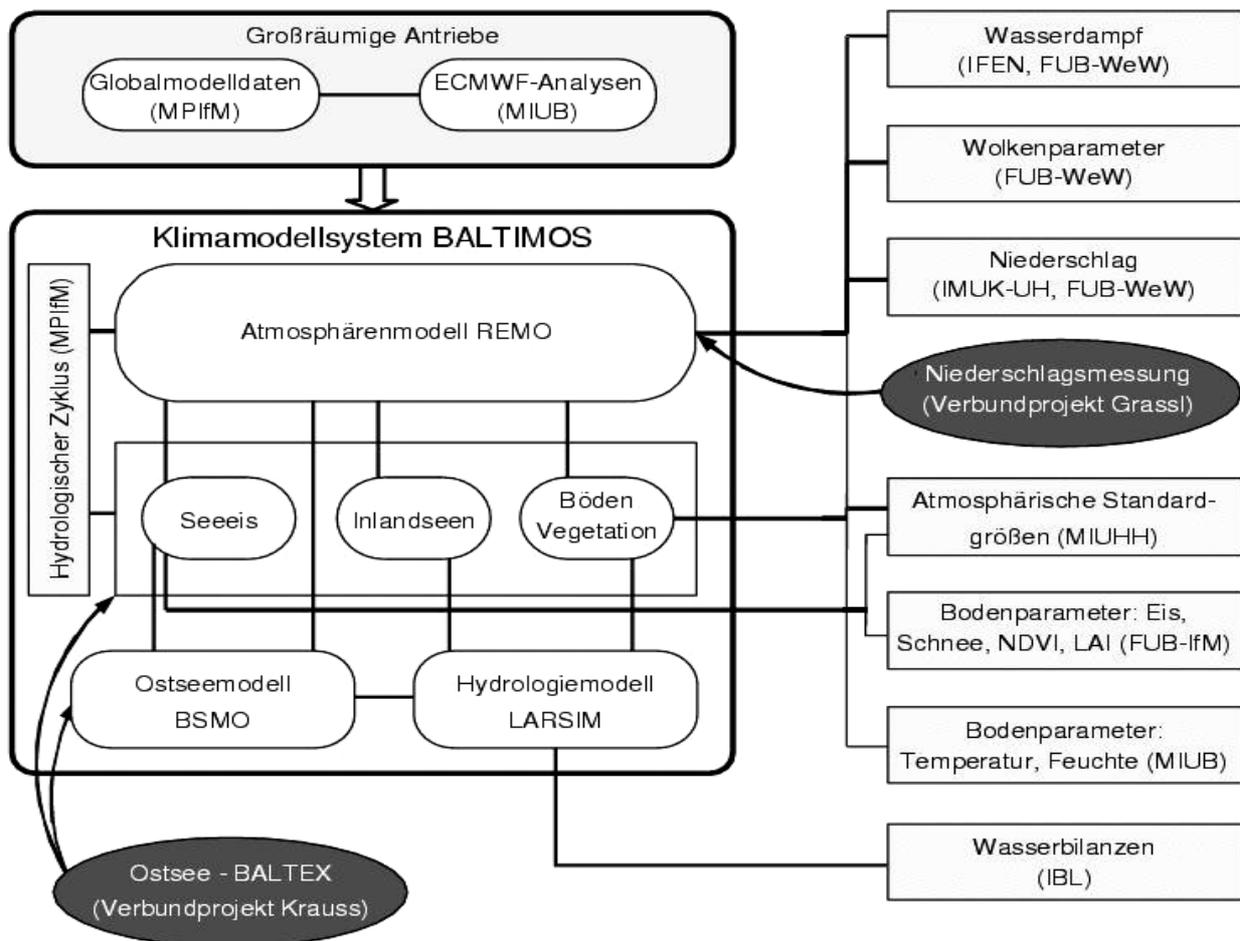


Abb. 5: Übersicht über die Teilprojekte des Verbundes

Folgende Institutionen nehmen an dem Projekt teil:

- MPIfM = Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg
- IBL = Dr. K. Ludwig, Beratender Ingenieur Wasserwirtschaft - Wasserbau, Karlsruhe
- IFEN = Institut für Erdmessung und Navigation, Universität der Bundeswehr München
- IMUKH = Institut für Meteorologie und Klimatologie, Universität Hannover, Hannover
- MIUB = Institut für Meteorologie, Freie Universität Berlin, Berlin
- FUBWeW = Institut für Weltraumwissenschaften, Freie Universität Berlin, Berlin
- MIUHH = Meteorologisches Institut, Universität Hamburg, Hamburg
- MIUB = Meteorologisches Institut, Universität Bonn, Bonn

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Für das BALTEX-Einzugsgebiet wird das gekoppeltes mesoskaliges Atmosphären-Hydrologie-Ozean-Modell (REMO-LARSIM-BSIMO) vorgestellt.

Erste Ergebnisse für das Jahr 1995 demonstrieren die signifikante Wirkung der Berücksichtigung der Gebietspeicherung sowie der Translation und Retention in den Gerinneabschnitten auf die Berechnung des Gesamtabflusses. Damit wird die Notwendigkeit einer Modellkopplung zwischen Atmosphärenmodell, Hydrologiemodell und Ozeanmodell deutlich. Das vorgestellte Verbundvorhaben umfaßt 8 Teilprojekte, die sich mit der Verifizierung einzelner Komponenten des Wasserkreislaufes im BALTEX-Einzugsgebiet beschäftigen. Nach Abschluß der Arbeiten im Jahre 2005 steht ein sehr gut validiertes gekoppeltes regionales Modellsystem zur Berechnung des Wasserkreislaufes zur Verfügung, daß in viele Gebiete der Erde übertragbar sein sollte und mit dem sicherere Prognosen unter zukünftige klimatische Bedingungen möglich sind.

## 6. Literatur

- BREMICKER M. 2000: Das Wasserhaushaltsmodell LARSIM – Modellgrundlagen und Anwendungsbeispiele. Freiburger Schriften zur Hydrologie, Institut für Hydrologie, University of Freiburg .
- DKRZ, 1994: The ECHAM 3 Atmospheric General Circulation Model, Deutsches Klimarechenzentrum, Technical Report No. 6, Revision 3, July 1994, Hamburg.
- DWD, 1995: Dokumentation des EM/DM-Systems. Deutscher Wetterdienst, Abteilung Forschung, Zentralamt, 63004 Offenbach am Main.
- GIBSON J.K. et al 1997: ERA Description. ECMWF Reanalysis project Report Series, Vol. 1, European Centre for Medium-Range Weather forecasts, 72 pp.
- JACOB D., 1995: REMO - a model for climate research and weather forecast. In: Conference proceedings of the first study conference on BALTEX, Visby, Sweden. International BALTEX Secretariat, Publication No. 3, p. 99.
- LEHMANN, A., 1995: A three-dimensional baroclinic eddy-resolving model of the Baltic Sea. Tellus 47A: 1013-1031
- LUDWIG K., 1989: Hochwasservorhersage für große, semiaride Einzugsgebiete am Beispiel des Gelben Flusses. Mitteilungen des Instituts für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau der Universität Hannover, Heft 70.
- RICHTER, K.-G., 1997: Wasserhaushaltsmodell für das Ostsee-Einzugsgebiet als Baustein eines Atmosphären-Hydrologie-Modells. Abschlußbericht für das vom Bundesministe-

rium für Bildung und Forschung geförderte Forschungsvorhaben. Ingenieurbüro Dr. K. Ludwig, Karlsruhe.

SEREEZE, H. C.; HURST, C. H. 2000: Representation of mean arctic precipitation from NCEP-NCAR and ERA reanalysis. J. of Climate, 13, pp. 182 – 201.

THOMSON N.,1981: The Meteorological Office rainfall and evaporation calculation system: MORECS (July 1981). Hydrological Memorandum No. 45, Meteorological Office (GB).

WILLIAMS J.R., 1969: Flood routing with variable travel time or variable storage coefficients. Transactions of the ASAE, p. 100.

ZHAO R.J., 1977: Flood forecasting method for humid regions of China. East China Institute of Hydraulic Engineering, Nanjing, China.

Autoren:

Karl-Gerd Richter und Karl Ludwig

Dr.-Ing. Karl Ludwig

Beratender Ingenieur Wasserwirtschaft-Wasserbau

76133 Karlsruhe, Herrenstr. 14, Tel. 0721/91251-0

Email: [buero.@ludwig-wawi.de](mailto:buero.@ludwig-wawi.de)

Internet: ludwig-wawi.de

01 LD 0027

1.2.2001 – 31.01.2005

## ANALYSIS OF THE WATER CYCLE OF THE BALTIC AREA UNDER PRESENT AND FUTURE CONDITIONS

Karl-Gerd Richter<sup>1</sup>, Karl Ludwig<sup>1</sup>, Daniela Jacob<sup>2</sup>, Philip Lorenz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ingenieurbüro Dr.-Ing. Karl Ludwig, Herrenstr. 14, 76133 Karlsruhe

<sup>2</sup>Max-Planck-Institut für Meteorologie, Bundesstr. 55, 20175 Hamburg

Karl-Gerd.Richter@t-online.de; <http://www.ludwig-wawi..de>

**Key words:** LARSIM, Water-Balance-Model, Climatic Change

### Introduction

The medium- and long-range prediction of climatological data has been improved significantly during the last ten years. Obviously until today a relevant deficit exists to analyse and to predict the climatological components.

The existing hydrological model LARSIM (Richter et al. 2003) for the Baltic area can be coupled directly to the climatic model REMO (Jacob 1995) of MPI Hamburg and to the ocean model BSIMO (Lehmann 1995) from the Kieler Institute of Ocean Science. A better estimation of the components of the hydrological cycle for the past, the present and the future should be possible.

### Model Design

The water balance model LARSIM is a mesoscale model to simulate the water balance of large river basins continuously. Not only does it incorporate the runoff generation in the areas and the translation and retention in the river channels, but also the processes of interception, evapotranspiration and water storage into the soil. Also artificial influences, such as storage basins diversions can be taken into account. The coupled model system REMO-BSIMO-LARSIM is able to simulate the complete hydrological cycle of the BALTEX basin (Fig. 1).



**Fig. 1:** The Baltex basin with modelgrid and river network

## First Results

The high temporal variability (Fig. 2) of the total runoff without retention is connected directly to the high temporal variability of the rainfall. The recognition of retention and translation from the areas and the river channels leads to a significant reduce of the runoff variability.

In Fig 3. the measured and calculated monthly runoff values for the BALTEX basin are shown for the year 1995. The REMO-LARSIM-BSIOM model can simulated the total runoff fairly well and more realistic by the recognising the retention and translation in the area and river channels. One possible reason for the time delay between the measured and calculated total runoff during spring may be the storage basin in the BALTEX basin, which are not yet implemented in the model.

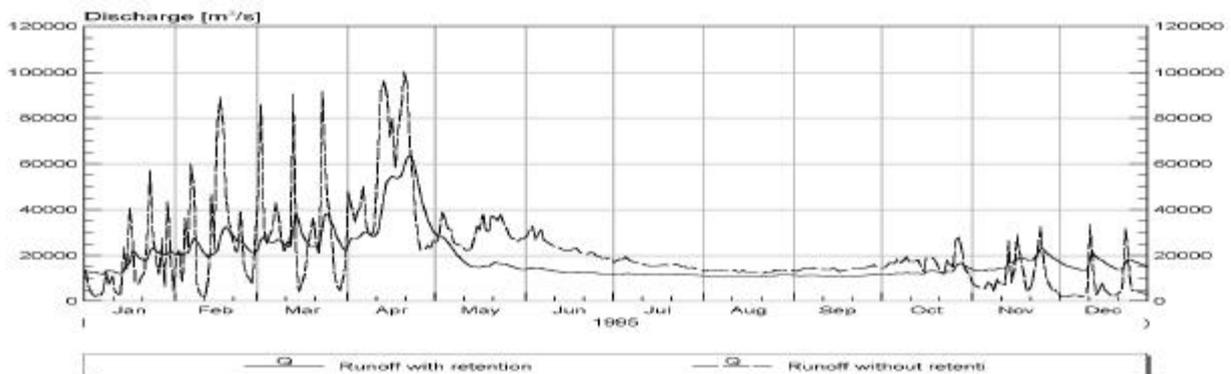


Fig. 2: Total runoff for the BALTEX basin with and without retention

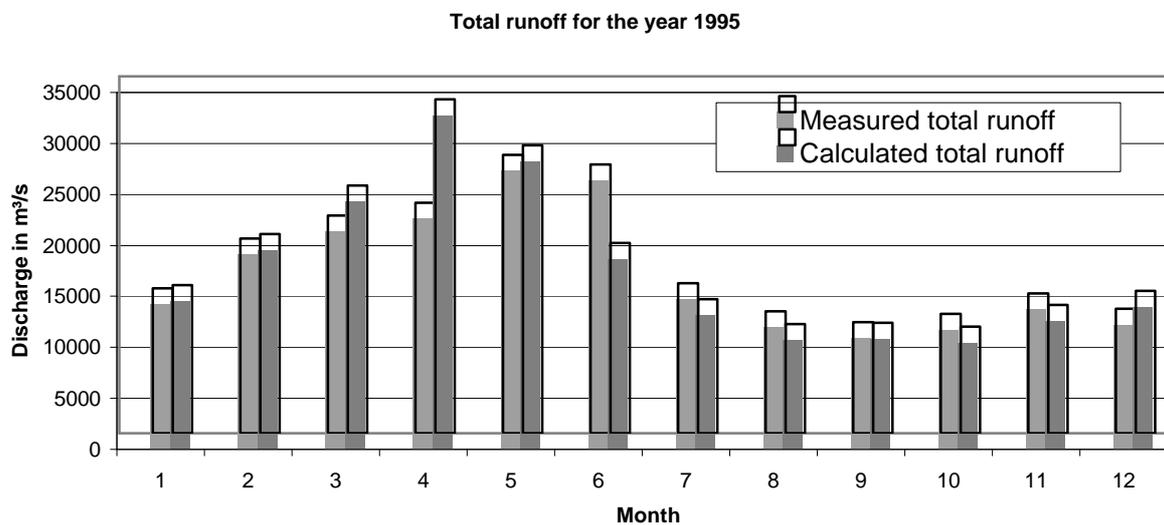


Fig. 3: Measured and calculated total runoff for the BALTEX basin

## References

- Jacob D., 1995, REMO - a model for climate research and weather forecast. In: Conference proceedings of the first study conference on BALTEX, Visby, Sweden. International BALTEX Secretariat, Publication No. 3, p. 99.
- Lehmann, A., 1995, A three-dimensional baroclinic eddy-resolving model of the Baltic Sea. Tellus 47A: 1013-1031.
- Richter K.-G., Ludwig K. 2003, Analyse des Wasserkreislaufes für das BALTEX Einzugsgebiet unter gegenwärtigen und zukünftigen klimatologischen Bedingungen, Tag der Hydrologie 21-22.3.2003, Freiburg im Breisgau, in press.

# Analysis of the water cycle for the BALTEX basin with an integrated atmospheric hydrological ocean model

Karl-Gerd Richter<sup>1</sup>, Philip Lorenz<sup>2</sup>, Martin Ebel<sup>1</sup>, Daniela Jacob<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ludwig Consultant Engineer, 76133 Karlsruhe, Herrenstr. 14, email: Karl-Gerd.Richter@ludwig-wawi.de

<sup>2</sup>Max-Planck Institut für Meteorologie, 20174 Hamburg, Bundesstrasse 55

## 1. Introduction

A major task of the Baltic Sea Experiment (BALTEX) is to simulate the whole water and energy cycle of the BALTIC basin to identify important processes, which are relevant to the energy and water cycle.

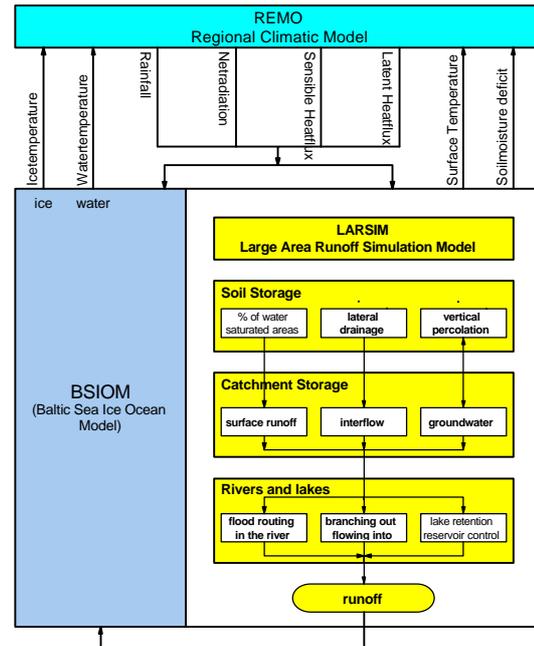
In this project “Development and Validation of a Integrated Model System in the Baltic Region” (BALTIMOS), which is funded by the German government a fully integrated model system for the Baltic Sea region, called BALTIMOS, will be developed. This is done by linking the existing model components REMO for atmosphere (Jacob 2001), BSIOM for the ocean and sea ice (Lehmann 1995), and LARSIM for the hydrology (Richter et al. 2003, Bremicker 2000).

In addition, a comprehensive validation of the integrated model for the Baltic Sea and its catchments area will be performed using data from a period of about two decades. Validation is a necessary condition to achieve reliable estimates of the water and energy budgets for the Baltic Sea area for present climate conditions.

## 2. Model Design

The model area of the atmospheric model covers a region between 0 and 30 degree East an 45 to 75 degree North with a horizontal grid mesh size of 1/6 degree. The water balance model LARSIM is a mesoscale model to simulate the water balance of large river basins continuously. Not only does it incorporate the runoff generation in areas and the translation and retention in river channels, but also the processes of interception, evapotranspiration and water storage in the soils and aquifers as well as artificial influences (e.g. storage

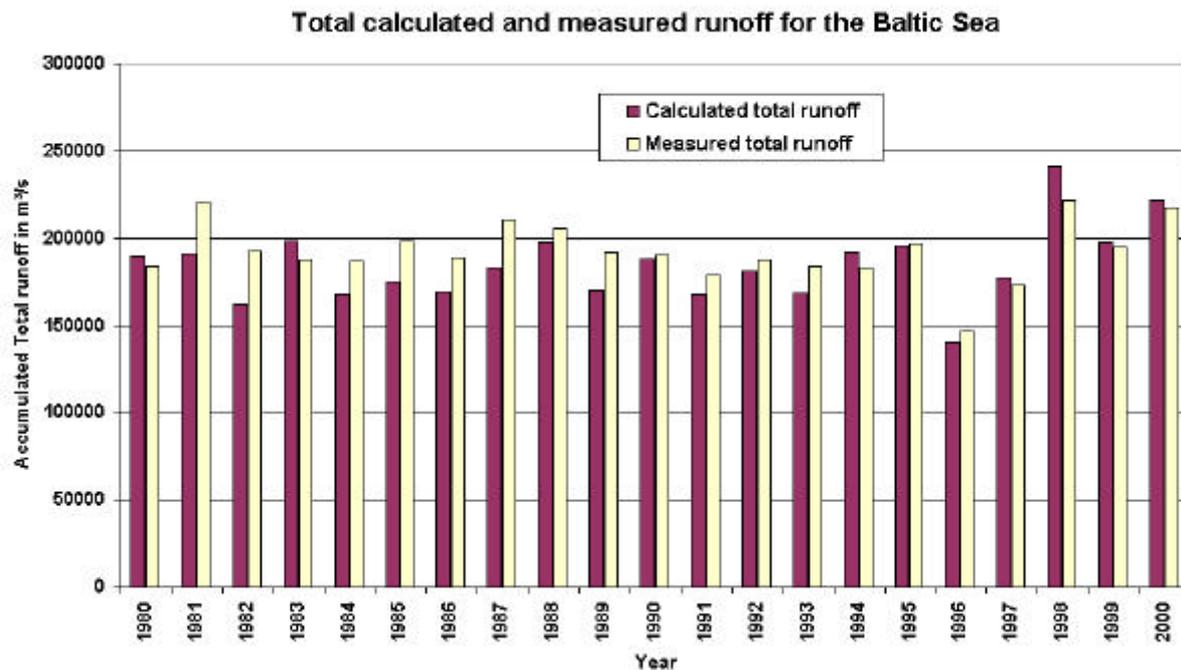
basins, diversions). A block diagram of the integrated model is shown in figure 1. The hydrological model area with catchments and river routing scheme is shown in figure 2.



**Figure 1:** Block diagram of the integrated atmospheric-hydrological-ocean model



**Figure 2.** BALTEX catchment area and river routing scheme of BALTIMOS



**Figure 3.** Accumulated total calculated and measured runoff for the Baltic Sea

### 3. First Results and Outlook

The validation is done in two steps. In the first step the runoff components of the non-integrated model are compared to measurements by using the meteorological output from the atmospheric model as input in the hydrological model LARSIM. The runoff is compared to measurement for two decades (1980 – 2000).

The results are shown in Figure 3. For a time series from 1980 to 2000 the accumulated measured and calculated total yearly runoff from land surface to the Baltic Sea can be seen. There is a little underestimation of the measured total runoff in contrast to the calculated total runoff until the year 1994. From the year 1995 to the year 2000 there is an overestimation of the calculated total runoff in contrast to the total measured runoff. The differences amount to about 10 to 15 percent.

More detailed regional and temporal analysis of the runoff will be shown at the conference.

In the second step runoff is calculated with the fully integrated model system and also compared to measurements. It is expected that the integrated model will lead to a better understanding of hydrological processes in atmospheric models and to improved results.

### References

- Bremicker M. (2000): Das Wasserhaushaltsmodell LAR-SIM-Modellgrundlagen und Anwendungsbeispiele, *Frei-burger Schriften zur Hydrologie*, Band 11, 2000.
- Jacob D. (2001): A note to simulation of the Annual and Interannual Variability of the Water Budget over the Baltic Sea Drainage Basin. *Meteorology and Atmospheric Physics* 77, No 1-4, 61-74, 2001.
- Lehmann A. (1995): A three-dimensional baroclinic eddy-resolving model of the Baltic Sea, *Tellus* 47A: 1013-1031, 1995.
- Richter K.-G., Ludwig K. (2003); Analysis of the Water Cycle of the Baltic Area under present and future Conditions, German Climate Research Program (2001 –2006), DEKLIM Status Seminar 2003, Bad Münstereifel, 6-8 Oktober 2003: 205-206.

# Analyse des Wasserkreislaufes für das Ostsee-Einzugsgebiet mit einem gekoppelten Atmosphären-Hydrologie-Ozean-Modell

Karl-Gerd Richter<sup>1</sup>, Philip Lorenz<sup>2</sup>, Martin Ebel<sup>1</sup>, Daniela Jacob<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ludwig Consultant Engineer, 76133 Karlsruhe, Herrenstr. 14, email: Karl-Gerd.Richter@ludwig-wawi.de

<sup>2</sup>Max-Planck Institut für Meteorologie, 20174 Hamburg, Bundesstr. 55

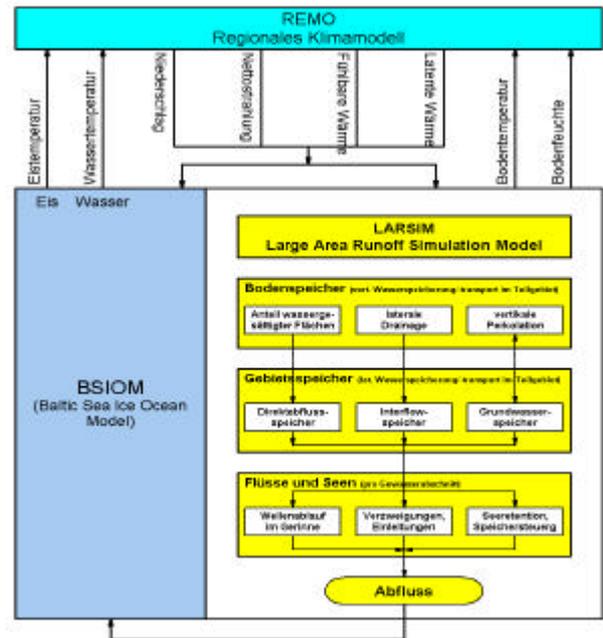
## 1. Einleitung

In dem gemeinsamen Verbundvorhaben BALTIMOS wird ein vollständig gekoppeltes Modellsystem aus bereits existierenden Modellkomponenten für die Atmosphäre (REMO, Jacob 2001), für die Ostsee und das Meereis (BSIOM, Lehmann 1995), für die Hydrologie (LARSIM, Bremicker 2000, Richter et al. 2003) sowie die Inlandseen und die Vegetation entwickelt. Die detaillierte Validierung dieses gekoppelten Modellsystems, welches das gesamte Ostsee-Einzugsgebiet überdeckt, mit Beobachtungen aus einem Zeitraum von etwa einer Dekade ist eine notwendige Voraussetzung, um den Wasser- und Energiehaushalt unter heutigen und veränderten Klimabedingungen zu bestimmen.

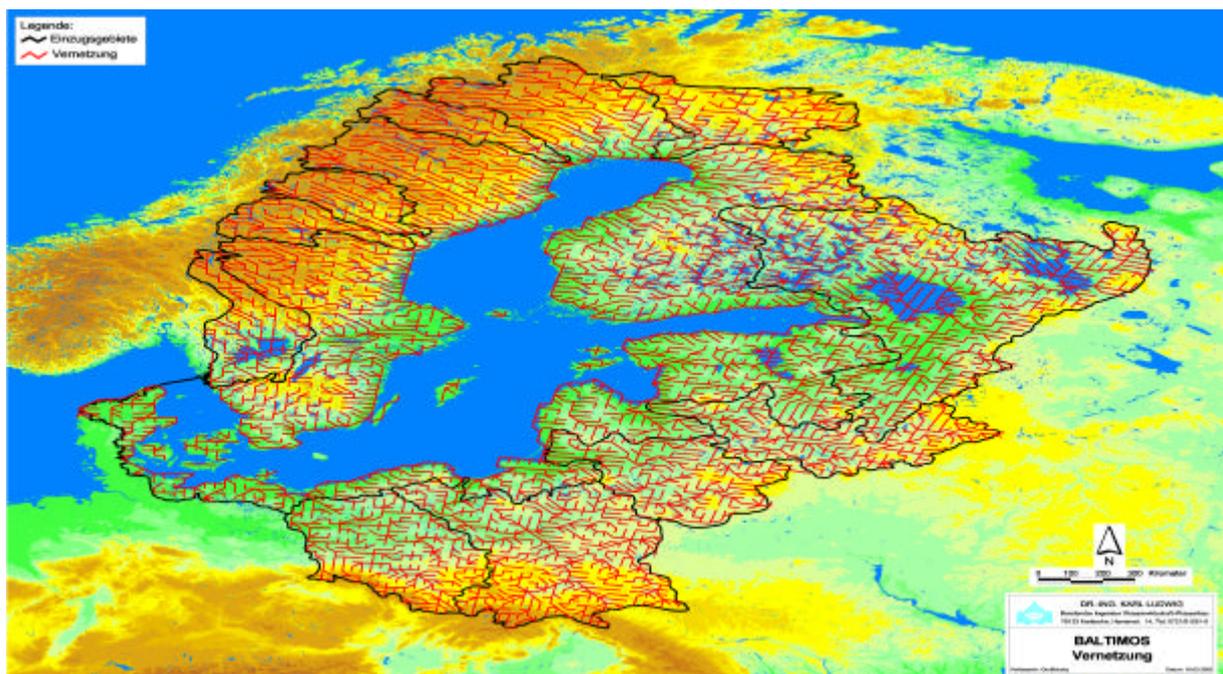
## 2. Modellstruktur

Das Modellnetz hat eine horizontale Auflösung von 1/6 Grad und bedeckt die Region zwischen 0 und 30 Grad Ost und 50 bis 75 Grad Nord. Die Nachbildung des Flussnetzes im Modell und damit die Vernetzung der Rasterflächen erfolgt durch ein Verschneiden eines vektorisierten Flussnetzes sowie eines digitalen Geländemodells mit dem vorgegebenen Modellraster. In LARSIM werden folgende Prozesse simuliert: Interzeption, aktuelle Evapotranspiration, Schneeschmelze (Akkumulation, Metamorphose und Ablation), Bodenwasser- und Grundwasserspeicherung, lateraler Wassertransport zu den Gewässern (Abflusskonzentration) sowie Translation und Retention im

Gewässer. Zudem können anthropogene Maßnahmen (z.B. Wassereinleitungen und -überleitungen sowie Abflussregelungen durch Rückhaltebecken) im Modell nachgebildet werden.



**Bild 1:** Blockdiagramm des gekoppelten Atmosphären-Hydrologie-Ozean-Modells

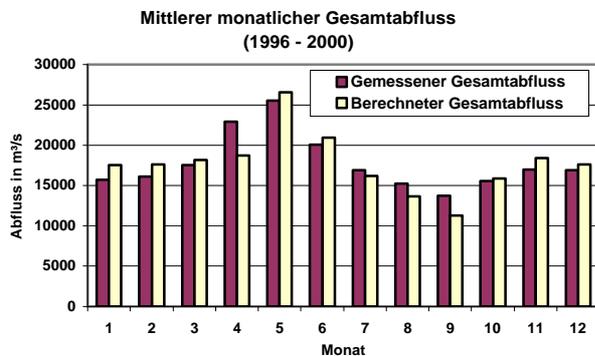


**Bild 2:** Modellgebiet mit lateralem Transportschema

### 3. Ergebnisse und Ausblick

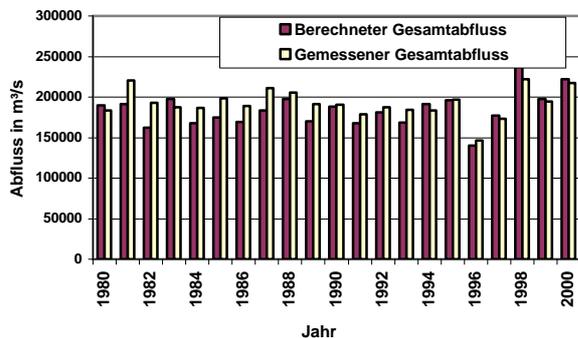
Umfangreiche Validierungen für den Abfluss aus dem Ostsee-Einzugsgebiet wurden durchgeführt. Solche Validierungen sind notwendig, um mit dem gekoppelten Modell realistische Berechnungen für den Wasser- und Energiehaushalt des Ostsee-Einzugsgebiets unter gegenwärtigen und zukünftigen klimatologischen Bedingungen zu erhalten.

Die Validierung des Abflusses wurde in drei Stufen durchgeführt. In der ersten Stufe wurden die Abflüsse mit gemessenen meteorologischen Inputdaten mit LARSIM für den Zeitraum 1996 bis 2000 berechnet und mit Messungen verglichen. Bild 3 zeigt die berechneten und gemessenen mittleren monatlichen Abflüsse für das gesamte Ostsee-Einzugsgebiet. Es ergibt sich eine gute Übereinstimmung zwischen den gemessenen und berechneten Abflüssen.



**Bild 3:** Validierung des Abflusses mit gemessenem meteorologischen Input

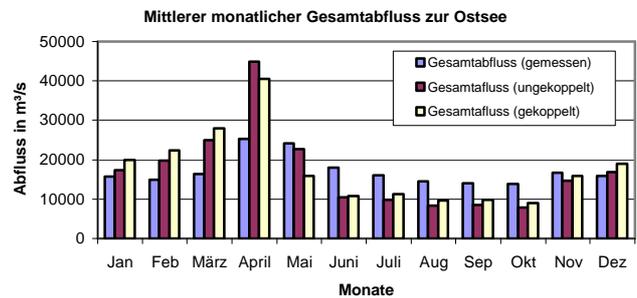
Im zweiten Schritt wurde REMO und LARSIM validiert. Das Bild 4 zeigt die gemessenen und berechneten Jahressummen für den Abfluss mit berechnetem meteorologischen REMO Input in LARSIM. Für den Zeitraum bis 1993 ergibt sich eine leichte Unterschätzung des berechneten Jahresabflusses und danach eine geringfügige Überschätzung.



**Bild 4:** Jahressummen für den Gesamtabfluss aus dem Ostsee-Einzugsgebiet für REMO und LARSIM

In einem dritten Schritt wird der Abfluss für das gekoppelte Modellsystem REMO-BSIOM-LARSIM validiert. Bild 5 zeigt für den mittleren monatlichen Gesamtabfluss zur Ostsee für einen Zeitraum von 1999 bis 2001. Im Winter und Frühjahr werden die

gemessenen Abflüsse deutlich überschätzt und im Sommer leicht unterschätzt. Für das gekoppelte und ungekoppelte Modell ergeben sich nur geringfügige Unterschiede für die berechneten mittleren monatlichen Abflüsse.



**Bild 5:** Mittlerer monatlicher Abfluss Gesamtabfluss zur Ostsee mit dem gekoppelten und ungekoppelten Modell

### 4. Literatur

- Bremicker M. (2000): Das Wasserhaushaltsmodell LARSIM – Modellgrundlagen und Anwendungsbeispiele, Freiburger Schriften zur Hydrologie, Band 11, 2000.
- Jacob D. (2001): A note to simulation of the Annual and Interannual Variability of the Water Budget over the Baltic Sea Drainage Basin. *Meteorology and Atmospheric Physics* 77, No 1-4, 61-74, 2001.
- Lehmann A. (1995): A three-dimensional baroclinic eddy-resolving model of the Baltic Sea, *Tellus* 47A: 1013-1031, 1995.
- Richter K.-G., Ludwig K. (2003): Analysis of the Water Cycle of the Baltic Area under present and future Conditions, German Climate Research Program (2001–2006), DEKLIM Status Seminar 2003, Bad Münstereifel, 6-8 Oktober 2003: 205-206.

# BALTIMOS – Teilprojekt 2: (01 LD0027)

## ANALYSE DES WASSERKREISLAUFES FÜR DAS BALTEX-EINZUGSGEBIET



Karl-Gerd Richter & Martin Ebel

Dr.-Ing. Karl Ludwig, Beratender Ingenieur Wasserwirtschaft-Wasserbau  
Herrenstr. 14, 76133 Karlsruhe, Karl-Gerd.Richter@ludwig-wawi.de



Dr.-Ing. Karl Ludwig  
Beratender Ingenieur Wasserwirtschaft-Wasserbau  
76133 Karlsruhe Herrenstraße 14 0721/ 91251-0  
www.ludwig-wawi.de

### 1. Einleitung

In dem gemeinsamen Verbundvorhaben BALTIMOS wird ein vollständig gekoppeltes Modellsystem aus bereits existierenden Modellkomponenten für die Atmosphäre (REMO), für die Ostsee und das Meereis (BSIOM), für die Hydrologie (LARSIM) sowie die Inlandseen und die Vegetation entwickelt. Die detaillierte Validierung dieses gekoppelten Modellsystems, welches das gesamte BALTEX-Einzugsgebiet überdeckt, mit Beobachtungen aus einen Zeitraum von etwa einer Dekade ist eine notwendige Voraussetzung, um den Wasser- und Energiehaushalt unter heutigen und veränderten Klimabedingungen zu bestimmen.

### 2. Theoretische Modellgrundlagen

Die räumliche und zeitliche Verteilung der meteorologischen Parameter im BALTEX-Einzugsgebiet wurden mit Hilfe des REgionalen KlimaMOdells REMO (Jacob, 1995) berechnet. Das Kieler Ostseemodell BSIMO (Lehman, 1995) wurde bisher zur Untersuchung der allgemeinen Zirkulation der Ostsee, mesoskaliger Prozesse, Deckschichtprozesse, Wassermassenaustausch zwischen Nord- und Ostsee, Eisbedeckung und Driftstudien angewendet. Das hydrologische Large Area Runoff Simulation Model LARSIM (Bremicker 2000, Richter&Ludwig 2003) enthält Modellansätze auf Basis physikalischer Modellkonzepte sowohl für den vertikalen als auch lateralen Wassertransport. Der laterale Transport wird über drei lineare Einzelspeicher für den Oberflächenabfluss, den Zwischenabfluss und den Grundwasserabfluss beschrieben. Die Laufzeiten sowie die Retention in den Gewässern wird über hydrologische Verfahren zur Wellenverformung im Gerinne berechnet.

### 3. Modellaufbau und -anwendung

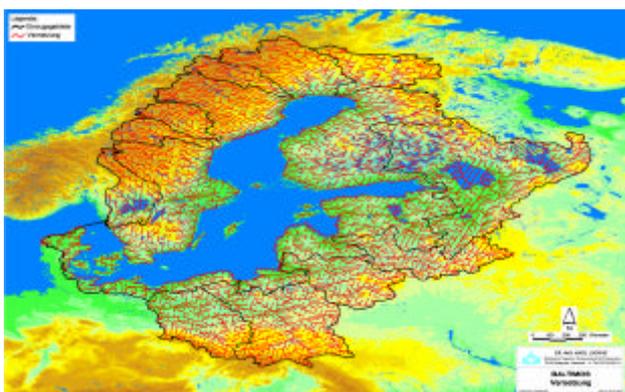


Bild 1: Modellgebiet mit lateralem Transportschema

Im mesoskaligen BALTEX-Einzugsgebiet beträgt die Rasterweite etwa 18 km. Für das ca. 1.700.000 km<sup>2</sup> große BALTEX Einzugsgebiet ergeben sich ca. 5.300 Rasterflächen für das Wasserhaushaltsmodell (siehe Bild 1).

In Bild 2 sind die Ergebnisse für das BALTEX-Einzugsgebiet für den Gesamtabfluss mit und ohne laterales Transportmodell dargestellt. Die hohe zeitliche Variabilität des Gesamtabflusses ohne Berücksichtigung der Gebietsspeicherung ist eine direkte Reaktion auf die hohen zeitliche Variabilität des Niederschlages. Durch die Berücksichtigung der Gebietsspeicherung sowie der Translation und Retention in den Gewässerabschnitten wird eine deutliche Dämpfung der zeitlichen Variabilität erreicht. Insgesamt wird hierdurch eine deutlich realistischere Nachbildung des Gesamtabflusses erreicht. Ein Vergleich der so berechneten mittleren monatlichen Gesamtabflüsse im BALTEX-Einzugsgebiet für das Jahr 1995 ist in Bild 3 dargestellt.

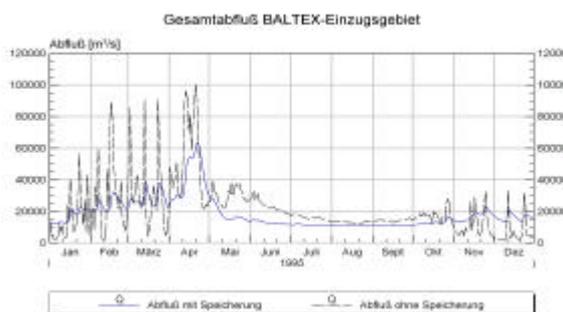


Bild 2: Gesamtabfluß für das BALTEX-Einzugsgebiet mit und ohne Speicherung

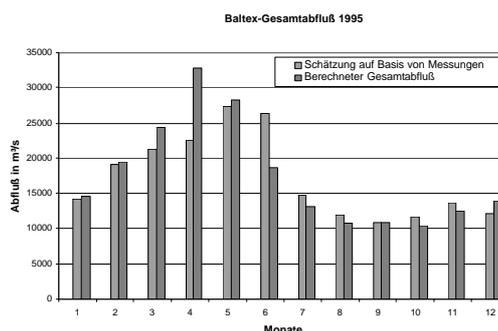


Bild 3: Berechneter und gemessenen monatlicher Gesamtabfluss mit Speicherung für das Jahr 1995

Literatur: BREMICKER, M. 2000: Das Wasserhaushaltsmodell LARSIM – Modellgrundlagen und Anwendungsbeispiele. Freiburger Schriften zur Hydrologie, Institut für Hydrologie, University of Freiburg.  
JACOB D., 1995: REMO – a model for climate research and weather forecast. In: Conference proceedings of the first study conference on BAL-TEX, Visby, Sweden. International BALTEX Secretariat, Publ. No. 3, p. 99.  
LEHMANN, A., 1995: A three-dimensional baroclinic eddy-resolving model of the Baltic Sea. Tellus 47A: 1013-1031  
RICHTER, K.G.+LUDWIG K. 2003: Analyse des Wasserkreislaufes für das BALTEX Einzugsgebiet unter gegenwärtigen und zukünftigen klimatologischen Bedingungen, Berichte zum Tag der Hydrologie am 20/21 März 2003. Freiburger Schriften zur Hydrologie, Institut für Hydrologie der Universität Freiburg (im Druck).



Prozessstudien im Ostseeraum  
Deutsches Klimaforschungsprogramm





Karl-Gerd Richter <sup>1)</sup>, Philip Lorenz <sup>2)</sup>, Martin Ebel <sup>1)</sup>, Daniela Jacob <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Dr.-Ing. Karl Ludwig, Beratender Ingenieur Wasserwirtschaft-Wasserbau  
Herrenstr. 14, 76133 Karlsruhe, karl-gerd.richter@ludwig-wawi.de

<sup>2)</sup> Max-Planck Institut für Meteorologie, Bundesstrasse 53, 20147 Hamburg

Max-Planck-Institut für Meteorologie  
Max Planck Institute for Meteorology



**1. Introduction**

Major objectives of the BALTEX Sea Experiment (BALTEX) are to determine the water and energy budgets for the Baltic Sea and its basin area as well as to identify and to understand the processes, which are influencing the water and energy cycles. Therefore, a fully coupled model system for the Baltic Sea region, called BALTIMOS, has been developed by linking existing model components for the atmosphere (model REMO, Jacob 2001), for the ocean including sea ice (model BSIOM, Lehmann 1995), for the hydrology (model LARSIM, Bremicker 2000, Richter & Ludwig 2003) as well as for lakes and vegetation.

**2. Theoretical Background**

The water balance model LARSIM is a mesoscale model to simulate the water balance of large river basins continuously. Not only does it incorporate the runoff generation in the areas and the translation and retention in the river channels, but also the processes of interception, evapotranspiration and soil water storage. Also artificial influences, such as storage basins diversions can be taken into account. The coupled model system REMO-BSIOM-LARSIM is able to simulate the complete hydrological cycle of the BALTEX basin (Figure 1).

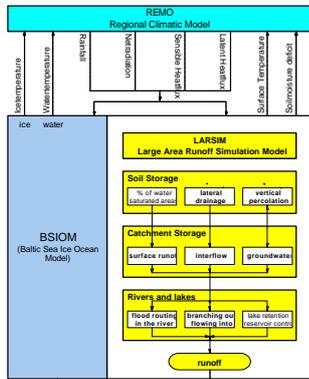


Figure 1: Model scheme of the combined model

Figure 2 shows the lateral transport scheme of the coupled model. The flow direction of each grid element is given by one of eight possible flow directions, recognising the slope and the river system. Catchment storage is calculated for direct runoff, interflow and groundwater runoff separately for up to 16 land use classes within each grid element. River routing is calculated using the method of Williams, river profiles are estimated using a geomorphological approach.

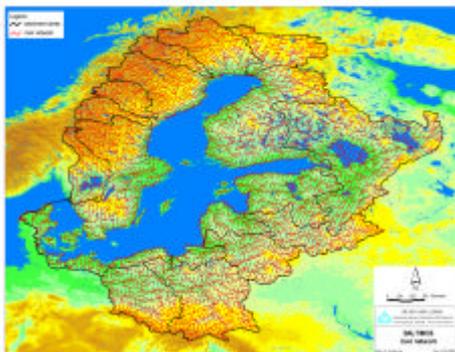


Figure 2: The Baltic basin with model grid and river network

**3. Results**

A comprehensive validation of the coupled model for the Baltic Sea and its catchment area will be performed using data from a period of about two decades. Validation is a necessary requirement in order to achieve reliable estimates of the water and energy budgets for the Baltic Sea area not only for present climate conditions but also for future large-scale climate changes.

The validation is done in three steps. In the first step the validation is carried out with measured meteorological data input for a period from 1996 to 2000. Figure 3 shows the measured and calculated sums of monthly runoff for the Baltic Basin.

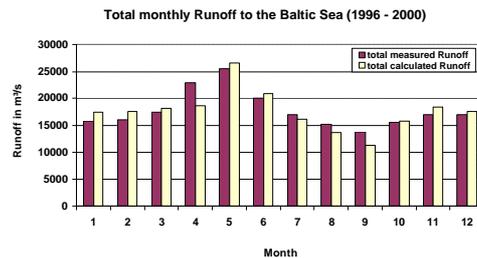


Figure 3: Validation of runoff with measured meteorological input data

In the second step the validation is performed for REMO and LARSIM. Figure 4 displays the measured and calculated sums of runoff using REMO meteorological input data. There is an underestimation of the yearly total runoff until 1993, conditioned by an overestimation of evapotranspiration.

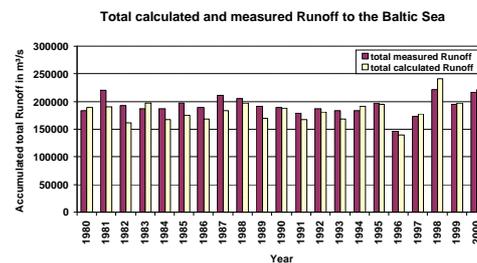


Figure 4: Validation of runoff with REMO and LARSIM

In the third step the coupled model REMO-BSIOM-LARSIM system is validated. Figure 5 shows the result for monthly discharge for a period from March 2002 to September 2003 for the gauge Hohensaaten/Odra. There is an overestimation of the calculated runoff during winter and an underestimation during summer. The effect of using the coupled model to calculate runoff seems rather small. More detailed analysis is planned to be done in future.

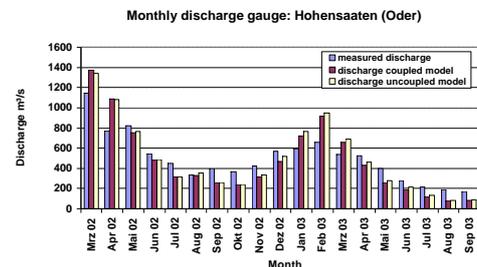


Figure 5: Validation of runoff for the coupled model

Literature: BREMICKER, M., 2000: Das Wasserhaushaltsmodell LARSIM – Modellgrundlagen und Anwendungsbeispiele. Freiburger Schriften zur Hydrologie, Institut für Hydrologie, University of Freiburg.  
JACOB, D., 2001: REMO - a model for climate research and weather forecast. In: Conference proceedings of the first study conference on BALTEX, Visby, Sweden. International BALTEX Secretariat, Publ. No. 3, p. 99.  
LEHMANN, A., 1995: A three-dimensional baroclinic eddy-resolving model of the Baltic Sea. Tellus 47A: 1013-1031.  
RICHTER, K.-G. & LUDWIG, K., 2003: Analyse des Wasserkreislaufes für das BALTEX Einzugsgebiet unter gegenwärtigen und zukünftigen klimatischen Bedingungen. Berichte zum Tag der Hydrologie am 20./21. März 2003. Freiburger Schriften zur Hydrologie, Institut für Hydrologie, University of Freiburg.





## Berichtsblatt

|  |                                    |   |
|--|------------------------------------|---|
| 1. ISBN oder ISSN  | 2. Berichtsart<br>Abschlussbericht |   |
| 3a. Titel des Berichts<br>Analyse des Wasserkreislauf für das Ostsee Einzugsgebiet mit einem gekoppelten Atmosphären-Hydrologie-Ozean Modell   |                                    |   |
| 3.) Titel der Publication<br>Richter K.-G., Lorenz P., Ebel M., Jacob D 2004: "Analysis of the Water Cycle for the BALTEX Basin within an Integrated Atmospheric Hydrological Ocean Model". Fourth Study Conference on BALTEX, Gudhjem, Bornholm, Denmark 24 – 28 May 2004, ISSN 1681-647  |                                    |   |
| 4a. Autoren des Berichts (Name, Vorname(n))<br>Karl-Gerd Richter   |                                    | 5. Abschlussdatum des Vorhabens<br>31.01.2005 |
| 4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname(n))<br>Richter K.-G., Lorenz P., Ebel M., Jacob D 2004  |                                    | 6. Veröffentlichungsdatum<br>August 2004      |
|  |                                    | 7. Form der Publikation<br>Abstracts          |
| 8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)<br>Dr.-Ing. Karl Ludwig, Beratender Ingenieur Wasserwirtschaft-Wasserbau<br>76133 Karlsruhe, Herrenstr. 14  |                                    | 9. Ber. Nr. Durchführende Institution         |
|  |                                    | 10. Förderkennzeichen<br>*)01 LD0027          |
|  |                                    | 11a. Seitenzahl Bericht<br>31                 |
|  |                                    | 11b. Seitenzahl Publikation<br>20             |
|  |                                    | 12. Literaturangaben<br>15                    |
| 13. Fördernde Institution (Name, Adresse)<br><br>Bundesministerium für<br>Bildung und Forschung (BMBF)<br><br>53170 Bonn   |                                    | 14. Tabellen<br>4                             |
|  |                                    | 15. Abbildungen<br>16                         |
|  |                                    | 16. Zusätzliche Angaben                       |
| 17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)  |                                    |   |
| 18. Kurzfassung<br>In dem gemeinsamen Verbundvorhaben BALTIMOS wird ein vollständig gekoppeltes Modellsystem aus bereits existierenden Modellkomponenten für die Atmosphäre (REMO, Jacob 2001), für die Ostsee und das Meereis (BSIOM, Lehmann 1995), für die Hydrologie (LARSIM, Bremicker 2000, Richter et al. 2003) sowie die Inlandseen und die Vegetation entwickelt. Die detaillierte Validierung dieses gekoppelten Modellsystems, welches das gesamte Ostsee-Einzugsgebiet überdeckt, mit Beobachtungen aus einem Zeitraum von etwa einer Dekade ist eine notwendige Voraussetzung, um den Wasser- und Energiehaushalt unter heutigen und veränderten Klimabedingungen zu bestimmen. Für den mittleren monatlichen Gesamtabfluss zur Ostsee für einen Zeitraum von 1999 bis 2001 zeigt sich folgendes: Im Winter und Frühjahr werden die gemessenen Abflüsse deutlich überschätzt und im Sommer leicht unterschätzt. Für das gekoppelte und ungekoppelte Modell ergeben sich nur geringfügige Unterschiede für die berechneten mittleren monatlichen Abflüsse. |                                    |   |
| 19. Schlagwörter<br>Atmosphären-Hydrologie-Ozean-Modell, BALTIMOS, LARSIM  |                                    |   |
| 20. Verlag   |                                    | 21. Preis                                     |

\*) Auf das Förderkennzeichen des BMBF soll auch in der Veröffentlichung hingewiesen werden.

## Document Control Sheet

|  |                                   |                                     |
|--|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 1. ISBN or ISSN  | 2. Type of Report<br>Final Report |                                     |
| 3a. Report Title<br>Analyse des Wasserkreislauf für das Ostsee Einzugsgebiet mit einem gekoppelten Atmosphären-Hydrologie-Ozan Modell  |                                   |                                     |
| 3b. Title of Publication<br>Richter K.-G., Lorenz P., Ebel M., Jacob D 2004: "Analysis of the Water Cycle for the BALTEX Basin within an Integrated Atmospheric Hydrological Ocen Model". Fourth Study Conference on BALTEX, Gudhjem, Bornholm, Denmark 24 – 28 May 2004, ISSN 1681-647  |                                   |                                     |
| 4a. Author(s) of the Report (Family Name, First Name(s))<br>Karl-Gerd Richter  |                                   | 5. End of Project<br>31.1.2005      |
| 4b. Author(s) of the Publication (Family Name, First Name(s))<br>Richter K.-G., Lorenz P., Ebel M., Jacob D 2004   |                                   | 6. Publication Date<br>August 2005  |
| 8. Performing Organization(s) (Name, Address)<br>Dr.-Ing. Karl Ludwig, Beratender Ingenieur Wasserwirtschaft-Wasserbau<br>76133 Karlsruhe, Herrenstr. 14   |                                   | 7. Form of Publication<br>Abstract  |
| 13. Sponsoring Agency (Name, Address)<br><br>Bundesministerium für<br>Bildung und Forschung (BMBF)<br><br>53170 Bonn   |                                   | 9. Originator's Report No.          |
|  |                                   | 10. Reference No.<br>01 LD0027      |
|  |                                   | 11a. No. of Pages Report<br>31      |
|  |                                   | 11b. No. of Pages Publication<br>20 |
| 16. Supplementary Notes  |                                   | 12. No. of References<br>15         |
|  |                                   | 14. No. of Tables<br>4              |
|  |                                   | 15. No. of Figures<br>16            |
| 17. Presented at (Title, Place, Date)  |                                   |                                     |
| 18. Abstract<br>A major task of the Baltic Sea Experiment (BALTEX) is to simulate the whole water and energy cycle of the BALTIC basin to identify important processes, which are relevant to the energy and water cycle. In this project "Development and Validation of a Integrated Model System in the Baltic Region" (BALTIMOS), which is funded by the German government a fully integrated model system for the Baltic Sea region, called BALTIMOS, will be developed. This is done by linking the existing model components REMO for atmosphere (Jacob 2001), BSIOM for the ocean and sea ice (Lehmann 1995), and LARSIM for the hydrology (Richter et al. 2003, Bremicker 2000). In addition, a comprehensive validation of the integrated model for the Baltic Sea and its catchments area will be performed using data from a period of about two decades. Validation is a necessary condition to achieve reliable estimates of the water and energy budgets for the Baltic Sea area for present climate conditions. The result for monthly discharge for a period from March 2002 to September 2003 for the total runoff to the Eas-Sea shows an overestimation of the calculated runoff during winter and an underestimation during summer. The effect of using the coupled model to calculate runoff seems rather small, but the coupled model system is able to simulate the water cycle of the BALTEX area under climate condicions independently of boundary conditions from the ocean (i. e. sea surface temperature etc.). |                                   |                                     |
| 19. Keywords<br>BALTIMOS, Combined Atmospheric-Ocean-Hydrology-Model, LARSIM   |                                   |                                     |
| 20. Publisher  |                                   | 21. Price                           |



**DR.-ING. KARL LUDWIG**

Beratender Ingenieur Wasserwirtschaft - Wasserbau  
76133 Karlsruhe, Herrenstraße 14, Tel. 0721/91251-0

**Forschungsvorhaben:01 LD0027  
unterstützt durch das  
Bundesministerium für Bildung und Forschung**

**ANALYSE DES WASSERKREISLAUFES FÜR DAS  
OSTSEE-EINZUGSGEBIET MIT EINEM GEKOPPELTEN  
ATMOSPÄREN-OZEAN-HYDROLOGIE MODELL**

**- ERFOLGSKONTROLLBERICHT -**

**Bearbeiter:  
Dr.-Ing. Karl-Gerd Richter**

**Karlsruhe, Mai 2005**

# **ANALYSE DES WASEERKREISLAUFES FÜR DAS OSTSEEEINZUGSGEBIET MIT EINEM GEKOPPELTEN ATMOSPÄREN-OZEAN-HYDROLOGIE MODELL**

## **- Erläuterungsbericht -**

|                                  | Seite |
|----------------------------------|-------|
| - INHALT -                       |       |
| 1. Auftrag und Veranlassung..... | 1     |
| 2. Zusammenfassung.....          | 2     |
| 3. Erfolgskontrolle .....        | 3     |

## 1. AUFTRAG UND VERANLASSUNG

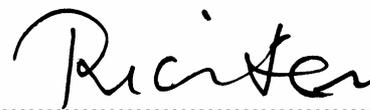
Am 26. September 2000 wurde der Neuantrag zum Thema " Entwicklung und Validierung eines gekoppelten Modellsystems in der Ostseeregion“ vom Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg und verschiedenen Verbundpartnern u.a. dem Ingenieurbüro Dr.-Ing. Karl Ludwig, Karlsruhe gestellt. Das Forschungsvorhaben wurde insgesamt 4 Jahre vom 1.2.2001 bis 31.1.2005 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert.

In dem gemeinsamen Verbundvorhaben BALTIMOS wird ein vollständig gekoppeltes Modellsystem aus bereits existierenden Modellkomponenten für die Atmosphäre (REMO, Jacob 2001), für die Ostsee und das Meereis (BSIOM, Lehmann 1995), für die Hydrologie (LARSIM, Bremicker 2000, Richter et al. 2003) sowie die Inlandseen und die Vegetation entwickelt. Die detaillierte Validierung dieses gekoppelten Modellsystems, welches das gesamte Ostsee-Einzugsgebiet überdeckt, mit Beobachtungen aus einem Zeitraum von etwa einer Dekade ist eine notwendige Voraussetzung, um den Wasser- und Energiehaushalt unter heutigen und veränderten Klimabedingungen zu bestimmen.

Karlsruhe, im Mai 2005



.....  
(Dr.-Ing. Karl Ludwig)



.....  
(Dr.-Ing. Karl - Gerd Richter)

## 2. ZUSAMMENFASSUNG

In dem gemeinsamen Verbundvorhaben BALTIMOS wird ein vollständig gekoppeltes Modellsystem aus bereits existierenden Modellkomponenten für die Atmosphäre (REMO, Jacob 2001), für die Ostsee und das Meereis (BSIOM, Lehmann 1995), für die Hydrologie (LARSIM, Bremicker 2000, Richter et al. 2003) sowie die Inlandseen und die Vegetation entwickelt. Die detaillierte Validierung dieses gekoppelten Modellsystems, welches das gesamte Ostsee-Einzugsgebiet überdeckt, mit Beobachtungen aus einem Zeitraum von etwa einer Dekade ist eine notwendige Voraussetzung, um den Wasser- und Energiehaushalt unter heutigen und veränderten Klimabedingungen zu bestimmen.

Das Modellnetz hat eine horizontale Auflösung von 1/6 Grad und bedeckt die Region zwischen 0 und 30 Grad Ost und 50 bis 75 Grad Nord. Die Nachbildung des Flussnetzes im Modell und damit die Vernetzung der Rasterflächen erfolgt durch ein Verschneiden eines vektorisierten Flussnetzes sowie eines digitalen Geländemodells mit dem vorgegebenen Modellraster: In LARSIM werden folgende Prozesse simuliert: Interzeption, aktuelle Evapotranspiration, Schneeschmelze (Akkumulation, Metamorphose und Ablation), Bodenwasser- und Grundwasserspeicherung, lateraler Wassertransport zu den Gewässern (Abflusskonzentration) sowie Translation und Retention im Gewässer. Zudem können anthropogene Maßnahmen (z.B. Wassereinleitungen und -überleitungen sowie Abflussregelungen durch Rückhaltebecken) im Modell nachgebildet werden.

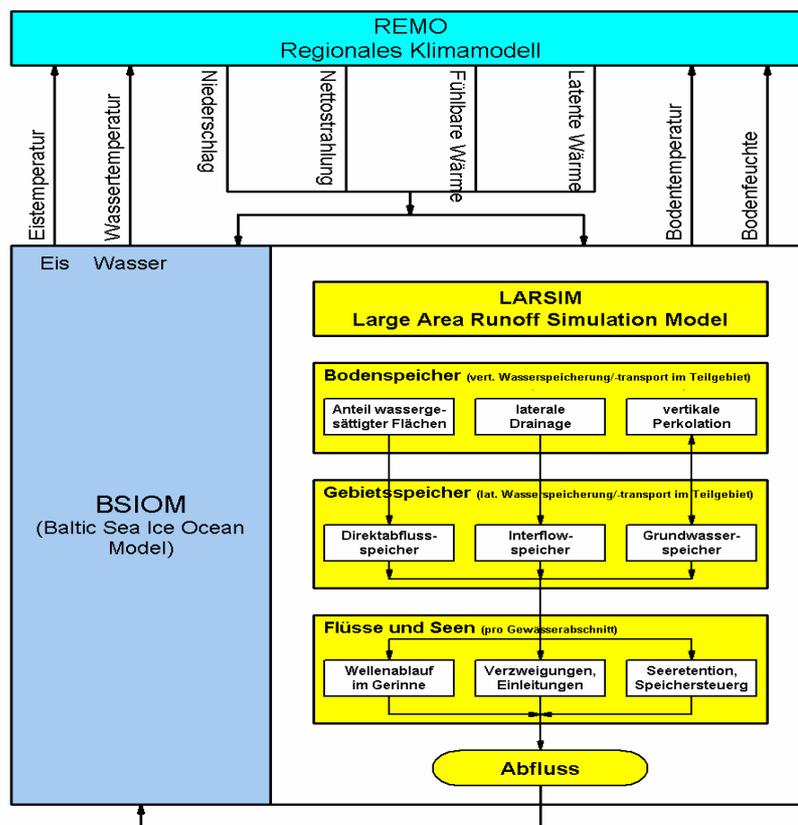


Bild 1: Blockdiagramm des gekoppelten Atmosphären-Ozean-Hydrologie-Modells

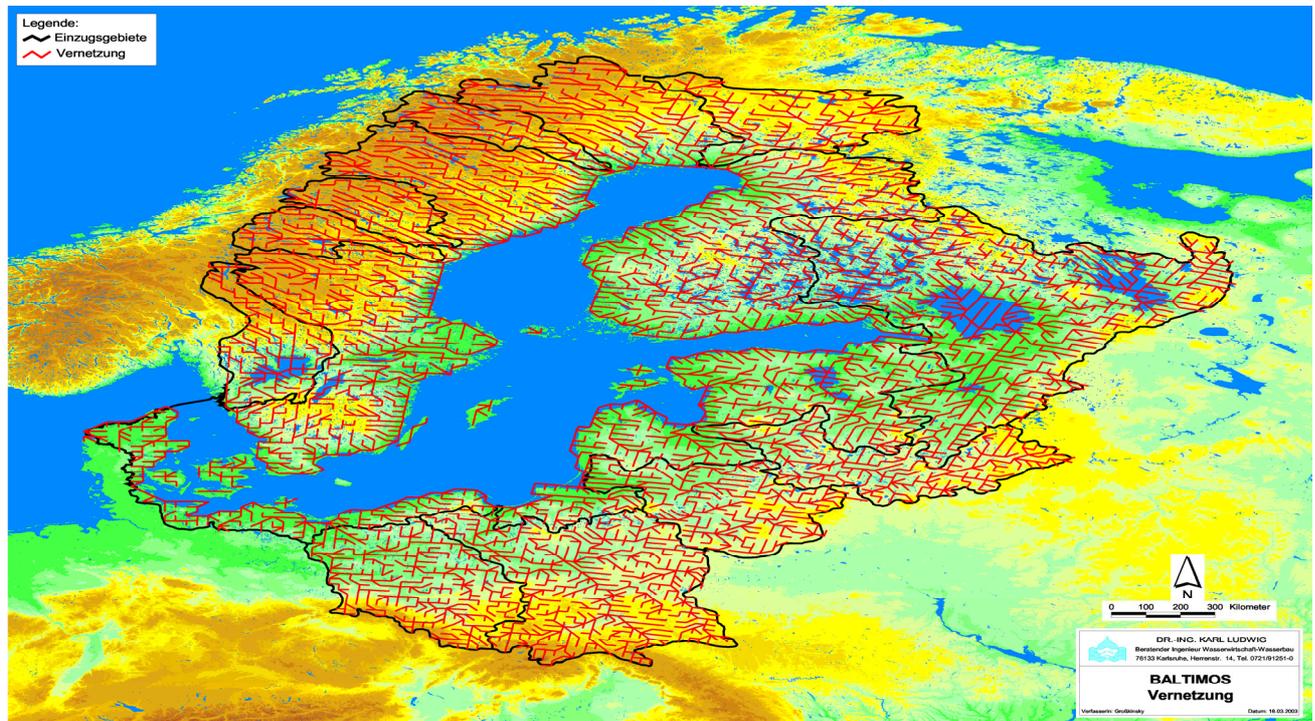


Bild 2: Modellgebiet mit lateralem Transportschema

Umfangreiche Validierungen für den Abfluss aus dem Ostsee-Einzugsgebiet wurden durchgeführt. Solche Validierungen sind notwendig, um mit dem gekoppelten Modell realistische Berechnungen für den Wasser- und Energiehaushalt des Ostsee-Einzugsgebiets unter gegenwärtigen und zukünftigen klimatologischen Bedingungen zu erhalten.

Die Validierung des Abflusses wurde in drei Stufen durchgeführt. In der ersten Stufe wurden die Abflüsse mit gemessenen meteorologischen Inputdaten mit LARSIM für den Zeitraum 1996 bis 2000 berechnet und mit Messungen verglichen. Bild 3 zeigt die berechneten und gemessenen mittleren monatlichen Abflüsse für das gesamte Ostsee-Einzugsgebiet. Es ergibt sich eine gute Übereinstimmung zwischen den gemessenen und berechneten Abflüssen.

Im zweiten Schritt wurde REMO und LARSIM validiert. Das Bild 4 zeigt die gemessenen und berechneten Jahressummen für den Abfluss mit berechnetem meteorologischen REMO Input in LARSIM. Für den Zeitraum bis 1993 ergibt sich eine leichte Unterschätzung des berechneten Jahresabflusses und danach eine geringfügige Überschätzung.

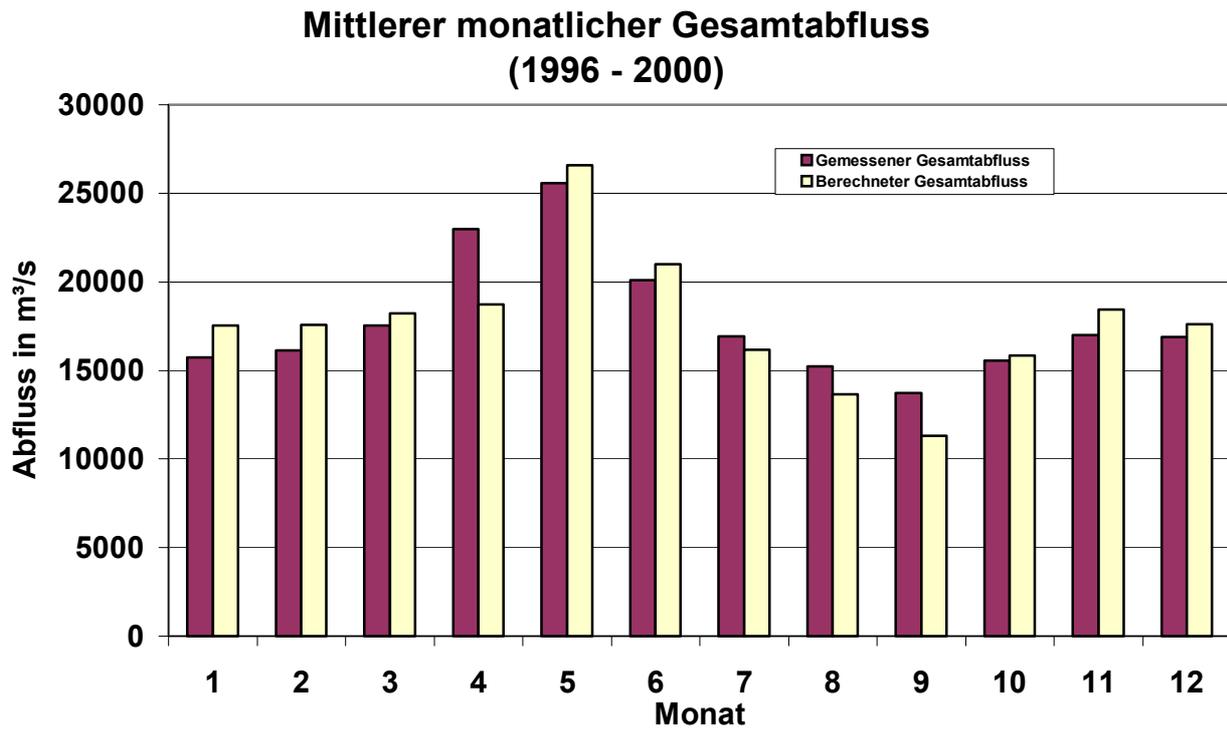


Bild 3: Validierung des Abflusses mit gemessenem meteorologischen Input

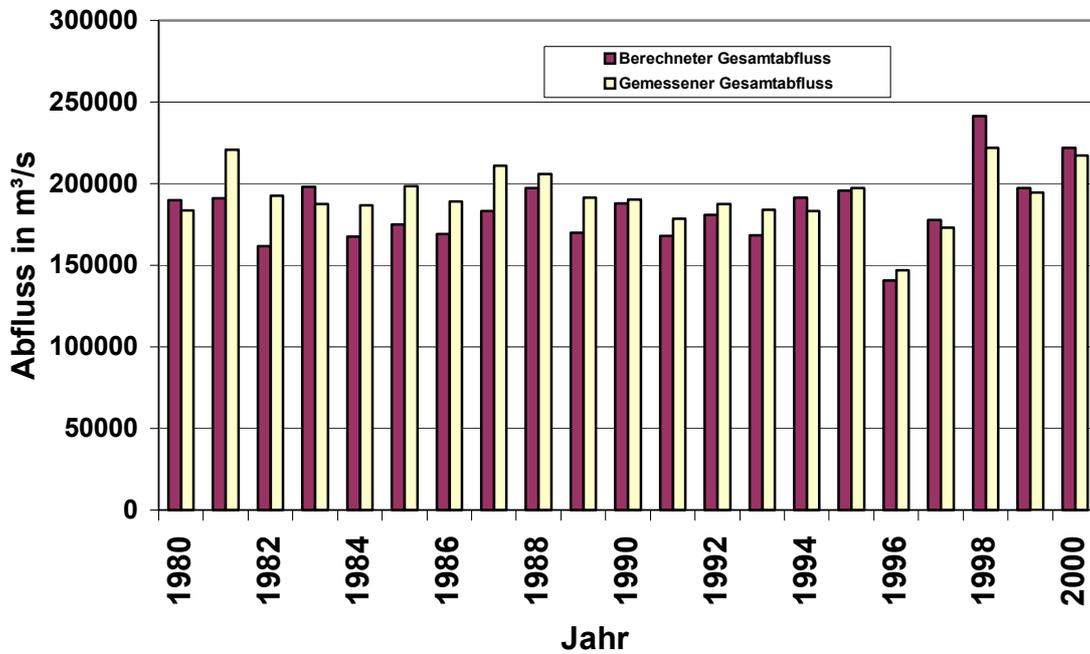
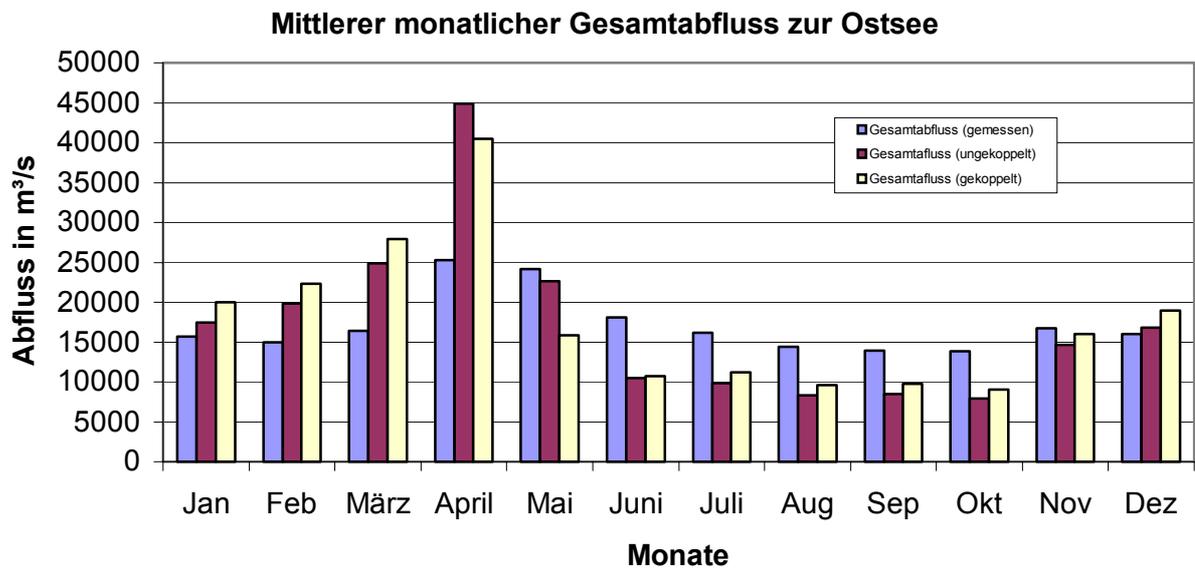


Bild 4: Jahressummen für den Gesamtabfluss aus dem Ostsee-Einzugsgebiet für REMO und LARSIM

In einem dritten Schritt wird der Abfluss für das gekoppelte Modellsystem REMO-BSIOM-LARSIM validiert. Bild 5 zeigt für den mittleren monatlichen Gesamtabfluss zur Ostsee für einen Zeitraum von 1999 bis 2001. Im Winter und Frühjahr werden die gemessenen Abflüsse deutlich überschätzt und im Sommer leicht unterschätzt. Für das gekoppelte und ungekoppelte Modell ergeben sich nur geringfügige Unterschiede für die berechneten mittleren monatlichen Abflüsse.



**Bild 5:** Mittlerer monatlicher Gesamtabfluss zur Ostsee mit dem gekoppelten und ungekoppelten Modell

### **3. ERFOLGSKONTROLLE**

#### **Beitrag zu den förderpolitischen Zielen**

Die Ziele des Verbundprojektes entsprechen den Richtlinien über die Förderung des deutschen Klimaforschungsprogrammes DEKLIM vom 28.12.1999 und den Ausführungen in *Notwendiger Forschungsbedarf zum Förderschwerpunkt GEWEX/BALTEX* des BMBF vom 5.10.1999.

Das im Projekt entwickelte und validierte Modellsystem BALTIMOS für das Ostsee-Einzugsgebiet ist ein notwendiges und wertvolles Werkzeug, um die innerhalb von GEWEX/BALTEX existierenden Ziele zu erreichen. Im Projekt werden die Prozesse untersucht, die die Wasser- und Energiekreisläufe beeinflussen. Das Besondere dieses Projektes ist die Zusammenarbeit verschiedener Wissenschaftsdisziplinen, die gemeinsam die Wasser- und Energiehaushalte im Ostseeraum studieren. Hierfür wird besonderes Augenmerk auf die BALTEX/BRIDGE-Phase gelegt, die als Intensivmessphase exemplarisch angesehen werden kann. Ihre Einordnung in langjährige Zeitreihen liefert wertvolle Aussagen über die mittleren und extremen Zustände im Ostseeraum.

Es steht ein Instrument zur Verfügung, mit dem der Lebensraum Ostsee und seine gegebenenfalls zu erwartenden Veränderungen unter Klimaänderungen detailliert untersucht werden kann. Ein erstes Beispiel für die Auswirkungen z. B. auf Änderungen im Niederschlag (d.h. Jahresmittelwerte, Jahresgang, Dürre, Hochwasser) wird erarbeitet.

#### **Wissenschaftlich technische Ergebnisse**

(siehe Bericht)

#### **Verwertungsplan**

##### a) Schutzrechtsanmeldungen

keine

##### b) Wissenschaftliche und wirtschaftliche Aussichten nach Projektende

Die Kenntnisse über den Wasserkreislauf und deren Veränderungen über einen längeren Zeitraum können u.a. zu Planungszwecken im Rahmen Integrierten Flussgebietsplänen, sowie sie von der EU-Rahmenrichtlinie Wasser vorgeschrieben werden, benutzt werden. Mit dem gekoppelten und validierten Modellsystem sind Prognosen für zukünftige Veränderungen in der Atmosphäre, im Ozean und im landgebunden Wasserkreislauf möglich. Mit zunehmendem Interesse an Umweltqualitätsfragen können in das Gesamtmodell qualitative Parameter, wie CO<sub>2</sub>, Stickstoff, Aerosole etc mit berücksichtigt werden.

## **Arbeite, die zu keiner Lösung geführt haben**

keine

## **Einhaltung der Kosten und des Zeitplanes**

Der Zeit- und Kostenplan wurde im wesentlichen eingehalten.

## **Präsentationsmöglichkeiten**

Deklim-Abschlusskonferenz, Leipzig

# **ABSCHLUSSBERICHT**

## **”Entwicklung und Validierung eines gekoppelten Modellsystems in der Ostseeregion” (BALTIMOS)**

*Auftragnehmer:* Universität der Bundeswehr München, Institut für Erdmessung und Navigation, D-85577 Neubiberg

*Kennzeichen:* 01LD0027 - BALTIMOS (UniBwM intern: Drittmittelprojekt BA 738)

*Vorhaben:* Messung des Wasserdampfgehaltes unter Nutzung existierender und zukünftiger Globaler Satellitennavigations-Systeme (GNSS) als Beitrag zur Entwicklung und Validierung eines gekoppelten Klimamodelles für den Baltischen Raum

*Laufzeit:* 01.02.2001 bis 31.01.2004

*Berichtszeitraum:* Gesamtzeitraum

### **1. Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen**

Aufgabe dieses Teilprojektes war die Bestimmung des integrierten Wasserdampfgehaltes der Atmosphäre, um das Klimamodell REMO unter diesem Gesichtspunkt verifizieren bzw. validieren zu können. Dieser Aufgabe kommt eine besondere Bedeutung zu, da rund 62% des (natürlichen) Treibhauseffektes auf den Wasserdampfgehalt in der Atmosphäre zurückzuführen sind, der somit auch eine wichtige Rolle für die Energiebalance in der Atmosphäre sowie für Niederschlagsvorhersagen u.ä. spielt.

Weiterhin stand die Entwicklung von Auswertemethoden zur Bestimmung des GPS-Wasserdampfgehaltes auf kinematischen Trägern im Vordergrund. Diese Aufgabe ist deutlich herausfordernder als die statische GPS-Auswertung, da sich bspw. Schiffe ständig bewegen (auch wenn sie vor Anker liegen - es geht hier teilweise um Größenbeträge im Subzentimeter-Bereich, die beachtet werden müssen). Da die entwickelten Algorithmen auf die Verarbeitung langer Distanzen zu den benötigten Referenzstationen ausgelegt sind, kann eine Wasserdampfbestimmung mit GPS auf Trägern erfolgen, die abseits der existierenden Infrastruktur (die sonst für den Betrieb von GPS-Stationen benötigt werden) eingesetzt werden können, beispielsweise auf Bojen und auf Schiffen. Die besondere Bedeutung dieses Ansatzes liegt in der Tatsache begründet, dass die Meeresflächen grundsätzlich Bereiche darstellen, in denen Messungen erschwert und unmöglich werden, so dass hier Datenlücken entstehen. Der Einsatz von GPS kann diese teilweise schließen.

Als Daumenregel konnte mit dem entwickelten Auswertalgorithmus nachgewiesen werden, dass in rund 50% der Experimente eine akzeptable Genauigkeit erzielt werden konnte. Allerdings gibt es noch verschiedene Schwachstellen bei der Nutzung von GPS auf bewegten Plattformen, die jedoch zukünftig gelöst werden können (siehe dazu auch Abschnitte 3 bis 6).

### **2. Wissenschaftlich-technisches Ergebnis des Vorhabens**

Die erzielten Ergebnisse, die zugrunde liegende Methodik sowie gesammelte Erfahrung sind ausführlich in den beiden beigefügten Berichten dargelegt. Dies ist zunächst

*Measurement of Water Vapour Contents by Global Navigation Satellite Systems as a Contribution to the Development and Validation of a Coupled Model of the Baltic Region*  
Final report, Static Network Part, 2004; primär bearbeitet von *Andrea Pósfay*

für den Bereich der statischen GPS-Netzwerke, also die Bestimmung des Wasserdampfgehaltes der Atmosphäre mit Hilfe von GPS-Referenzstationen (die sich nicht bewegen, sich also „starr“ bzw. „statisch“ verhalten).

Weiterhin wurde der

*Atlas of GPS-Based Water Vapour Estimation in the Baltic Sea*

Final report on kinematic water vapour estimation, 2004; primär bearbeitet von *Torben Schüler*

beigefügt, der die Ergebnisse bzgl. der GPS-Wasserdampfbestimmungen auf den Schiffen „Alkor“ und „Bottsand“ darstellt.

### **3. Fortschreibung des Verwertungsplans**

Bzgl. des ersten Teils des Vorhabens, der Wasserdampfbestimmung in existierenden GPS-Netzwerken, wird inzwischen weitgehend das hohe Leistungspotenzial von GPS anerkannt. Studien amerikanischer Wissenschaftler haben bspw. bereits nachgewiesen, dass die Einbringung von GPS-Wasserdampfergebnissen bzw. GPS-basierten Troposphären-Laufzeitverzögerungen positive Auswirkungen auf die routinemäßige Wettervorhersage hätten. Insofern kann davon ausgegangen werden, dass GPS (und zukünftig auch GALILEO) als präziser statischer Wasserdampf-Sensor auch in Zukunft eine wohldefinierte Bedeutung halten kann.

Mit dem Themenkomplex „bewegte Träger“ wurde wissenschaftliches Neuland betreten. Zukünftig sind diesbzgl. klare Verwertungsmöglichkeiten gegeben. Mit dieser neuen Methode können auf Meeresgebieten meteorologisch bzw. klimatologisch relevante Daten erfasst werden. Gegenwärtige Schwächen werden in den kommenden Jahren durch die anstehenden Innovationen in der globalen Satellitennavigation weitgehend ausgemerzt (siehe Abschnitt 5).

### **4. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende**

Die erarbeiteten Methoden werden auch in Zukunft eher auf wissenschaftliche Anwendungen abzielen, bspw. auf die Verbesserung der Wettervorhersage. Dieser Bereich lässt sich unter dem Aspekt wirtschaftlicher Erfolgsaussichten nur schwer quantifizieren. Klar ist jedoch, dass GPS (und zukünftig auch GALILEO) auf Grund ihrer vielseitigen Einsatzfähigkeit (primär zur Navigation, aber eben auch zur GPS-Meteorologie) ohnehin auf vielen Trägern vorhanden sein werden (z. B. auf Fährschiffen) und aus diesem Grunde einen recht wirtschaftlich arbeitenden Sensor darstellen werden.

### **5. Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende**

Die wissenschaftlichen und technischen Erfolgsaussichten bzgl. der kinematischen Wasserdampfbestimmung nach dem Projektende können als *sehr gut* bezeichnet werden. Der Grund für diese positive Einschätzung liegt darin, dass die gegenwärtigen Schwächen der Methode durch die anstehenden Neuerungen in der Satellitennavigation erheblich an Gewicht verlieren werden und die Genauigkeit sowie Erfolgsrate des Verfahrens somit maßgeblich gesteigert werden kann. Im Wesentlichen lassen sich hier drei Gesichtspunkte anführen:

1. Bereits in diesem Jahr werden modernisierte GPS Block II-RM Satelliten im Orbit positioniert. Diese senden erstmals ein ziviles Signal auf der zweiten Frequenz aus, wodurch die Phasenverfolgung deutlich einfacher wird und die Gefahr eines Phasensprungs - eines kritischen

Phänomens bei der GPS-Wasserdampfbestimmung auf bewegten Trägern - signifikant reduziert wird.

2. Im Rahmen weiterer Modernisierungsbemühungen der Amerikaner werden bis ca. 2015 verbesserte Satelliten ausgebracht, die zusätzlich noch Signale auf einer dritten Frequenz senden werden. Dreifrequenzalgorithmen erleichtern die Bestimmung der Phasenmehrdeutigkeiten, die für eine erfolgreiche Parameter-Bestimmung dieser (sehr hohen) Genauigkeitsklasse notwendig sind.

3. Europa baut mit GALILEO sein eigenständiges - aber zu GPS grundsätzlich kompatibles - Satellitennavigationssystem auf. Damit wird eine zweite globale Satellitenkonstellation zum bestehenden GPS hinzugefügt. Die Anzahl der sichtbaren Satelliten wird sich näherungsweise verdoppeln, was zu erheblichen Verbesserungen bei der Genauigkeit der Algorithmen sowie zu einer leichteren und robusteren Festsetzung der Mehrdeutigkeiten führen wird. Weiterhin werden die Trägerphasen über datenfreie Kanäle getrackt, was die Wahrscheinlichkeit von Phasensprüngen auf Grund eines verbesserten Signal-/Rausch-Verhältnisses weiter reduzieren wird.

Diese Anmerkungen machen deutlich, dass die durchgeführte Studie nur einen ersten - wenn auch zweifelsohne Erfolg versprechenden - Schritt darstellt, der zukünftig weiter verfolgt werden muss.

## **6. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit**

Zur Gewährleistung der Anschlussfähigkeit müssen vorhandene Auswerteschritte weiter optimiert und an die neuen Signalstrukturen angepasst werden. Diese Arbeiten sind in den nächsten 5 Jahren durchzuführen, um die wissenschaftliche Anschlussfähigkeit gewährleisten zu können.

## **7. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben**

Dem Berichtersteller sind keine Arbeiten bekannt, die gänzlich zu keiner Lösung geführt haben. Die Algorithmen-Entwicklung zur kinematischen Wasserdampfbestimmung war sicherlich auch durch Rückschläge gekennzeichnet, da der zunächst verfolgte Ansatz nicht den erwünschten Erfolg brachte, doch konnte durch Modifikation eine passable Lösung gefunden werden.

## **8. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer**

Die Präsentationsmöglichkeiten beschränken sich gegenwärtig auf die in den beigefügten Abschlussberichten dargelegten Materialien und Grafiken.

## **9. Einhaltung der Ausgaben-/Kosten- und Zeitplanung**

Der Kosten- und Ausgabenplan wurden wie beantragt eingehalten. Bzgl. der Zeitplanung wurden kostenneutrale Verlängerungen durchgeführt, um eine möglichst lange Begleitung des übergeordneten Projektes (Klimamodell-Kopplung) garantieren zu können.

Endbericht  
zum Teilprojekt 4  
„Kleinskalige Niederschlagsstruktur – Beobachtung und Validierung“  
des BMBF-Projekts BALTIMOS  
FKZ ZU-UFLD1084800-01LD0027  
Michael Theusner und Thomas Hauf

#### 1. Aufgabenstellung

Die Aufgabe des Teilprojekts 4 war es, die kleinskalige Niederschlagsstruktur innerhalb des BALTEX-Gebietes zu untersuchen. Dies sollte vor allem im Hinblick auf die räumliche Struktur und die Abhängigkeit von atmosphärischen Bedingungen und Land/Meer Unterschieden durchgeführt werden. Dazu wurden die Radardaten des Baltex Radar Network (BALTRAD) benutzt, das einen großen Teil des baltischen Raumes abdeckt und 15-minütig zur Verfügung steht.

#### 2. Voraussetzungen

Das Projekt wurde von Michael Theusner durchgeführt, der als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Meteorologie und Klimatologie der Universität Hannover vom 15.05.2001 bis zum 31.12.2004 beschäftigt war.

#### 3. Planung und Ablauf des Auftrages

Die Planung und der Ablauf des Auftrages erfolgten gemäß dem im FE-Antrag festgelegten Zeitplan. Die Datenakquisition erstreckte sich vom 15.05.2001, dem Beginn des Teilprojekts an der Uni Hannover, bis zum März 2002. Zu diesem Zeitpunkt war schließlich der gesamte BALTRAD Datensatz, der den Zeitraum von Oktober 1999 bis Februar 2002 umfasst, verfügbar. Schon während der Datenakquisition erfolgte die Entwicklung der nötigen Verfahren zur Strukturanalyse. Diese wurde anschließend durchgeführt, ebenso wie die Untersuchung der Oberflächen- und Atmosphärenabhängigkeit. Abschließend wurde die Veröffentlichung der Ergebnisse vorbereitet.

#### 4. Wissenschaftlicher und technischer Stand

Die Analyse von mit Radar beobachteten Niederschlagsfeldern zeigt, dass letztere auf den ersten Blick deutlich unterscheidbare Strukturen besitzen. Diese Strukturen sind z.B. einzelne Zellen, offene und geschlossene hexagonale Zellen und in Wolkenstraßen und Zellen angeordnete Wolkencluster (Dettmer und Hauf, 2000).

All diese Strukturen haben gemeinsam, dass sie aus kleinen Grundeinheiten, einzelnen konvektiven Zellen, zusammengesetzt sind, die sich zu größeren Verbänden zusammenschließen können und jede für sich einem Lebenszyklus unterworfen sind. Eine Zelle wird dabei als ein im Radarreflektivitätenbild zusammenhängendes Gebiet mit nur einem Maximum (Peak) definiert. Seit Mitte der Achtzigerjahre wurde eine ganze Reihe von Untersuchungen der Struktur von Kumuluswolkenverteilungen durchgeführt, die sich meist auf die Verwendung von Satellitenbildern stützten (z.B. Wielicki und Welch, 1986; Welch and Wielicki, 1986; Welch et al., 1988; Cahalan und Joseph, 1989; Joseph und Cahalan, 1990; Sengupta et al., 1990; Weger et al., 1992; Zhu et al., 1992; Kuo et al., 1993; Benner and Curry, 1998; Gocho und Fuji, 1998). Die meisten dieser Autoren berichten, dass sich die Größenverteilungen der Kumuluswolken mit sehr einfachen Potenzgesetzen wiedergeben lassen. Dabei wurde vor allem ein so genannter Skalenbruch festgestellt, der auf einen

Übergang von einer einzelligen zu einer mehrzelligen Struktur zurückzuführen ist. Dieser Skalenbruch führt zu einem deutlich unterschiedlichen Exponenten der Potenzgesetze oberhalb und unterhalb einer bestimmten Größe der Kumuluswolken. Ob eine Wolke als einzellig oder mehrzellig gilt, hängt davon ab, ob sie aus einer oder mehreren Konvektionszellen besteht.

Im Vergleich zur Untersuchung der konvektiven Strukturen mit Satellitenbildern kommt die Verwendung von Radardaten zu diesem Zweck weit weniger häufig vor und ist meist älteren Datums. Einige Autoren berichten, dass Exponentialfunktionen geeignet sind, die Struktur der Regengebiete zu beschreiben (Drufuca, 1977; Konrad, 1978; Goldhirsh und Musiani, 1986).

Bis auf eine Publikation von Mesnard und Sauvageot (2003), die während der Projektlaufzeit veröffentlicht wurde und den Fortgang desselben stark beeinflusste, unterscheiden alle Autoren höchstens zwischen einzelligen und mehrzelligen Strukturen, berücksichtigen jedoch nicht die Anzahl der Konvektionszellen, aus denen ein Cluster besteht, als maßgebliche Variable (die so genannte Peakzahl).

Die letztgenannten Autoren untersuchten die Struktur von Regengebieten, ohne Unterscheidung des konvektiven und stratiformen Typs, an vier Radarstationen in mittleren und tropischen Breiten. Sie konnten zeigen, dass sich die Größenverteilung der Regengebiete in Abhängigkeit von der Peakzahl durch einfache Potenzgesetze beschreiben lässt. Die Größenverteilung der Regengebiete für eine bestimmte Peakzahl wiederum ist ein lognormal. Daraus ergibt sich zwangsläufig, dass die Größenverteilung der Gesamtpopulation ein Mix aus vielen einzelnen Lognormalverteilungen ist.

Die Verfahren zur Untersuchung der Struktur in diesem Teilprojekt (vor allem die zur Analyse der Peakzahl) stützten sich im Wesentlichen auf die von Mesnard und Sauvageot (2003).

Ein weiterer interessanter Aspekt von Regengebieten ist deren Form. Diese zu beschreiben ist mit Hilfe der so genannten fraktalen Dimension möglich, welche angibt wie stark verschnörkelt die äußere Begrenzung eines Regengebiets im Vergleich zu dessen Fläche ist. Allgemein wurde eine fraktale Dimension von 1.35 für mit Satelliten und Radar beobachtete Wolken gefunden (Lovejoy, 1982; Rys und Waldvogel, 1986; Lawford, 1996; Feral und Sauvageot, 2002). Andere Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass es Unterschiede zwischen kleinen und großen Wolken gibt und die fraktale Dimension zwischen 1.1 und 1.73 variieren kann.

Benner, T. C., J. A. Curry, 1998: Characteristics of small tropical cumulus clouds and their impact on the environment. — *J Geophys Res*, 103(D22), 28753–28767.

Cahalan, R. F., J. H. Joseph, 1989: Fractal characteristics of cloud fields. — *Mon Weather Rev*, 117, 261–272.

Drufuca, G., 1977: Radar-derived statistics on the structure of precipitation patterns. — *J Appl Meteorol*, 16(10), 1029–1035.

Feral, L., H. Sauvageot, 2002: Fractal identification of supercell storms. — *Geophys Res Lett*, 29(14), Art. No. 1686.

Goldhirsh, J., B. Musiani, 1986: Rain cell size statistics derived from radar observations at Wallops Island, Virginia. — *IEEE T Geosci Remote*, 24(6), 947–954.

Gotoh, K., Y. Fujii, 1998: A fractal dimension analysis on the cloud shape parameters of cumulus over land. — *J Appl Meteorol*, 37, 1283–1292.

Joseph, J. H., R. F. Cahalan, 1990: Nearest neighbor spacing of fair weather cumulus clouds. — *J Appl Meteorol*, 29, 793–805.

Konrad, T. G., 1978: Statistical models of summer rainshowers derived from fine-scale radar observations. — *J Appl Meteorol*, 17(2), 171–188.

- Kuo, K. S., R. M. Welch, R. C. Weger, M. A. Engelstad, S. K. Sengupta, 1993: The three-dimensional structure of cumulus clouds over the ocean: 1. Structural analysis. — *J Geophys Res*, 98(D11), 20685–20711.
- Lawford, R. G., 1996: Temporal variations in the scaling properties of rain echoes during the development of a cold low in Saskatchewan.—*J Appl Meteorol*, 35(6), 796–809.
- Lovejoy, S., 1982: Area-perimeter relation for rain and cloud areas.—*Science*, 216(4542), 185–187.
- Mesnard, F., H. Sauvageot, 2003: Structural characteristics of rain fields. — *J Geophys Res*, 108(D13), 4385–4401.
- Rys, F. S., A. Waldvogel, 1986: Fractal shape of hail clouds. — *Phys Rev Lett*, 56(7), 784–787.
- Sengupta, S. K., R. M. Welch, M. S. Navar, T. A. Berendes, D. W. Chen, 1990: Cumulus cloud field morphology and spatial patterns derived from high spatial resolution Landsat imagery. — *J Appl Meteorol*, 29, 1245–1267.
- Weger, R. C., J. Lee, T. Zhu, R. M. Welch, 1992: Clustering, randomness and regularity in cloud fields: 1. Theoretical considerations. — *J Geophys Res*, 97(D18), 20519–20536.
- Welch, R. M., K. S. Kuo, B. A. Wielicki, S. K. Sengupta, L. Parker, 1988: Marine stratocumulus cloud fields on the coast of southern California observed using Landsat imagery: 1. Structural characteristics.—*J Appl Meteorol*, 27, 341–362.
- Welch, R. M., B. A. Wielicki, 1986: The stratocumulus nature of fog. — *J Clim Appl Meteorol*, 25, 101–111.
- Wielicki, B. A., R. M. Welch, 1986: Cumulus cloud properties derived using Landsat satellite imagery. — *J Clim Appl Meteorol*, 25, 261–276.
- Zhu, T., J. Lee, R. C. Weger, R. M. Welch, 1992: Clustering, randomness and regularity in cloud fields: 2. Cumulus cloud fields. — *J Geophys Res*, 97(D18), 20537–20558.

## 5. Zusammenarbeit

Im Rahmen des Projektes erfolgte eine enge Zusammenarbeit mit dem Institut für Weltraumwissenschaften, Freie Universität Berlin (TP 7: „Niederschlagsstatistik in der Baltischen Region“).

## 6. Darstellung des erzielten Ergebnisses

Eine ausführliche Darstellung des erzielten Ergebnisses erfolgt in einer „Special Issue“ der Zeitschrift „Technical and Applied Climatology“. Deswegen erfolgt hier nur eine kurze Zusammenfassung.

6.1 In einer im Rahmen des Projektes durchgeführten Studie mit einem zur Verfügung stehenden Datensatz des DWD-Radarverbundes konnten die für den Ostseeraum und die Validierung von BALTIMOS geplanten Methoden entwickelt und getestet werden. Die Ergebnisse sind in Theusner und Hauf (2004) und in der Promotionsarbeit von Theusner (2005) dokumentiert. Die Strukturanalyse der Regengebiete ist geometrischer Natur, während die Niederschlagscharakteristika in einem nachfolgenden DFG-Projekt untersucht werden. Ausgangspunkt der Analyse ist die analytische Fassung der Flächenverteilung einer Zelle mit  $p$  Reflektivitätsmaxima, einem  $p$ -Zeller, für die ein Produkt zweier Potenzgesetze eine sehr gute Übereinstimmung mit den Beobachtungen ergab. Die auftretenden freien Parameter konnten entweder experimentell bestimmt oder mit anderen Größen verknüpft werden. Für die Häufigkeitsverteilung der Reflektivitätsmaxima ergab sich ebenfalls ein Potenzgesetz der Gestalt  $P(p) = c_0 p^{d_0}$ , wobei der Parameter  $d_0$  zeitunabhängig ist, während sich  $c_0$  im Tagesgang ändert, mithin die Verteilungen selbstähnlich sind. Eine Folge davon ist, dass das Verhältnis von beispielsweise Einzellern zu Mehrzellern über den Tag hinweg konstant ist. Insgesamt gelang es, die geometrischen Charakteristika der Niederschlagszellen mit Hilfe weniger Parameter in einer für meteorologische Analysen ansonsten sehr guten

Übereinstimmung durch analytische Funktionen zu beschreiben. Dies war Anlass der Frage, ob BALTIMOS diese gefundenen Eigenschaften wiedergeben könnte.

6.2 Der Vergleich der mit Hilfe des BALTRAD beobachteten Regengebiete und der vom Modell simulierten zeigt, dass das Modell in der Lage ist die grundlegenden Eigenschaften dieser Regengebiete zu reproduzieren. Dazu gehören nach Potenzgesetzen verteilte Peakzahlen sowie lognormalverteilte Größen der Regengebiete für eine bestimmte Peakzahl. Die Parameter, die diesen Verteilungsfunktionen zugrunde liegen, können wiederum durch Potenzgesetze dargestellt werden, was sowohl für die Beobachtungen, als auch für das Modell gilt. Es wurde jedoch festgestellt, dass das Modell BALTIMOS zu viele große und zu wenig kleine Strukturen produziert, d.h. die konvektiven Zellen im Vergleich zu den stratiformen Regengebieten unterrepräsentiert sind.

Die fraktale Dimension der beobachteten und modellierten Regengebiete stimmt gut überein und beträgt etwa  $D = 1.3$ . Insgesamt sind die modellierten Zellen jedoch etwas runder als die vom Radar detektierten.

Der Tagesgang der Peakzahl sowie der Anzahl der Regengebiete wird ebenfalls gut wiedergegeben. Das Modell erfasst das Entstehen und Vergehen der kleinskaligen Strukturen und zeigt, wie beobachtet, dass es keinen Tagesgang bei den großskaligen, stratiformen Strukturen gibt. Allerdings wurde ermittelt, dass der Zeitpunkt des täglichen Maximums der Peak- und Zellenzahl für kleine Strukturen mit niedrigen Niederschlagsraten um bis zu drei Stunden zu spät auftritt. Dies gilt nicht für Zellen mit hohen Niederschlagsraten, bei denen die Lage des täglichen Maximums gut erfasst wird, dort jedoch gegenüber den Radardaten ein zu ausgeprägter Tagesgang beobachtet wurde.

Weiterhin hat sich ergeben, dass eine Advektion von einzelnen konvektiven Zellen im Modell nicht stattfindet, was an der verwendeten Parametrisierung liegt. Jedoch bewegt sich das Gebiet, in dem diese konvektiven Strukturen auftreten, mit der Strömung mit und verlagert sich entsprechend.

Abschließend kann gesagt werden, dass BALTIMOS die grundlegenden Eigenschaften der mit Hilfe der BALTRAD-Daten beobachteten Regengebiete reproduziert und nur leichte Abweichungen bei bestimmten Parametern festgestellt wurden.

Die während des Projekts entwickelten Methoden zur Untersuchung der Niederschlagsstrukturen sind sehr gut geeignet, um die Fähigkeit der Modelle, diese Strukturen wiederzugeben, zu überprüfen. Fortschritte, die während der Projektlaufzeit von anderen Stellen gemacht wurden, flossen in das Projekt ein und trugen entscheidend zu dessen Erfolg bei (siehe Abschnitt 4 – Mesnard und Sauvageot, 2003).

Außerdem werden die hier entwickelten Methoden und Ergebnisse im Rahmen des Schwerpunktprogramms der Deutschen Forschungsgemeinschaft „Quantitative Niederschlagsvorhersage“ fortgeführt (SPP 1167). Aufbauend auf den hier erzielten Ergebnissen bezüglich der Parameter, die die Struktur der konvektiven Niederschläge bestimmen, soll ein hybrides Vorhersagemodul entwickelt werden, das die von postfrontalen Schauerniederschlägen zu erwartenden Niederschlagsmengen besser vorhersagen kann.

Das Projekt führte zu folgenden Veröffentlichungen:

Theusner M, Hauf T, 2004: A study on the small scale precipitation structure over Germany using the radar network of the German Weather Service. Meteorol Z, 13 (4): 311-322

Theusner M, 2005: An investigation on small scale precipitation structures. Ph.D. thesis, Faculty of Physics and Mathematics, University of Hannover

## Berichtsblatt

|  |   |
|--|---|
| 1. ISBN oder ISSN<br>geplant   | 2. Berichtsart<br>Schlussbericht                        |
| 3a. Titel des Berichts<br>Schlussbericht zum Teilprojekt 4 „Kleinskalige Niederschlagsstruktur – Beobachtung und Validierung“ des BMBF-Projekts BALTIMOS, FKZ ZU-UFLD1084800-01LD0027  |   |
| 3b. Titel der Publikation<br>Validation of BALTIMOS precipitation structures using BALTRAD radar data  |   |
| 4a. Autoren des Berichts (Name, Vorname(n))<br>Theusner, Michael<br>Hauf, Thomas   | 5. Abschlussdatum des Vorhabens<br>31.12.2004           |
| 4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname(n))<br>Theusner, Michael<br>Hauf, Thomas  | 6. Veröffentlichungsdatum<br>Geplant                    |
| 8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)<br>Institut für Meteorologie und Klimatologie<br>Universität Hannover<br>Herrenhäuser Str. 2<br>30419 Hannover  | 7. Form der Publikation<br>Fachzeitschrift              |
|  | 9. Ber. Nr. Durchführende Institution                   |
|  | 10. Förderkennzeichen *)<br>FKZ ZU-UFLD1084800-01LD0027 |
|  | 11a. Seitenzahl Bericht<br>4                            |
|  | 11b. Seitenzahl Publikation<br>Geplant                  |
| 13. Fördernde Institution (Name, Adresse)<br><br>Bundesministerium für<br>Bildung und Forschung (BMBF)<br><br>53170 Bonn   | 12. Literaturangaben<br>19                              |
|  | 14. Tabellen<br>0                                       |
|  | 15. Abbildungen<br>0                                    |
| 16. Zusätzliche Angaben  |   |
| 17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)  |   |
| 18. Kurzfassung<br>1. Derzeitiger Stand von Wissenschaft und Technik<br>Die Untersuchung von Wolken mit Satellitenbildern und Niederschlagsstrukturen mit Radar hat gezeigt, dass sich deren strukturelle Eigenschaften sehr einfach durch Potenzgesetze (Peakzahl) und durch Lognormalverteilungen (Größenverteilung der Regengebiete für eine bestimmte Peakzahl) darstellen lassen. Außerdem kann die Form der Regengebiete durch die so genannte fraktale Dimension beschrieben werden, die sich aus dem Flächen-Umfangs-Verhältnis ergibt.<br>2. Zielsetzung der Untersuchung<br>Untersucht werden soll die Struktur der vom Modell BALTIMOS und die der mit Hilfe des BALRAD Radarverbundes beobachteten Regengebiete. Ziel ist die Validierung des Modells im Hinblick auf die Güte der Wiedergabe der beobachteten Strukturen<br>3. Methode<br>Benutzt werden die Radarbilder des BALTRAD aus dem Zeitraum Oktober 1999 bis Februar 2002. Diese sind mit 2 km räumlicher und 15 Minuten räumlicher Auflösung verfügbar. Zuerst wird die räumliche Auflösung der Radardaten der der Modelldaten angepasst und dann die Strukturuntersuchung mit Hilfe geeigneter Methoden durchgeführt.<br>4. Ergebnis<br>BALTIMOS kann die grundlegenden Eigenschaften der mit Hilfe der BALRAD-Daten beobachteten Regengebiete reproduzieren. Es wurden nur leichte Abweichungen bei bestimmten Parametern festgestellt (Tagesgang der konvektiven Zellen, im Verhältnis zu den großen zu wenig kleine Niederschlagsgebiete).<br>5. Schlussfolgerungen<br>Die im Rahmen des Projekts entwickelten Methoden zur Untersuchung der Niederschlagsstrukturen sind zur Validierung des Modells geeignet. Die Methoden können auf die Validierung anderer Modelle übertragen werden. |   |
| 19. Schlagwörter<br>Niederschlagsstruktur, Radar, BALTIMOS, BALTRAD  |   |
| 20. Verlag<br>geplant  | 21. Preis<br>geplant                                    |

\*) Auf das Förderkennzeichen des BMBF soll auch in der Veröffentlichung hingewiesen werden.

## Document Control Sheet

|  |                                   |  |
|--|-----------------------------------|--|
| 1. ISBN or ISSN<br>planned   | 2. Type of Report<br>Final Report |  |
| 3a. Report Title<br>Schlussbericht zum Teilprojekt 4 „Kleinskalige Niederschlagsstruktur – Beobachtung und Validierung“ des BMBF-Projekts BALTIMOS, FKZ ZU-UFLD1084800-01LD0027  |                                   |  |
| 3b. Title of Publication<br>Validation of BALTIMOS precipitation structures using BALTRAD radar data   |                                   |  |
| 4a. Author(s) of the Report (Family Name, First Name(s))<br>Theusner, Michael<br>Hauf, Thomas  |                                   | 5. End of Project<br>31.12.2004                  |
|  |                                   | 6. Publication Date<br>Planned                   |
| 4b. Author(s) of the Publication (Family Name, First Name(s))<br>Theusner, Michael<br>Hauf, Thomas   |                                   | 7. Form of Publication<br>Scientific Magazine    |
| 8. Performing Organization(s) (Name, Address)<br>Institut für Meteorologie und Klimatologie<br>Universität Hannover<br>Herrenhäuser Str. 2<br>30419 Hannover   |                                   | 9. Originator's Report No.                       |
|  |                                   | 10. Reference No.<br>FKZ ZU-UFLD1084800-01LD0027 |
|  |                                   | 11a. No. of Pages Report<br>4                    |
|  |                                   | 11b. No. of Pages Publication<br>Planned         |
| 13. Sponsoring Agency (Name, Address)<br><br>Bundesministerium für<br>Bildung und Forschung (BMBF)<br><br>53170 Bonn   |                                   | 12. No. of References<br>19                      |
|  |                                   | 14. No. of Tables<br>0                           |
|  |                                   | 15. No. of Figures<br>0                          |
| 16. Supplementary Notes  |                                   |  |
| 17. Presented at (Title, Place, Date)  |                                   |  |
| 18. Abstract<br><p>1. State of the Art<br/>The investigation of clouds with the aid of satellite images and rain areas with the aid of radar showed that their structural characteristics can be represented by simple power laws (peak number) and lognormal distributions (rain area size for a fixed peak number). The shape of the rain areas can be described by the fractal dimension which results from the area-to-perimeter relation.</p> <p>2. Aims<br/>Aim is to validate the precipitation structures produced by the model BALTIMOS using rain areas observed by the BALTRAD radar network. It is to be found out how well the model reproduces the observed precipitation structures.</p> <p>3. Method<br/>Radar images from the time period between October 1991 and February 2002 are used. They are available with a spatial resolution of 2 km and temporal resolution of 15 minutes. First the radar data is transformed to model resolution and then analysed with respect of their structure using suitable methods</p> <p>4. Results<br/>BALTIMOS is able to reproduce the basic properties of the rain areas observed by BALTRAD. Only slight deviations of certain parameters (diurnal cycle of the convective cells, too many large rain areas compared to the small ones).</p> <p>5. Conclusions<br/>The methods developed within this project to investigate precipitation structures are suitable to validate BALTIMOS. The methods can also be used for the validation of other models.</p> |                                   |  |
| 19. Keywords<br>Precipitation structure, radar, BALTRAD, BALTIMOS  |                                   |  |
| 20. Publisher<br>planned   |                                   | 21. Price<br>planned                             |

## Anlage: Erfolgskontrollbericht

### 1. Wissenschaftlich-technisches Ergebnis

BALTIMOS kann die grundlegenden Eigenschaften der mit Hilfe der BALTRAD-Daten beobachteten Regengebiete reproduzieren. Es wurden nur leichte Abweichungen bei bestimmten Parametern festgestellt (Tagesgang der konvektiven Zellen, im Verhältnis zu den großen zu wenig kleine Niederschlagsgebiete). Ausführliche Angaben dazu finden sich unter Abschnitt 6 des Abschlussberichts.

Außerdem konnten neue Erkenntnisse über die Struktur der Abstände zwischen konvektiven Zellen erreicht werden. Die Skalen, auf denen bisherige Untersuchungen zur mit Radar beobachteten Niederschlagsstruktur gemacht wurden, konnten um etwa 1-2 Größenordnungen erweitert werden. Dabei wurden von anderen Autoren erhaltene Ergebnisse bestätigt und verbessert. Siehe dazu die in Abschnitt 6 des Abschlussberichts angegebenen Veröffentlichungen.

### 2. Erfindungen/Schutzanmeldungen

keine Angaben möglich

### 3. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

keine Angaben möglich

### 4. Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Auftragsende

Die erzielten Ergebnisse über die den Niederschlagsstrukturen zugrunde liegenden Verteilungen und Parameter bilden die Grundlage für die Entwicklung eines hybriden Vorhersagesystems zur Verbesserung der Niederschlagsmengen aus postfrontalen Schauern (genehmigtes Projekt im SPP 1167 der DFG, siehe Abschnitt 6 Abschlussbericht).

### 5. Anschlussfähigkeit

siehe 4.

### 6. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben.

Aufgrund von z.T. starken Radarclutters (Radarfehlechos) war eine Untersuchung von orographischen Einflüssen auf die Struktur nicht möglich.

### 7. Präsentationsmöglichkeiten

keine Angaben möglich

### 8. Einhaltung von Kosten- und Zeitplanung

Die Ausgabenplanung erfolgte gemäß der bewilligten Mittel. Die Zeitplanung verschob sich aufgrund des verspäteten Beginns des Projekts um ca. 6 Monate.

**Validierung von Grenzschichtparametern und Erweiterung der  
Randbedingungen des Klimamodells REMO am Boden**

**(Beitrag zum Verbund V41, BALTIMOS)**

**Freie Universität Berlin  
Institut für Meteorologie  
Carl-Heinrich-Becker-Weg 6-10  
12165 Berlin**

**Projektleiter: Dr. Eberhard Reimer**

**Bearbeiter: Birgit Streckenbach, Michael Woldt, Heiner Billing**

## Inhaltsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Einleitung  | 3  |
| Teil 1: Bestimmung des Leaf Area Index (LAI) aus NOAA-AVHRR-Daten für das Baltimos-Gebiet | 4  |
| 1.    Einleitung  | 4  |
| 2.    LAI-Berechnungsmethode  | 4  |
| 3.    Verwendetes Datenmaterial und Aufbereitung  | 4  |
| 3.1    Landnutzungsdatei  | 6  |
| 3.2    NOAA-AVHRR-Daten und Korrekturverfahren bei der Berechnung des NDVI                | 7  |
| 4.    Ergebnisse der Berechnung des NOAA-AVHRR Leaf Area Index                            | 9  |
| 5.    Vergleich des NOAA-AVHRR Leaf Area Index mit dem des Klimamodells REMO              | 12 |
| 6.    Zusammenfassung und Schlussfolgerungen  | 14 |
| Teil 2: Analyse der Schneebedeckung   | 16 |
| 1.    Einleitung  | 16 |
| 2.    Methode   | 16 |
| 2.1    Schneehöhen-Interpolation  | 16 |
| 2.2    Vergleiche zum REMO-Modell   | 17 |
| 3.    Berechnungen  | 19 |
| 4.    Ergebnisse  | 20 |
| Teil 3: Analyse der See-Eis-Bedeckung   | 24 |
| 1.    Einleitung  | 24 |
| 2.    Methode und Ergebnisse  | 24 |

## Einleitung

In den letzten Jahren wurden in der ersten Phase des Projekts BALTEX Modelle entwickelt, die in der Lage sind, klimatologische Parameter des meteorologischen und hydrologischen Zustandes im BALTEX-Gebiet zu simulieren. So wurde am MPI für Meteorologie Hamburg das regionale Klimamodell REMO (Jacob und Podzun, 1997) entwickelt, das im wesentlichen auf dem Wettervorhersagemodell des Deutschen Wetterdienstes (EUROPAMODELL, Majewski, 1991) basiert. Es wurde durch zusätzliche Parameterisierungen, wie sie im globalen Klimamodell ECHAM4 (Roeckner et al., 1996) enthalten sind, erweitert und mit dem ozeanischen Modell BMSO gekoppelt.

Im Rahmen des BMBF-Förderschwerpunktes *Wasserkreislauf* (Abschlußbericht, 1998) wurde der mit REMO simulierte Wasserkreislauf im Ostseeraum an Hand von Beobachtungen auf Zeitskalen von wenigen Tagen bis zu 10 Jahren validiert.

Im Rahmen von Baltimos wurde die konsequente Kopplung der meteorologischen, biosphärischen und hydrologischen Modelle durchgeführt und durch eine umfangreiche Validierung begleitet.

Für die Modellteile, dem hydrologischen Modell LARSIM (Large Area Runoff Simulation Model) und dem mesoskaligen Klimamodell REMO-BMSO, wurden mehrere Datensätze erstellt, die eine verbesserte Absicherung der Bestimmung von Komponenten des Wasserkreislaufes ermöglichen.

In diesem Projektteil wurden Zeitreihen flächenhafter Bodenparameter: korrigierte Landnutzungsdateien, Eis- und Schneebedeckung, NDVI (normalized difference vegetation index) und LAI (leaf area index) für mehrere Jahre bestimmt:

- zur Überprüfung der Landnutzungsangaben
- zur Dynamisierung der Vegetationbeschreibung,
- zum langjährigen und in Episoden detaillierten Modellvergleich.

Das langjährige Verhalten des gekoppelten Klimasystems wurde über statistische Maße verglichen. Die Diskussion zeigt das gekoppelte Modell, dass neben einer grundlegend guten Übereinstimmung eine Phasenverschiebung der Jahresgänge um ca. einen Monat vorliegt. So wird der Ostseeraum in den Läufen um einen Monat zu früh erwärmt, begleitet von einer zu schnellen Schneeschmelze in Skandinavien.

In der Folge sollte daher eine weitere dynamische Analyse der gekoppelten Modellläufe sinnvoll folgen, um das dynamische Zusammenspiel der Randbedingungen, des Atmosphärenmodells Remo und des Ostseemodells zu durchdringen.

## Teil 1: Bestimmung des Leaf Area Index (LAI) aus NOAA-AVHRR-Daten für das Baltimos-Gebiet

### 1. Einleitung

Eine Aufgabenstellung innerhalb des Projektes zur Verbesserung des Klimamodells REMO bestand in der Dynamisierung der eingehenden Oberflächenparameter. Als einer dieser Parameter geht der Leaf Area Index (LAI) bisher als fester Wert pro Monat mit einem vorgegebenen Jahrgang im REMO-Modell ein. Am Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin werden seit 1982 hochaufgelöste AVHRR-Daten des NOAA-Satelliten empfangen und verarbeitet (Koslowsky, 1996). Für die Bestimmung des LAI im REMO-Gebiet aus NOAA-Daten mit einer Auflösung von ca. 1km x 1km wurden die Vegetationsperioden der Jahre 1997 bis 2001 ausgewählt. Grundlage für die Berechnung des NOAA-LAI ist ein Algorithmus von Sellers et al. (1996) auf der Basis von NDVI-Werten (Normalized Difference Vegetation Index) und eine vorgegebene, modifizierte USGS-Landnutzungsdatei (United States Geological Survey). Die so berechneten, hoch aufgelösten NOAA-LAI-Daten wurden zum Schluss auf das REMO Raster umgerechnet und mit den im REMO-Modell verwendeten LAI-Werten verglichen.

### 2. LAI-Berechnungsmethode

Grundlage für die LAI-Berechnung ist der aus den NOAA-Daten bestimmte NDVI. Er berechnet sich nach folgender Gleichung:

$$NDVI = \frac{a_{nir} - a_{vis}}{a_{nir} + a_{vis}} \quad (1)$$

mit  $a_{nir}$  = mittlere Reflektivität im nahen Infrarotbereich (AVHRR-Kanal 1)

$a_{vis}$  = mittlere Reflektivität im sichtbaren Bereich (AVHRR-Kanal 2)

Wie Sellers (1985) bereits zeigte, ist der NDVI ein Maß für das Vorhandensein und den Zustand von Vegetation hinsichtlich ihres Bodenbedeckungsgrades und ihrer Photosyntheseaktivität. Er variiert daher stark mit dem Bodenbedeckungsgrad bei gleichbleibend grüner Vegetation und auch mit dem Vegetationszustand bei konstantem Bodenbedeckungsgrad. Der NDVI erreicht aber mit zunehmender Vegetationsentwicklung, gekennzeichnet durch Biomassezunahme und steigendem Blattflächenindex, bereits zeitig einen Sättigungswert, ab dem er nahezu konstant bleibt.

Ein weiteres Maß für die Bioaktivität der Vegetation ist der Anteil der Strahlung, der von den Pflanzen bis zu maximal 95% zur Photosynthese genutzt wird (fraction of absorbed photosynthetic active radiation FAPAR). Sie liegt im Wellenlängenbereich von 0,4-0,7  $\mu\text{m}$ . Mehrere Autoren zeigten, dass NDVI und FAPAR für bestimmte Vegetationsflächen eng miteinander korreliert sind (Sellers et al. 1996, Hall et al. 1992, Asrar et al, 1984). Die Korrelation zwischen der Höhe der FAPAR und der des LAI ist jedoch ebenfalls wie bei der NDVI - LAI - Beziehung nicht sehr ausgeprägt.

Eine Verbesserung des LAI/FAPAR- Zusammenhanges lässt sich durch die Berücksichtigung der Vegetationsmorphologien erreichen. Dazu wird in homogene und inhomogene Vegetationsformen sowie die Mischung aus beiden, unterschieden.

Somit ergibt sich die Möglichkeit einer Berechnung des LAI aus dem NDVI unter Einbeziehung der FAPAR, wie im folgenden dargestellt wird (nach Sellers et al., 1996 mit leichten Modifikationen).

Zunächst erfolgt die Berechnung der FAPAR aus den NDVI - Werten pro Pixel und feststehenden Werten von  $FAPAR_{\min}$  und  $FAPAR_{\max}$ . Sie ergeben sich aus dem Vermögen der Vegetation, je nach ihrer Biomasse-Entwicklung, die FAPAR zu 0,01% bis 95% für die Photosynthese zu nutzen und sind unabhängig vom Vegetationstyp. Als Maß für den Entwicklungszustand der Vegetation dient hierbei der NDVI.

$$FAPAR = \frac{\left( \frac{1 + NDVI}{1 - NDVI} - \frac{1 + NDVI_{5,i}}{1 - NDVI_{5,i}} \right) \cdot (FAPAR_{\max} - FAPAR_{\min})}{\frac{1 + NDVI_{95,i}}{1 - NDVI_{95,i}} - \frac{1 + NDVI_{5,i}}{1 - NDVI_{5,i}}} + FAPAR_{\min} \quad (2)$$

für  $NDVI_{5,i} \leq NDVI \leq NDVI_{95,i}$

mit  $NDVI_{5,i}$  = 5%-Quantil der NDVI-Verteilung für die Vegetationsklasse i (keine Aktivität der Vegetation).  
 $NDVI_{95,i}$  = 95%-Quantil der NDVI-Verteilung für die Vegetationsklasse i (maximale Vegetationsdichte und -aktivität).  
 $FAPAR_{\max} = 0,950$   
 $FAPAR_{\min} = 0,001$

Der LAI wird nun aus der FAPAR in Abhängigkeit von der Vegetationsmorphologie und mit fest vorgegebenen maximalen LAI- Werten pro Vegetationsklasse wie folgt berechnet:

Für homogene Vegetationsdecke:

$$LAI = LAI_{\max,i} \frac{\log(1 - FAPAR)}{\log(1 - FAPAR_{\max})} \quad (3)$$

mit  $LAI_{\max,i}$  = maximaler Blattflächenindex für Vegetationstyp i

Für inhomogene bzw. unregelmäßige Vegetationsbedeckung:

$$LAI = \frac{(LAI_{\max,i}) FAPAR}{FAPAR_{\max}} \quad (4)$$

Für inhomogene und homogene Vegetationsdecke (gemischt):

$$LAI = (1 - F_{cl}) LAI_{\max,i} \frac{\log(1 - FAPAR)}{\log(1 - FAPAR_{\max})} + F_{cl} \frac{(LAI_{\max,i}) FAPAR}{FAPAR_{\max}} \quad (5)$$

mit  $F_{cl}$  = Anteil der unregelmäßigen Vegetation an einem Bildpunkt.  
Der Anteil  $F_{cl}$  der unregelmäßigen Vegetation an einem Bildpunkt wird ebenfalls in Abhängigkeit von der Vegetationsklasse fest vorgegeben (siehe Sellers et al. 1996).

### 3. Verwendetes Datenmaterial und Aufbereitung

#### 3.1 Landnutzungsdatei

Wie bereits im vorhergehenden Abschnitt beschrieben, gehen in das verwendete Berechnungsverfahren des LAI neben dem NDVI fest vorgegebene Grenzwerte des LAI und der FAPAR ein, zwischen denen die aktuellen LAI-Werte entsprechend der Variabilität der NDVI-Werte schwanken. Insofern ist es notwendig, für jedes Pixel eine Landnutzungsclassse zu definieren. Da die aus den hoch aufgelösten NOAA-Daten berechneten LAI-Werte mit denen verglichen werden sollen, die zur Zeit im REMO-Modell verwendet werden, wurde die gleiche Landnutzungsclassifikation wie im REMO-Modell benutzt. Es handelt sich hierbei um eine USGS-Landnutzungsclassifikation nach Olsen (1994a, 1994b), die für das Remo-Modell im Baltimos-Gebiet modifiziert wurde. Dabei wurden z.T. mehrere, ursprünglich einzeln aufgeführte Landnutzungsclassen zu je einer Klasse zusammengefasst. Jeder Landnutzungsclassse wurden neben den maximal möglichen LAI-Werten andere, für die Grenzschichtprozesse relevante Parameter, zugeordnet (Hagemann et al., 1999).

In der Abbildung 1 ist die verwendete Landnutzungsdatei graphisch dargestellt. Für eine bessere Übersichtlichkeit wurden zum Teil einzelne Landnutzungsclassen zusammengefasst.

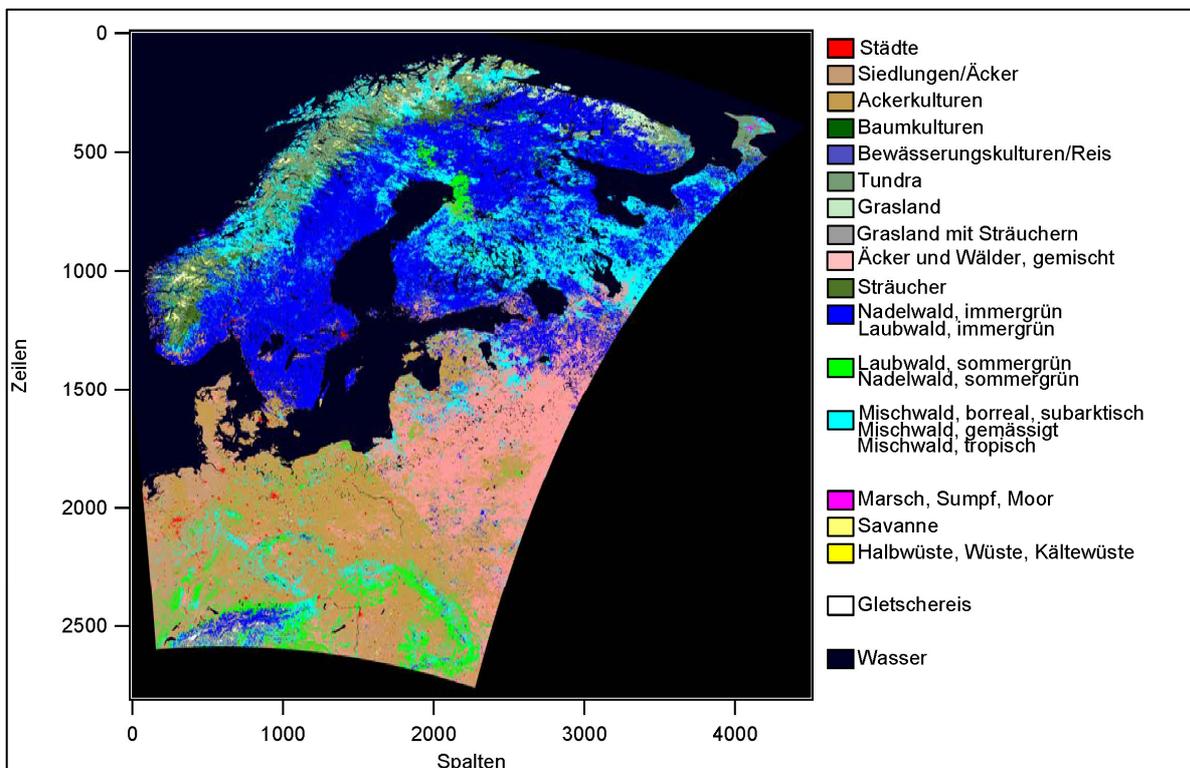


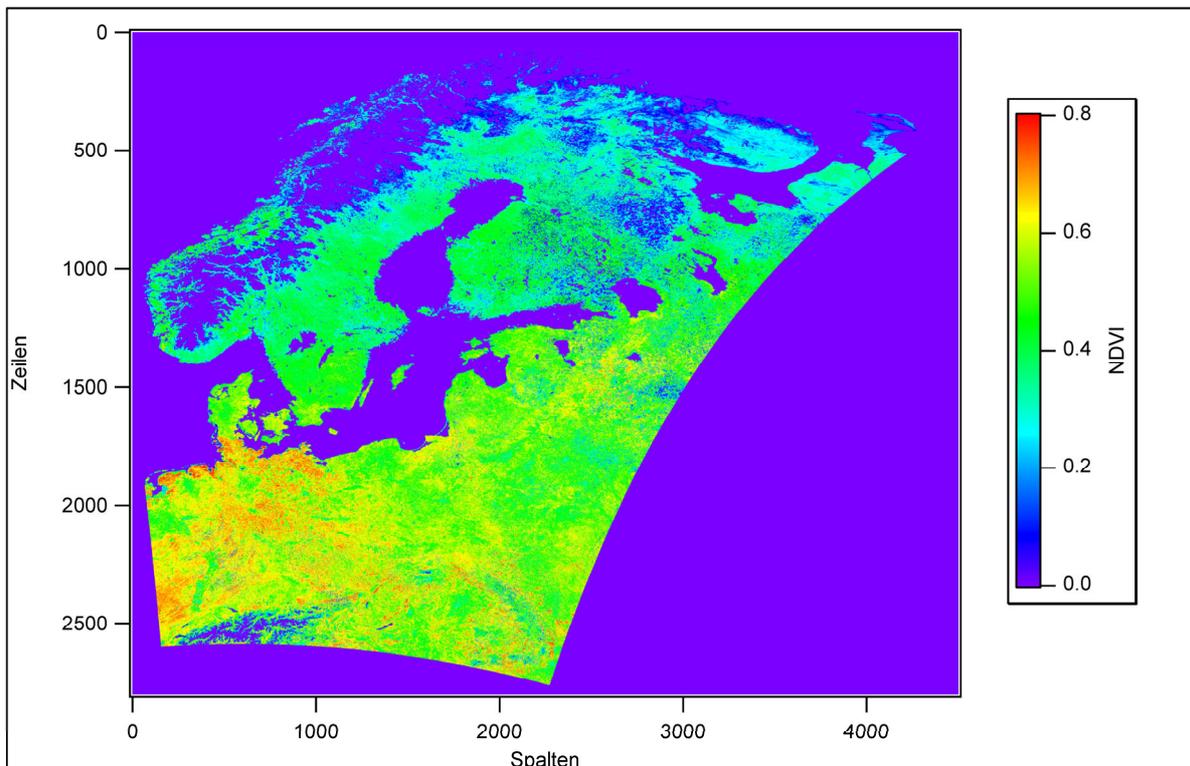
Abb. 1: Modifizierte USGS-Landnutzungsclassifikation mit einer Auflösung von ca. 1km<sup>2</sup>

### 3.2 NOAA-AVHRR-Daten und Korrekturverfahren bei der Berechnung des NDVI

Die kalibrierten Daten der NOAA-AVHRR Kanäle 1 und 2 wurden zunächst geo-referenziert und entzerrt und anschließend in ein geographisches Koordinatensystem mit einer Auflösung von 1/100 Grad (ca. 1km<sup>2</sup>) umgerechnet. Die Berechnung des NDVI beschränkt sich jeweils auf den Zeitraum April bis September der betrachteten Jahre 1997 bis 2002, da einerseits die Vegetationsperiode maßgeblich ist, andererseits im Winterhalbjahr in den nördlichen Breiten auf Grund der niedrigen Sonnenstände keine bzw. in den Übergangsjahreszeiten stark fehlerhafte Pixelwerte zur Verfügung stehen.

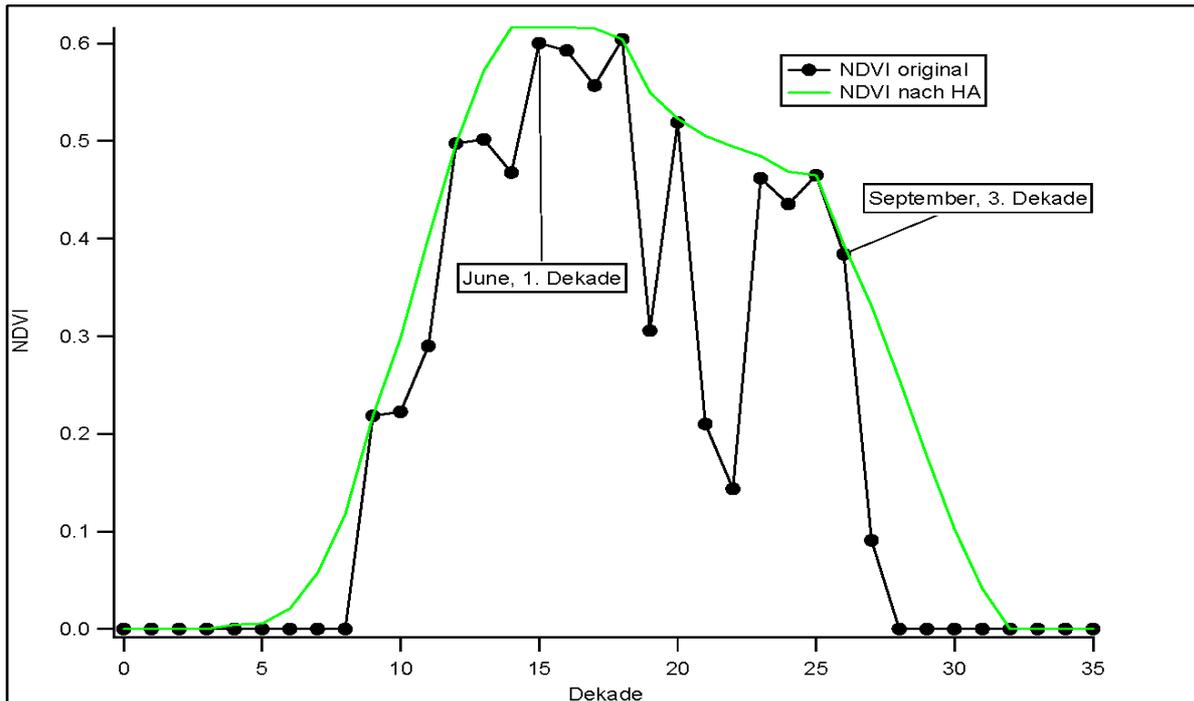
Wegen der lang anhaltenden Bewölkung im betrachteten Gebiet wurden zunächst 10-Tage-Composits des NDVI gebildet. Zu diesem Zweck werden zehn aufeinander folgende Tagesaufnahmen des NDVI übereinander gelegt und jeweils der Maximalwert des NDVI dieser zehn Tage pro Pixel ausgewählt (siehe auch Blümel et al., 1988). Da auch in den Composites noch störende Bewölkungseinflüsse zu verzeichnen waren, so dass undefinierte bzw. unrealistische Werte des NDVI auftraten, mussten weitere Korrekturverfahren angewendet werden.

Dabei handelt es sich um das Verfahren der Harmonischen Analyse, das bei Sellers et al. (1996) ausführlich beschrieben wird. Für nach der Durchführung der Harmonischen Analyse noch vorhandene undefinierte bzw. bezüglich des zeitlichen Verlaufs unrealistische NDVI-Werte wurde dann die Pixel-Nachbarschaftsrekonstruktion mit NDVI-Werten der gleichen Landnutzungsklasse angewendet. Die Abbildung 2 zeigt ein unkorrigiertes NDVI-Composit mit fehlenden NDVI-Werten im Norden Skandinaviens.



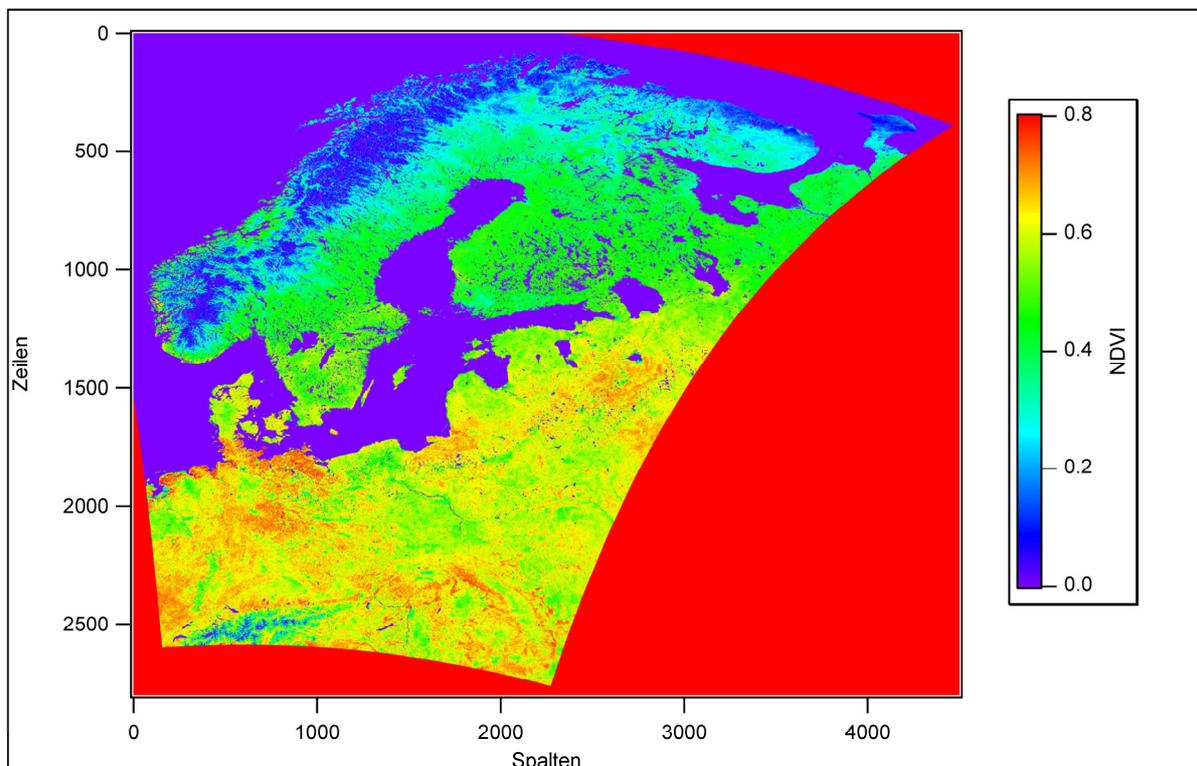
**Abb. 2:** Unkorrigiertes NDVI-Composit der zweiten Maidekade 2001

Als Beispiel für die harmonische Analyse ist in Abbildung 2 der zeitliche unkorrigierte und der sich aus der Harmonischen Analyse ergebende Verlauf des NDVI für ein Pixel in Südschweden dargestellt.



**Abb. 3:** Unkorrigierter NDVI-Verlauf und korrigierter NDVI-Verlauf nach Anwendung der harmonischen Analyse

Abbildung 4 zeigt ein mittels der Harmonischen Analyse und der Pixel-Nachbarschaftsrekonstruktion korrigiertes NOAA-AVHRR-Bild des NDVI für die zweite Maidekade 2001.

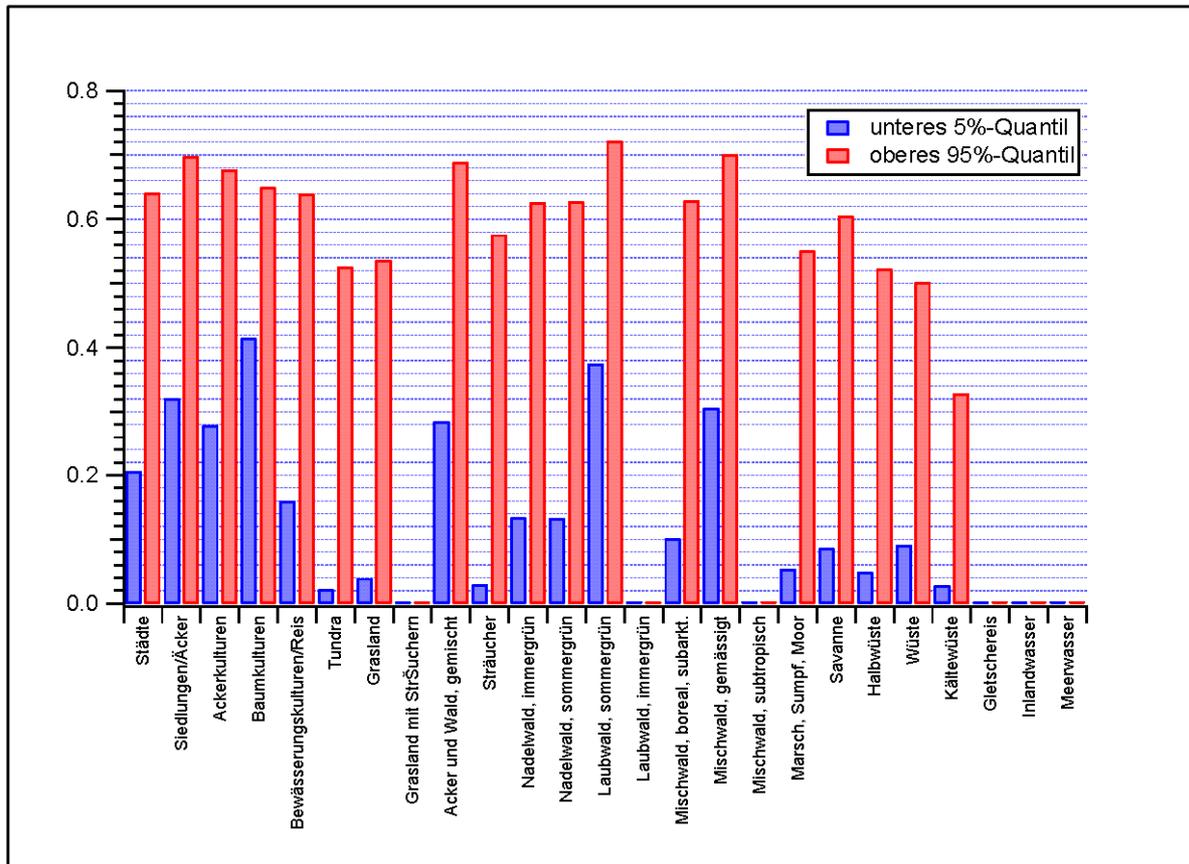


**Abb. 4:** Korrigiertes NDVI-Composit der zweiten Maidekade 2001

Es ergibt sich gegenüber dem unkorrigierten Composit in Abbildung 2 eine deutliche NDVI-Erhöhung in weiten Bereichen südlich der Ostsee. Aber auch in Skandinavien sind außer in den schneebedeckten Gebieten im Norden keine undefinierten Pixel vorhanden. Für die

Ausmaskierung von Wasserflächen und permanent mit Schnee und Eis bedeckten Gebiete wird die Landnutzungsdatei herangezogen. Daher sind jetzt auch die vielen Seen in Schweden und Finnland erkennbar. Die undefinierten Flächen außerhalb des Aufnahmegebietes des Satelliten sind nun rot dargestellt.

Für die Berechnung der FAPAR nach Gleichung (2) als Zwischenschritt zur LAI-Bestimmung werden die 5%- und 95%-Quantile des NDVI aus allen Pixelwerten der jeweiligen Landnutzungsclassen innerhalb eines Jahres gebildet, um unrealistische NDVI-Werte auszugrenzen (siehe Abb. 5 für das Jahr 2001).

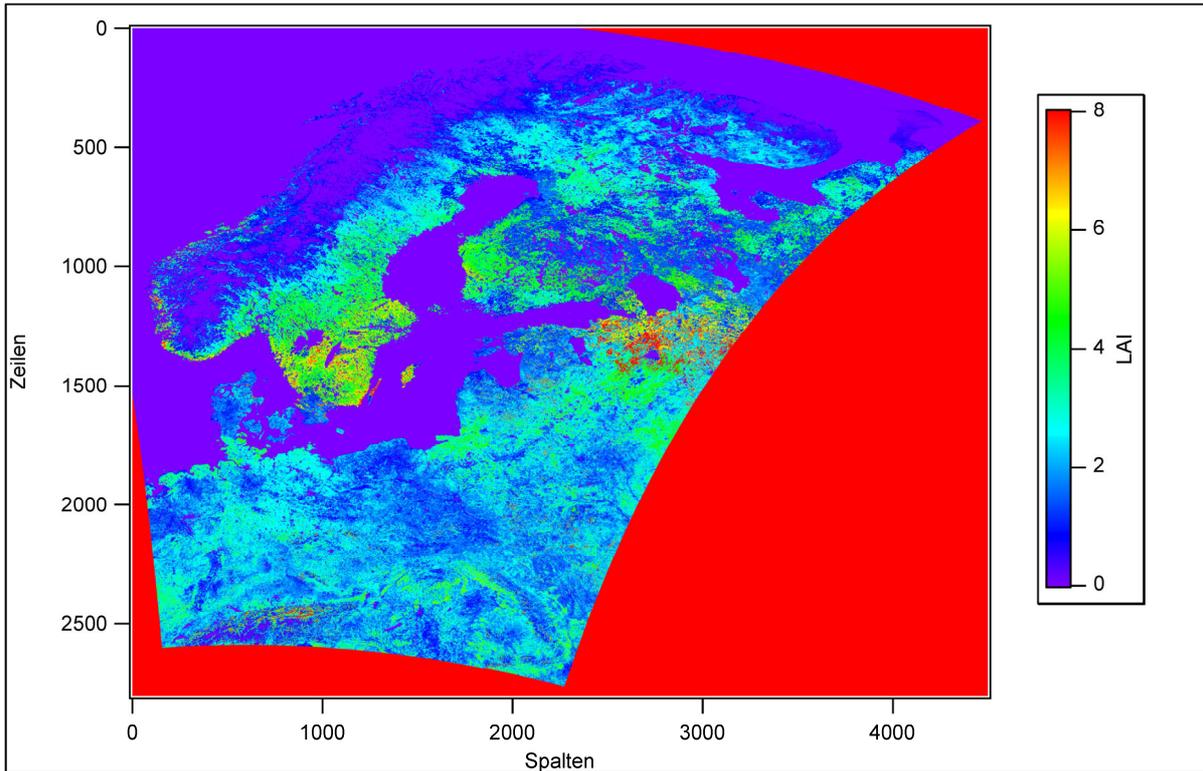


**Abb. 5:** Obere 95%- und untere 5%-Quantile des NDVI der Landnutzungsclassen für das Jahr 2001

#### 4. Ergebnisse der Berechnung des NOAA-AVHRR Leaf Area Index

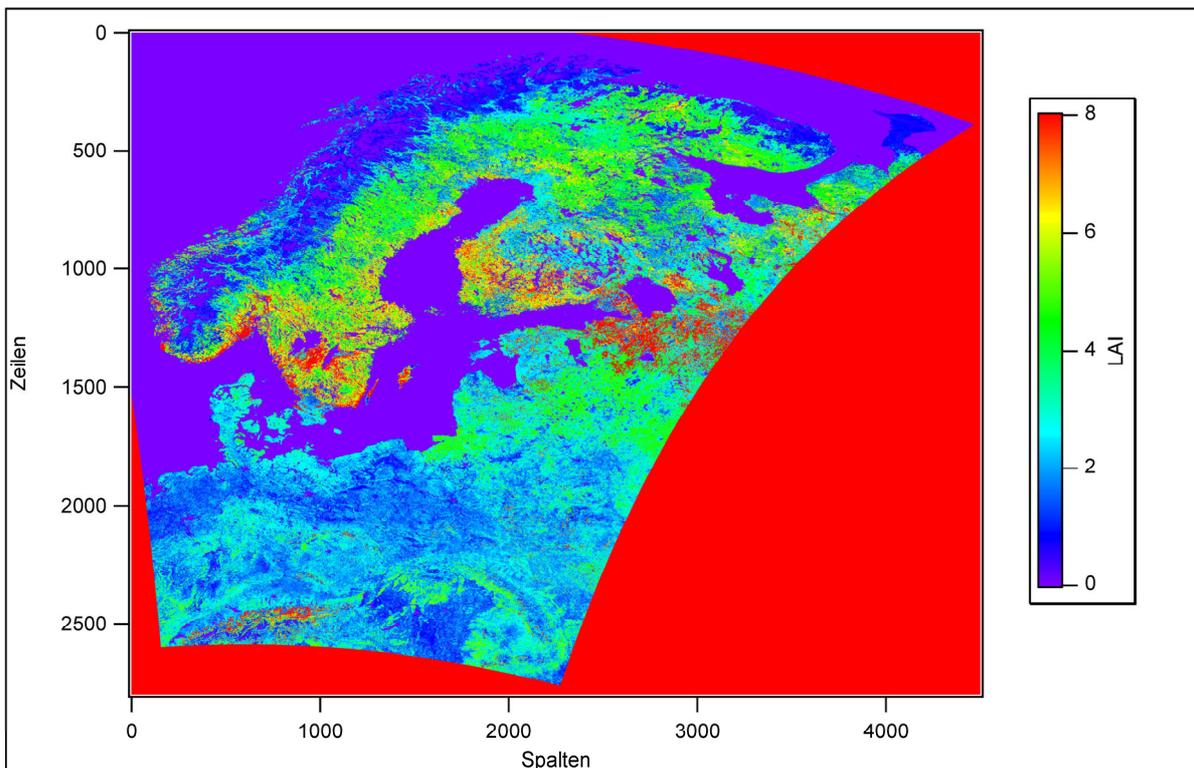
In der Abbildung 6 ist der Leaf Area Index, berechnet aus den hoch aufgelösten NOAA-AVHRR-Daten, für die zweite Maidekade im Jahr 2001 dargestellt. Im Vergleich zum NDVI-Bild des gleichen Zeitraumes (Abbildung 4) zeigt sich eine stärkere regionale Variabilität der Pixelwerte. Besonders in Teilen Südschwedens, dem westlichen Finnland und südwestlich von Sankt Petersburg treten Pixel mit höheren LAI-Werten auf, während in weiten Bereichen niedrige LAI-Werte vorherrschen.

Für die Berechnung der FAPAR nach Gleichung (2) als Zwischenschritt zur LAI-Bestimmung werden die 5% und 95%-Quantile des NDVI aus allen Pixelwerten der jeweiligen Landnutzungsclassen innerhalb eines Jahres gebildet, um unrealistische NDVI-Werte auszugrenzen (siehe Abb. 4 für das Jahr 2001).



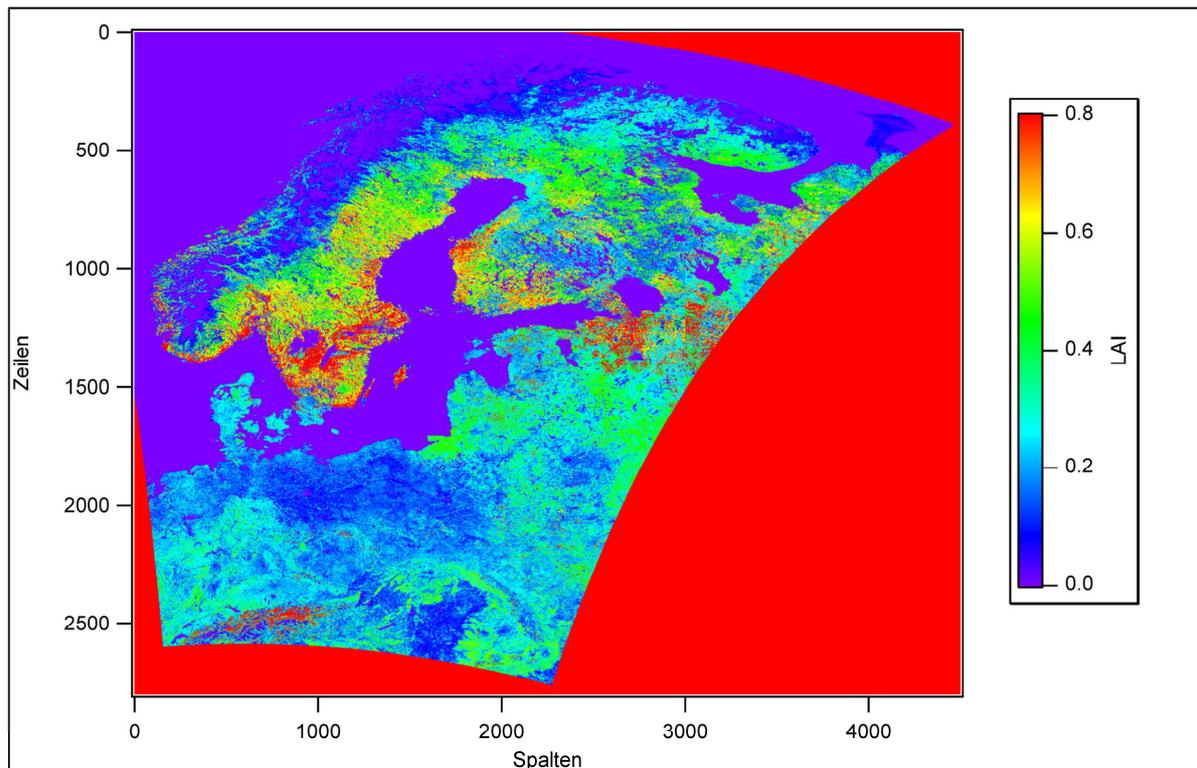
**Abb. 6:** Leaf Area Index für die zweite Maidekade 2001

Die Abbildung 7 zeigt den NOAA-AVHRR-LAI für die zweite Junidekade 2001 mit einem Anstieg der LAI-Werte (vgl. Abbildung 6) in ganz Schweden, in Finnland, um den Bottnischen Meerbusen herum. Die roten Bereiche mit maximalen LAI-Werten haben sich im Vergleich zum Mai weiter ausgedehnt und sind jetzt auch entlang der südlichen norwegischen Küstenlinie zu sehen.



**Abb. 7:** Leaf Area Index für die zweite Junidekade 2001

In Abbildung 8 ist der LAI der zweiten Juni-Dekade 2000 dargestellt und zeigt im Vergleich zu 2001 in Abbildung 7 eine noch stärkere Ausdehnung der Bereiche mit hohen LAI-Werten in Südschweden.



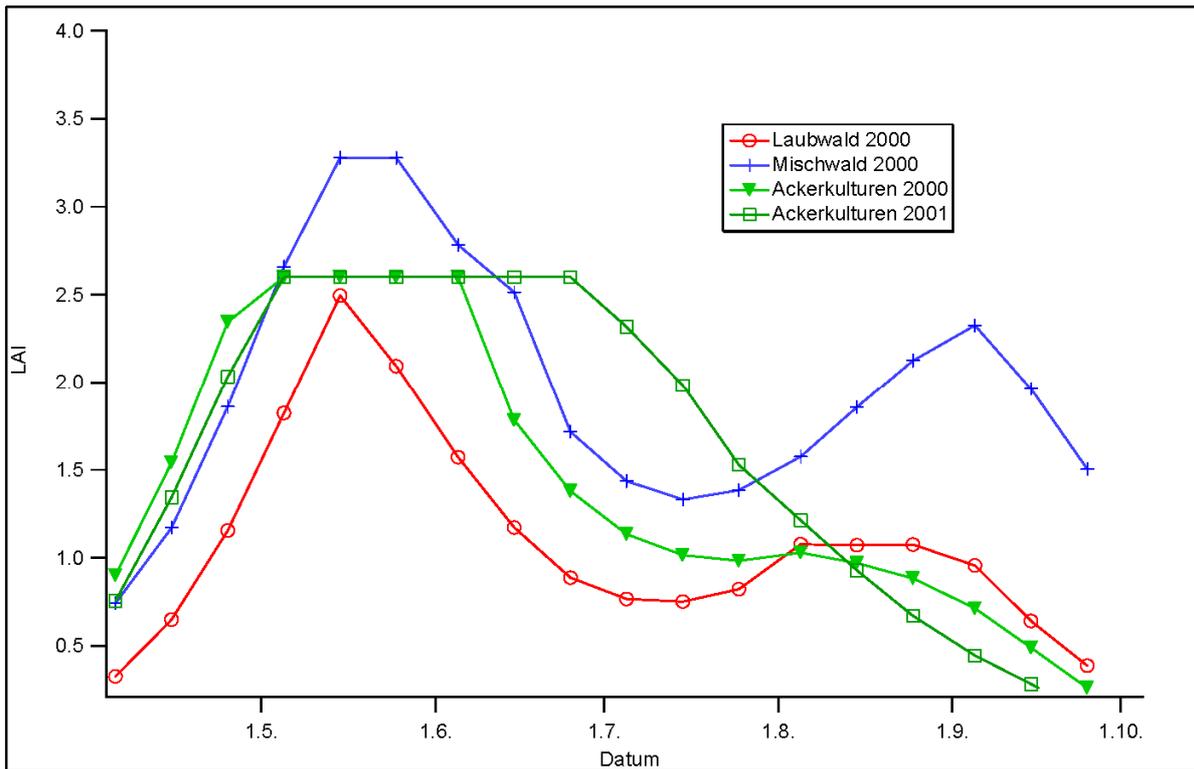
**Abb. 8:** Leaf Area Index für die zweite Junidekade 2000

Hierbei können unterschiedliche Witterungsverhältnisse in den beiden Jahren eine Rolle spielen.

Das Jahr 2000 war im Ostseeraum durch einen sehr warmen April gekennzeichnet. Das Mittel der Tagesmaxima der Lufttemperatur vom April betrug in Berlin im Jahr 2000 17,1 °C, im Jahr 2001 dagegen nur 12,9 °C. Auch der Mai und Juni 2000 waren wesentlich wärmer als in den anderen Jahren des betrachteten Zeitraums 1997 bis 2002. Dagegen war es relativ trocken, denn die Niederschlagssumme von April bis einschließlich Juni 2000 lag in Berlin bei 87,7 mm. Im gleichen Zeitraum 2001 lag sie bei 141,7mm! Im Juli und August 2000 war es dagegen kühler und feuchter als im Jahr 2001. Die mittleren Tagesmaxima der Lufttemperatur betragen 22,6 °C und es fielen 149 mm Niederschlag. Im Vergleich dazu betrug im Juli/ August 2001 das Mittel der Tagesmaxima der Lufttemperatur 25,5°C und die Niederschlagssumme 92,2 mm.

Der Einfluss des Witterungsverlaufs spiegelt sich im Gang des LAI von drei verschiedenen Landnutzungsklassen wider, der in Abbildung 9 dargestellt ist. Dabei handelt es sich um jeweils ein ausgewähltes Pixel im norddeutschen Tiefland.

Der LAI der drei Pixel steigt im Jahr 2000 schnell auf einen Maximalwert in der ersten Junidekade an und fällt danach bis Mitte Juli. Nach den kräftigen Regenfällen im Juli und in den Folgemonaten nimmt er wieder zu und erreicht ein zweites, kleineres Maximum im September. Besonders ausgeprägt ist dieser LAI-Verlauf bei dem „Mischwaldpixel“, aber auch das „Laubwaldpixel“ zeigt diesen Gang. Das ist ein Indiz dafür, dass es sich bei diesen beiden Pixeln um Mischpixel handeln kann bzw. die zugeordnete Landnutzungsklasse unkorrekt ist. Typisch wäre dieser LAI-Verlauf z.B. für das Wachstum einer Zwischenkultur auf den Feldern (z.B. Futterpflanzen) oder das Vorhandensein von Wiesen mit einer entsprechend kräftigen Blattflächenentwicklung nach den Regenfällen. Der LAI-Verlauf des Pixels mit „Ackerkulturen“ zeigt im Jahr 2001 dagegen nur eine längere Periode mit maximalen Werten und nimmt danach stetig ab.



**Abb. 9:** Verlauf des Leaf Area Index an drei ausgewählten Pixeln im norddeutschen Tiefland

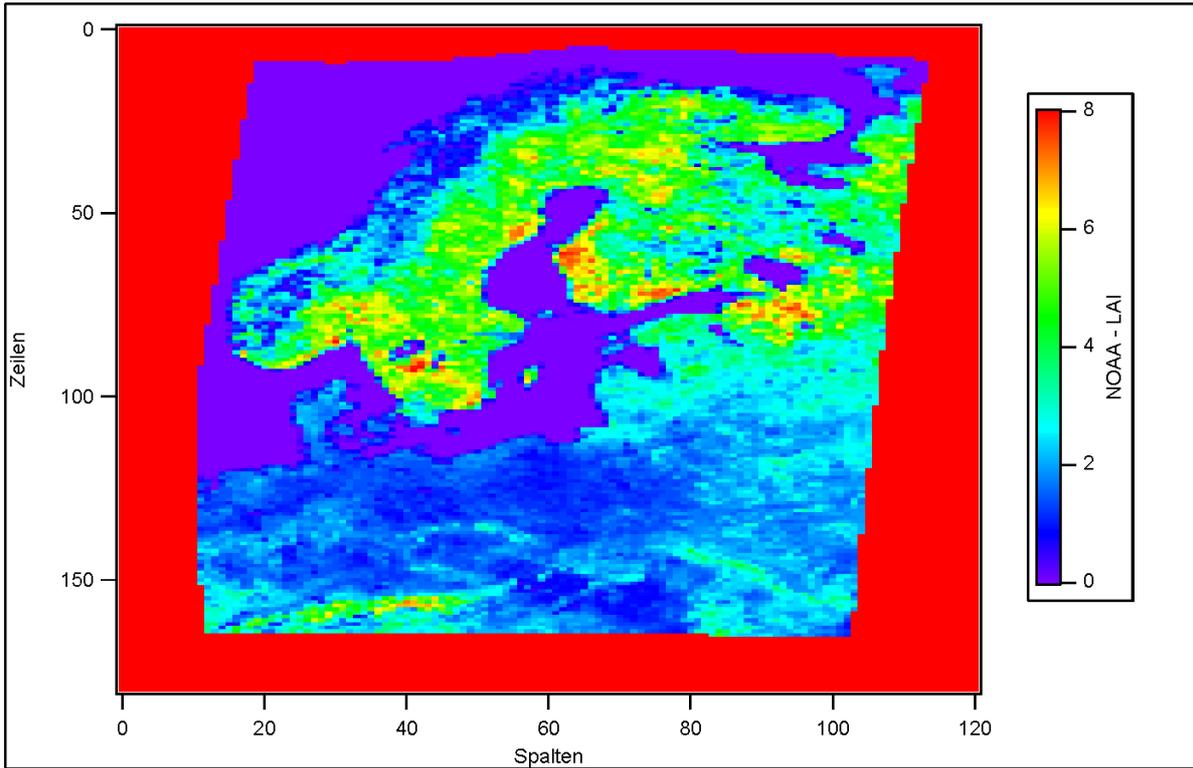
Die Problematik der Zuordnung von realistischen Landnutzungsklassen zu den Pixeln zeigte sich bereits bei der Darstellung der 95%- und 4%-Quantile des NDVI in Abbildung 4. Hier haben auch die Landnutzungsklassen „Wüsten“ und „Savannen“ recht hohe Werte der 95%-Quantile des NDVI, obwohl man in diesen Klassen nicht mit dem Vorhandensein eines entsprechenden Bewuchses rechnet.

Die beschriebenen hohen LAI-Werte in Südschweden, Finnland und südlich und westlich von Sankt Petersburg (siehe Abbildungen 6 und 7) beziehen sich auf Pixel mit der Landnutzungsklasse „immergrüner Nadelwald“. Wenn der NDVI entsprechend hoch ist, werden den Pixeln die Maximalwerte des LAI der betreffenden Landnutzungsklasse zugeordnet. Diese sind bei Nadelwald besonders groß. Sind diesen Pixeln dagegen andere Landnutzungsklassen, z. B. Ackerkulturen zuzuordnen, ist deren maximaler LAI bei dem selben NDVI niedriger. Die Pixel mit „immergrünem Nadelwald“ weisen neben höheren LAI-Werten als die der anderen Gebiete der gleichen Landnutzungsklasse ebenfalls einen ausgeprägten Jahresgang auf. Daher handelt es sich in der Realität vermutlich um landwirtschaftlich genutzte Flächen oder Wiesen. Ob der flächenmäßige Anteil der Gebiete mit immergrünem Nadelwald in der verwendeten Landnutzungsklassifikation überschätzt wird, bedarf daher einer späteren Überprüfung.

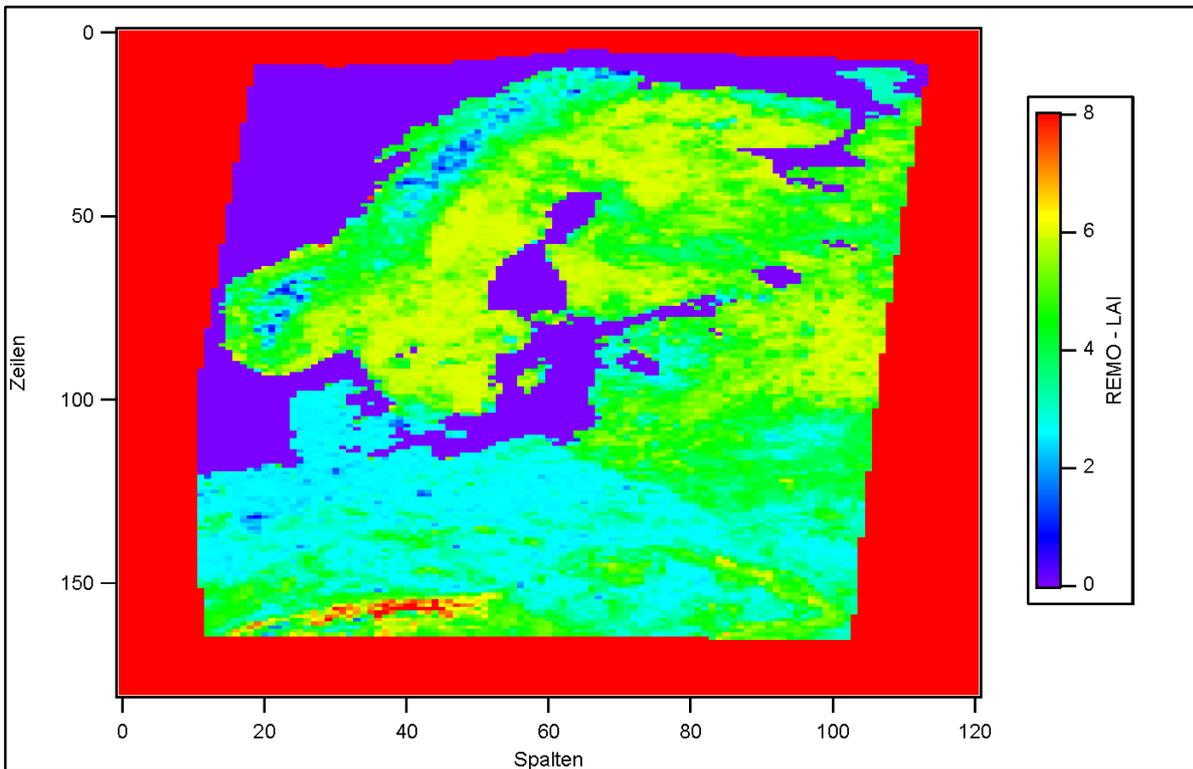
## 5. Vergleich des NOAA-AVHRR Leaf Area Index mit dem des Klimamodells REMO

Der aus den NOAA-AVHRR-Daten berechnete hoch aufgelöste LAI wurde in das 1/6- Grad – Raster des Klimamodells REMO umgerechnet, um ihn mit den im Modell verwendeten, fest vorgegebenen monatlichen LAI-Werten vergleichen zu können.

Die Abbildung 10 zeigt den hoch aufgelösten, aus den NOAA-AVHRR-Daten berechneten LAI für den Juli 2001 und in Abbildung 11 ist der im Klimamodell REMO verwendete LAI für den Juli dargestellt. Der im REMO Modell verwendete LAI bezieht sich auf den modifizierten USGS- Landnutzungsdatensatz (siehe Kapitel 3.1), der für die LAI-Berechnung verwendet wurde, und ist für jeden Monat in Abhängigkeit von der Landnutzungsklasse und einem klimatologischen Limitierungsfaktor fest vorgegeben. Wie der Vergleich der beiden Abbildungen zeigt, liegen die im REMO Modell verwendeten LAI-Werte tendenziell höher als die aus den NOAA-AVHRR-Daten bestimmten.



**Abb. 10:** NOAA-AVHRR-LAI auf dem 1/6 ° REMO-Gitter für die zweite Julidekade 2001



**Abb.11:** REMO-LAI auf dem 1/6 ° REMO-Gitter für Mitte Juli

Das gilt auch für die anderen Monate der Vegetationsperiode, die hier nicht extra aufgeführt werden. Zu beachten ist hierbei, dass die im REMO-Modell eingehenden LAI-Werte „statisch“ sind und als Mittelwerte für die Flächen des  $1/6^\circ$  Rasters vorgegeben werden. Sie haben dadurch auch eine ausgeglichene regionale Variabilität. Es spielen auch Skalierungseffekte eine Rolle, da der hochaufgelöste NOAA-AVHRR-LAI bei der Interpolation auf das gröbere Raster niedriger wird und damit die Differenz zum festen REMO-LAI größer wird. Nur in den bereits in Kapitel 4 diskutierten Gebieten mit unrealistisch hohen NOAA-AVHRR-LAI-Werten in Skandinavien und der östlichen Ostsee (rote Bereiche in den o.g. Abbildungen) werden die LAI-Werte des REMO-Datensatzes überschritten. Der Vergleich der beiden Abbildungen zeigt ansonsten weitgehend eine ähnliche regionale Verteilung des NOAA-AVHRR- und des REMO-LAI-Datensatzes.

## 6. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Der für das Balticos-Gebiet auf der Basis des NOAA-AVHRR-NDVI hergeleitete LAI weist in Abhängigkeit von der Vegetationsentwicklung typische Schwankungen auf. Er variiert innerhalb derselben Vegetationsklasse in Abhängigkeit vom Witterungsverlauf und von Jahr zu Jahr. Es zeigte sich, dass bei der Landnutzungsclassen „immergrüner Nadelwald“ eine stärkere regionale und zeitliche Variabilität des LAI auftritt und er in bestimmten Bereichen Skandinaviens und des Baltikums sowie in den Alpen einen ausgeprägten Jahresgang aufweist sowie Maximalwerte erreicht.

Da davon ausgegangen werden kann, dass der LAI eines immergrünen Nadelwaldes im Jahresverlauf nahezu konstant bleibt, handelt es sich bei den erwähnten Gebieten vermutlich um Mischpixel oder um Pixel mit anderer Landnutzung als der mit der Klassifikation zugewiesenen. Auch im Norddeutschen Tiefland betrachtete einzelne Pixel von Mischwald und Laubwald zeigen in Abhängigkeit vom Witterungsverlauf ausgeprägte LAI-Schwankungen im Jahresverlauf. Die Ursache ist auf die dominante Annahme von Nadelwald in der Landnutzungsdatei zurück zu führen, obwohl meist Mischwald und landwirtschaftlich genutztes Gelände angenommen werden kann. Auch der Vergleich mit Standardwerken (z.B. Dierke Weltatlas u.a.) zeigt bei dem USGS-Landnutzungsdatensatz eine deutliche Überbetonung des Waldanteils im Ostseeraum. Die Überprüfung der Waldverteilung im verwendeten Landnutzungsdatensatz, z.B. anhand hoch aufgelöster Satellitendaten (Aster, Landsat), ist daher unbedingt notwendig.

Die aus den hochaufgelösten Daten auf das REMO-Gitter umgerechneten LAI-Werte liegen generell niedriger als die im REMO Modell verwendeten Werte, bis auf die genannten Gebiete mit der festgestellten unrealistischen Landnutzungsclassifizierung.

Insgesamt hat sich aber gezeigt, dass sich mit der Verwendung der NOAA-AVHRR-Daten das Ziel der Dynamisierung des LAI innerhalb des Klimamodells REMO erreichen lässt.

### Literatur:

Arsar, G., Fuchs, M., Kanemasu, E.T., Hatfield, J.L. (1984): Estimating Absorbed Photosynthetic Radiation and Leaf Area Index from Spectral Reflectance in Wheat. *Agron. J.* Vol. 76: 300-306

Blümel, K, Bolle, H-J, Eckardt, E, Lesch, L, Tonn, W (1988): Der Vegetationsindex für Mitteleuropa 1983-1985. Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin, 70 S.

Carlson, T.N., Ripley, D.A. (1997): On the Relation between NDVI, Fractional Vegetation Cover, and Leaf Area Index. *Remote Sensing Environ.* 62: 241-252

Hagemann, S. (2002): A Improved Land Surface Parameter Dataset for Global and Regional Climate Models.

Max Planck Institut für Meteorologie Hamburg, MPI Report No. 336, 26 S.

Hagemann S. , Botzet M., Dümenil L., Machenhauer, B. (1999): Derivation of Global GCM Boundary Conditions from 1 km Land Use Satellite Data. Max Planck Institut für Meteorologie Hamburg, MPI Report No. 289, 31 S.

Hall, F.G., Huemmrich, K.F., Goetz, S.J., Sellers, P.J., Nickeson, J. (1992): Satellite Remote-Sensing of Surface-Energy Balance - Success, Failures, and Unresolved Issues in FIFE. J. of Geophys. Res. Vol. 97 No. D17:19061-19089

Koslowsky, D. (1996): Mehrjährige validierte und homogenisierte Reihen des Reflexionsgrades und des Vegetationsindexes von Landoberflächen aus täglichen AVHRR-Daten hoher Auflösung.

Freie Universität Berlin, Meteorologische Abhandlungen, Neue Folge, Serie A Monographien, Band 9, Heft 1, 238 S.

Olson, J.S. (1994a): Global Ecosystem Framework-Definitions. USGS EROS Data Center Internal Report, Sioux Falls, SD

Olson, J.S. (1994b): Global Ecosystem Framework-Translation Strategy. USGS EROS Data Center Internal Report, Sioux Falls, SD

Sellers, P.J. (1985): Canopy Reflectance, Photosynthesis and Transpiration. Intern. J. Remote Sensing Vol. 6 No. 8: 1335-1372

Sellers, P.J., Los, S.O., Tucker, C.J., Justice, C.O., Datzlich, D.A., Collatz, G.J., Randall, D.A. (1996): A Revised Land Surface Parameterization (SiB2) for Atmospheric GCMs. Part II: The Generation of Global Fields of Terrestrial Biophysical Parameters from Satellite Data. Journal of Climate Vol. 9: 706-737

## **Teil 2: Analyse der Schneebedeckung**

### **1. Einleitung**

Informationen über die Schneebedeckung und -höhe im BALTEX-Gebiet sind von besonderem Interesse für die Evaluierung des REMO-Modells wegen ihres großen Einflusses auf die Energiebilanz und Dynamik in der Grenzschicht. Es wurde eine Methode zur flächenmäßigen Interpolation der Schneehöhe für das REMO-Gebiet entwickelt, unter Verwendung der 3-stündigen Standardmessungen der Synop-Stationen. Die Berechnungen wurden für die Jahre 1992 – 2001 durchgeführt. Die gewonnenen Schneehöhen wurden mit den Schnee-Wasser-Äquivalent Daten aus dem REMO-Modell verglichen.

### **2. Methode**

#### **2.1 Schneehöhen-Interpolation**

Bei einer ersten Durchsicht der Bodenbeobachtungen zur Schneedecke zeigte sich, dass diese mit vielfältigen Fehlern durch Störungen bei der Datenübermittlung, Kodierungs- und Bearbeitungsfehlern behaftet waren. Daher mussten zunächst umfangreiche Fehlererkennungsverfahren entwickelt werden, um fehlerhafte Informationen so gut wie möglich auszusortieren.

Um zwischen Beobachtungen ohne Schnee und Stationen ohne Beobachtungen unterscheiden zu können, wurden Analyseverfahren entwickelt, die andere synoptische Parameter wie das beobachtete Wetter, den Erdbodenzustand und die Luft- und Bodentemperatur auswerten. Zusätzlich wurde versucht eine Wahrscheinlichkeit für das Vorhandensein von Schnee für jeden synoptischen Beobachtungstermin zu bestimmen.

Da die Schneehöhen meist nur einmal am Tag, zu unterschiedlichen Zeitpunkten, gemessen werden, wurde eine zeitliche Interpolation auf die 3-stündigen Synop-Termine durchgeführt. Dabei wurde versucht aus anderen synoptischen Parametern den zeitlichen Verlauf der Schneedecke (Erhöhung durch Schneefall oder Abtauen bei entsprechenden Temperaturen) zwischen den Messterminen zu modulieren.

Mit dem vorhandenen Datensatz ist es nun möglich für jeden Synop-Termin Schneehöhen zu interpolieren. Die Anzahl und Auswahl der Stationen ist bei jeder Interpolation unterschiedlich. Zu einzelnen Terminen liegen meist Daten von 700 bis 1000 Beobachtungsstationen vor.

Diese Daten wurden verwendet um tägliche Schneehöhenfelder für 1200 UTC für die Jahre 1992-2001 zu berechnen. Dabei erfolgten die Interpolationen auf einem  $1/60^\circ$  zu  $1/120^\circ$  Feld (etwa 1 km x 1 km).

Während der Interpolation wurden für jede Box des Feldes die Entfernung zu den verwendeten Synop-Stationen und die Höhendifferenz zu ihr mit berücksichtigt.

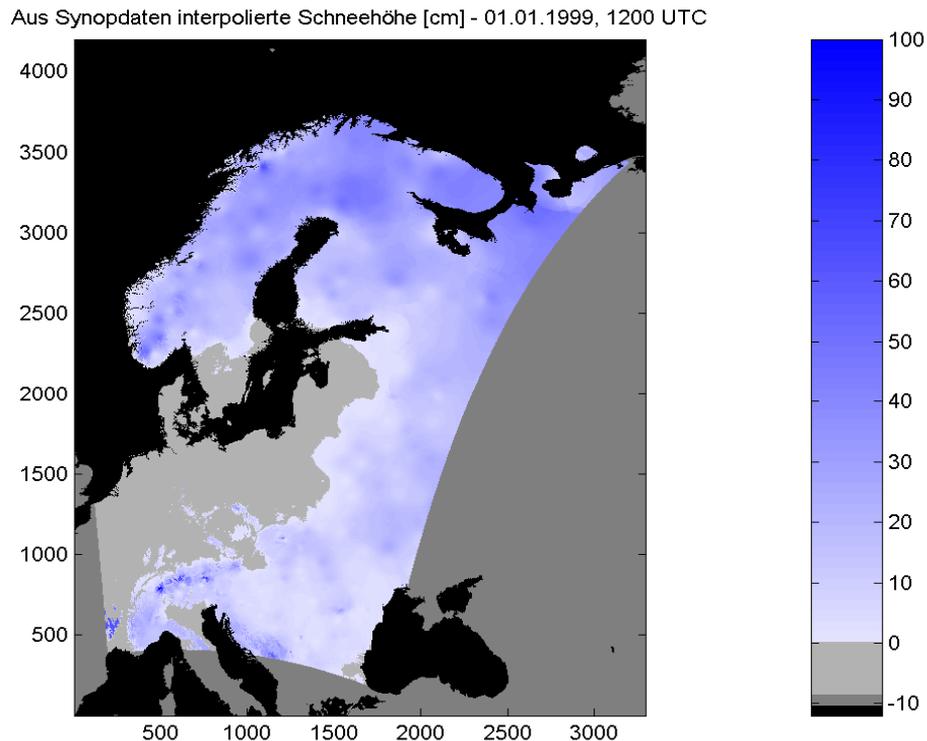
Es wurden bis zu acht am nächsten gelegene Synop-Stationen, bei einer vorgegebenen maximalen Entfernung, für die Interpolation verwendet. Stationen die nur maximal eine Box entfernt waren wurden immer verwendet. Alle anderen die innerhalb der maximalen Entfernung lagen wurden nur dann berücksichtigt, wenn die Höhendifferenz zur Box innerhalb eines vorgegebenen Intervalls lag. Das Intervall wurde mit zunehmender Entfernung immer kleiner. Bei der Festlegung des Intervalls wurde zwischen Stationen mit und ohne Schneedecke unterschieden.

Wenn innerhalb der ersten vorgegebenen maximalen Entfernung (bis zu 200 km für Stationen mit Schnee und bis zu 150 km für Stationen ohne Schnee) keine Station gefunden wurde, wurde der Bereich in mehreren Schritten erweitert, bis zu einem Maximum von bis zu 600 km für Stationen mit und 500 km für Stationen ohne Schnee. Es gab nur wenige

Gebiete, für die auch bei diesen Entfernungen keine Stationen gefunden werden konnten. Meist waren es die höheren Gebiete der Skandinavischen Gebirge, wo für einige Tage im Herbst keine Berechnungen möglich waren. Die dazugehörigen Boxen wurden dann als schneefrei angesehen.

Wenn mehr als eine Station für die Berechnung der Schneehöhe der Box vorhanden war, wurden die Schneehöhen der Stationen mit der Entfernung und der Höhendifferenz zur Box gewichtet gemittelt.

Abb. 1 zeigt als Beispiel die interpolierte Schneehöhe für den 1.1.1999.



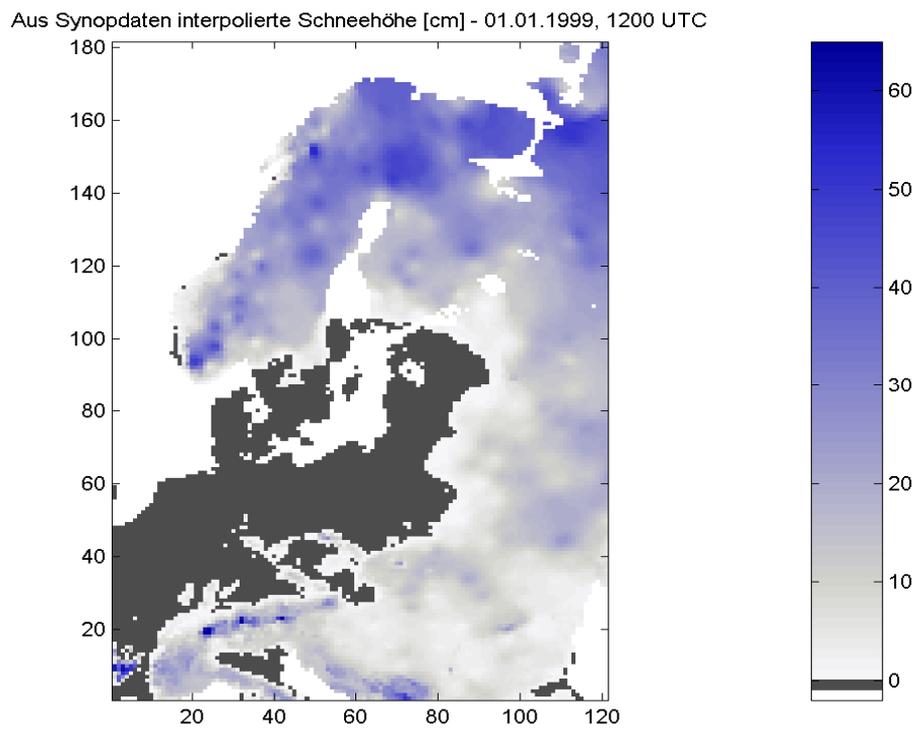
**Abb. 1:** Aus Synopdaten interpolierte Schneehöhe [cm] für den 01.01.1999, 1200 UTC. (Hellgraue Gebiete: kein Schnee, die dunkelgrauen Gebiete liegen außerhalb des REMO-Gebietes, deshalb wurden hier keine Berechnungen durchgeführt).

## 2.2 Vergleiche zum REMO-Modell

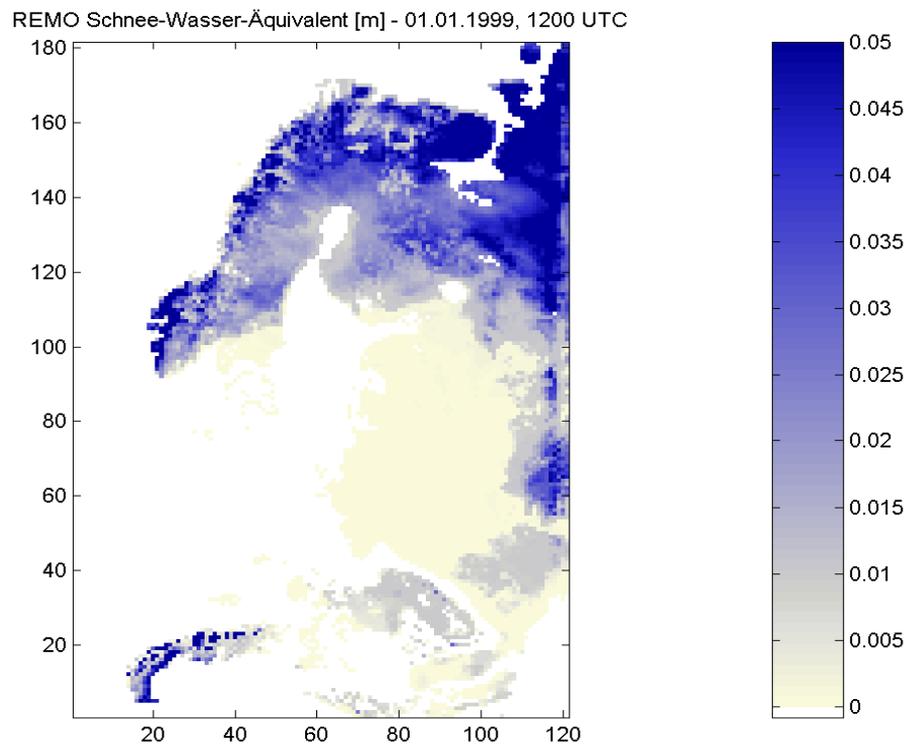
Um die berechneten Schneehöhenfelder mit dem REMO-Modell vergleichen zu können, mussten sie zunächst auf das Koordinatensystem und  $1/6^\circ$ -Gitter von REMO umgerechnet werden (s. Abb.2).

Da das Vorhandensein einer Schneedecke auch von der Höhe abhängt und die Remo-Boxen wegen ihrer größeren Ausdehnung eine zum  $1 \times 1$  km-Gitter nivellierte Orographie besitzen, wurden zur Berechnung der Schneehöhen in den REMO-Boxen nur solche  $1 \times 1$  km-Boxen verwendet, deren Höhendifferenz zu den REMO-Boxen kleiner als 300 m ist.

Wie die meisten Klimamodelle verwendet REMO keine Schneehöhen sondern das Schnee-Wasser-Äquivalent (s. Abb. 3). Das ist die Höhe der Wassersäule, die entsteht, wenn der Schnee geschmolzen wird. Sie ist abhängig von der Dichte des Schnees, welche stark schwankt.



**Abb. 2:** Aus Synopdaten interpolierte Schneehöhen [cm] für den 01.01.1999, 12 UTC, umgerechnet auf das REMO-Gitter. (Schwarze Gebiete: kein Schnee).



**Abb. 3:** Schnee-Wasser-Äquivalent des REMO-Modells für den 01.01.1999, 12 UTC.

Die Schneedichte wird berechnet als:

$$\text{Schneedichte} = \frac{\text{Schnee-Wasser-Äquivalent}}{\text{Schneehöhe}}$$

Die Schneedichte kann in einem weiten Bereich schwanken: von etwa 0.05 bei neu gefallenem Schnee bei tiefen Temperaturen bis über 0.5 bei altem, zusammengesacktem, durch Wind verdichtetem, geschmolzenem und wieder gefrorenem Schnee.

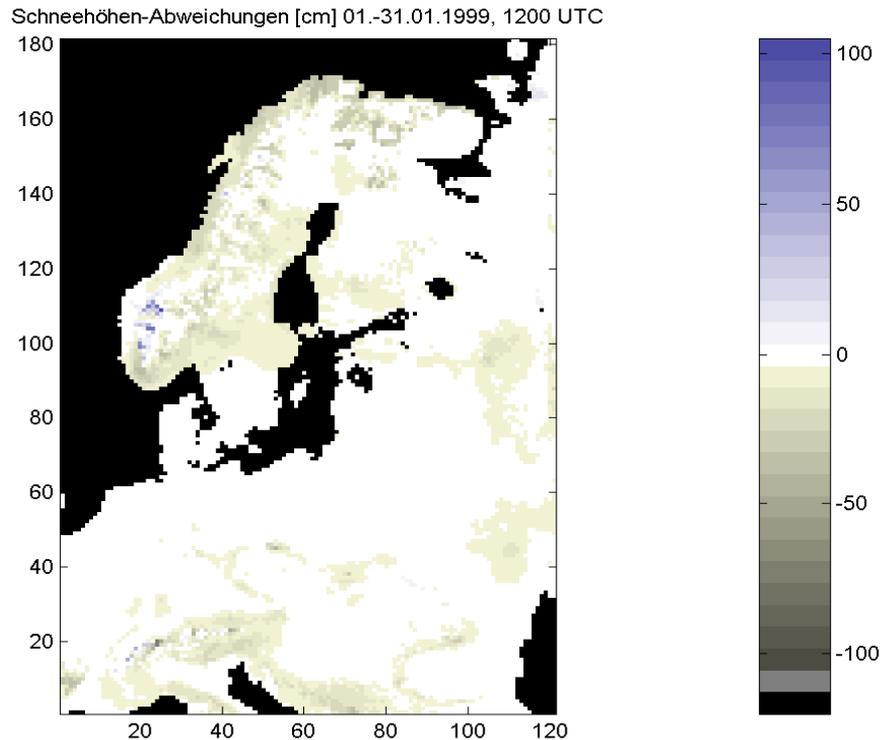
In einem ersten Versuch die REMO-Daten mit der interpolierten Schneehöhe zu vergleichen, wurden aus der Schneehöhe und dem REMO-Schnee-Wasser-Äquivalent (SWÄ) Schneedichten berechnet. Lagen beide in einem vergleichbaren Bereich so mussten sich sinnvolle Schneedichten daraus ergeben. Auch wenn beide keinen Schnee zeigten wären die Ergebnisse korrekt.

Diese Methode liefert aber nur brauchbare Ergebnisse, wenn beide Parameter größere Werte haben. Sind beide klein, so können trotz geringer Abweichungen große Fehler entstehen. Wenn REMO SWÄ zeigt aber keine Schneedecke vorhanden ist, kann keine Schneedichte berechnet werden. Somit ist es schwierig mit dieser Methode sinnvolle Fehlerangaben zu erhalten.

Deshalb wurde eine zweite Methode entwickelt. Mittels vorgegebener größter und kleinster Schneedichten wurden aus dem SWÄ minimale und maximale Schneehöhen berechnet. Lag die interpolierte Schneehöhe in diesem Intervall, wurden die Werte als übereinstimmend betrachtet. Lag die interpolierte Schneehöhe außerhalb des Intervalls, wurde die Differenz zur nächstgelegenen Intervallgrenze als Fehlerwert angesehen.

### 3. Berechnungen

Zur Überprüfung des REMO-SWÄ wurden die täglichen Schneehöheninterpolationen von 12 UTC mit den täglichen, von REMO gelieferten SWÄ-Daten von 12 UTC für den Zeitraum 1.1.1992 bis 30.12.2001 verglichen. Dabei wurden als größte und kleinste Schneedichte 0.1 und 0.4 vorgegeben. Aus diesen täglichen Werten wurden Monats-, Jahreszeiten- und Jahresmittel berechnet. Abb. 4 zeigt als Beispiel die mittleren Schneehöhen-Abweichungen für den Monat Januar 1999.



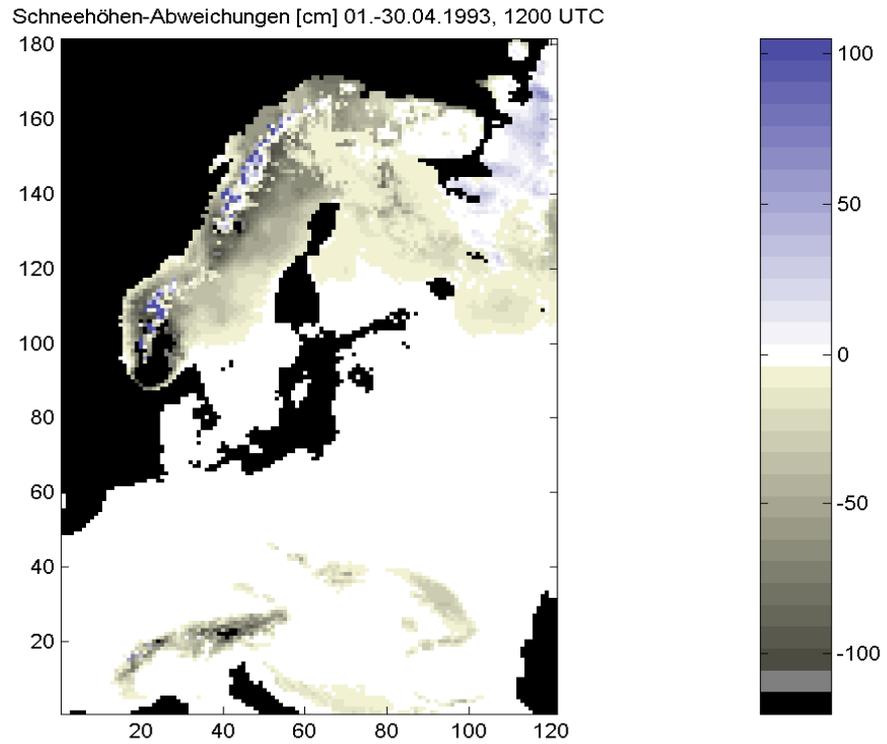
**Abb. 4:** Schneehöhen-Abweichungen [cm] (REMO minus interpolierte Schneehöhe). Mittel für den Monat Januar 1999. (Blaue Gebiete: REMO liefert größere Schneehöhen, gelbe Gebiete: REMO liefert geringere Schneehöhen).

#### 4. Ergebnisse

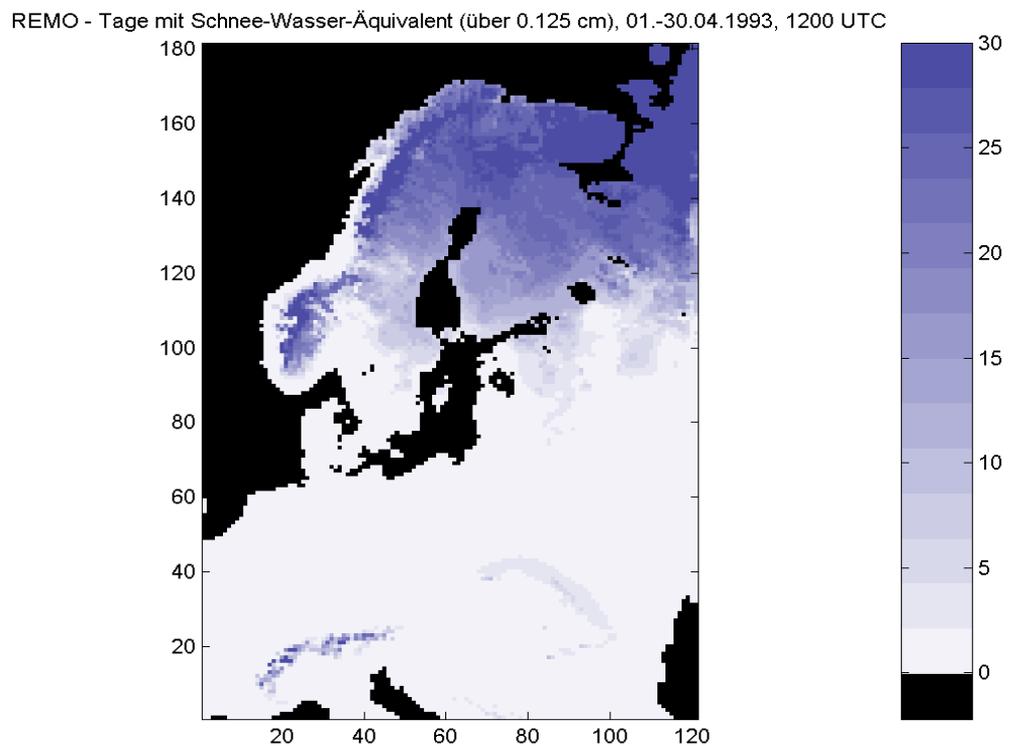
Im Allgemeinen zeigen sich gute Übereinstimmungen zwischen den interpolierten Schneehöhen und dem Schnee-Wasser-Äquivalent von REMO in Gebieten mit langlebigen und hohen Schneedecken. Da REMO ein Klimamodell ist, ist zu erwarten, dass kurze synoptische Entwicklungen weniger gut simuliert werden können.

Probleme treten auch in den Gebirgen auf. Wobei hierfür hauptsächlich die unterschiedlichen Auflösungen der Orographien der verwendeten Boxen verantwortlich scheinen. (Obwohl 1x1 km-Boxen mit Höhenabweichungen von mehr als 300 m zu den REMO-Boxen nicht berücksichtigt wurden). Da diese Gebiete wegen ihrer kleinräumigen Höhenstrukturen schwierig zu interpolieren sind, können hier auch durch fehlerhafte Schneehöhenberechnungen zusätzliche Abweichungen auftreten.

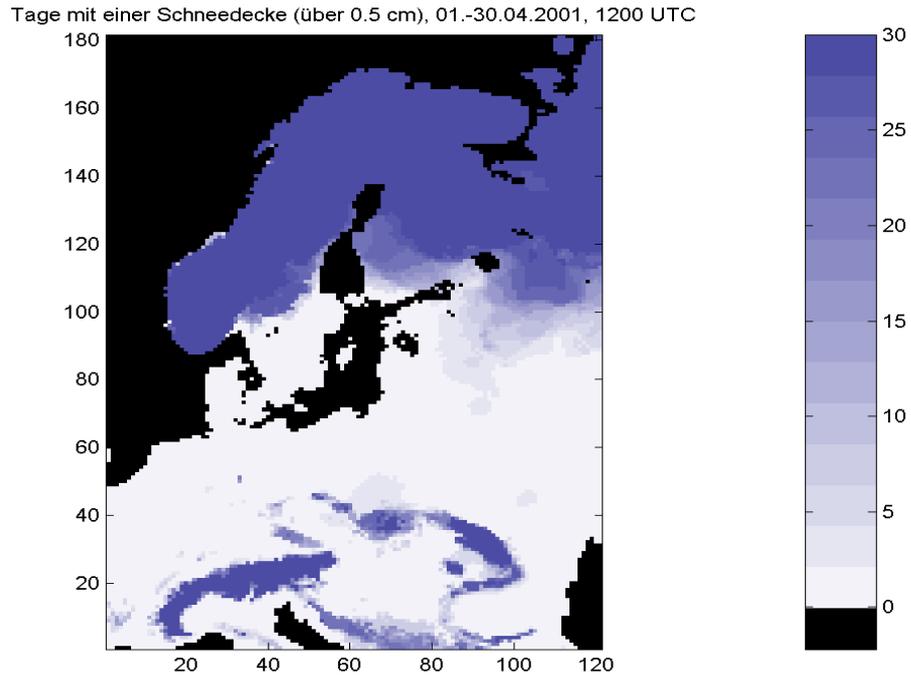
REMO zeigt allgemein eine Tendenz Schneehöhen leicht zu unterschätzen. Auffallend große Abweichungen treten jeweils im April (teilweise auch noch im Mai) in Skandinavien auf. Die Abbildungen 5 bis 7 zeigen die Situation im April 1993. Es ist zu erkennen, dass die großen Schneehöhenabweichungen (Abb.5) hauptsächlich dadurch zustande kommen, dass REMO in diesem Zeitraum nur noch an wenigen Tagen eine Schneedecke liefert (Abb.6), während die Beobachtungsstationen noch fast an allen Tagen eine Schneedecke beobachten (Abb.7). Im Vergleich steigen bei REMO die 2m-Temperaturen zu früh an, so dass der Schnee im Modell um ca. einen Monat zu früh zu tauen beginnt.



**Abb. 5:** Schneehöhen-Abweichungen [cm] (REMO minus interpolierte Schneehöhe). Mittel für den Monat April 1993.

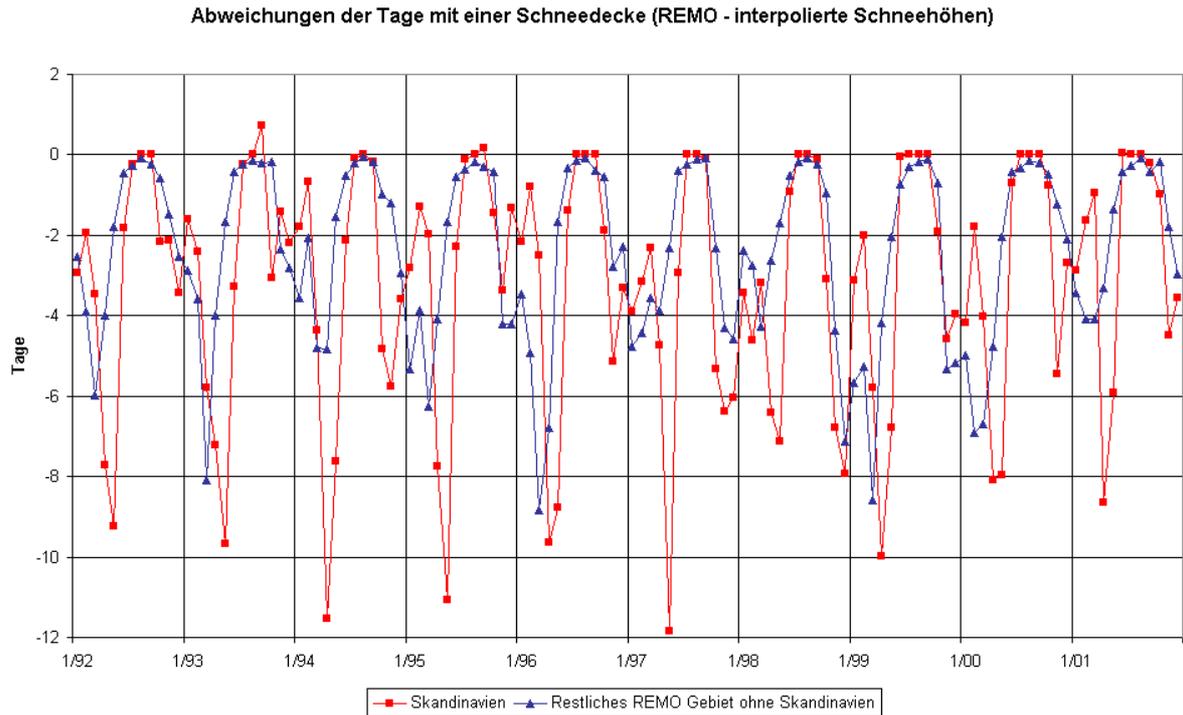


**Abb. 6:** Anzahl der Tage, an denen REMO Schnee-Wasser-Äquivalent (über 0.125 cm) errechnet. Mittel für den Monat April 1993.

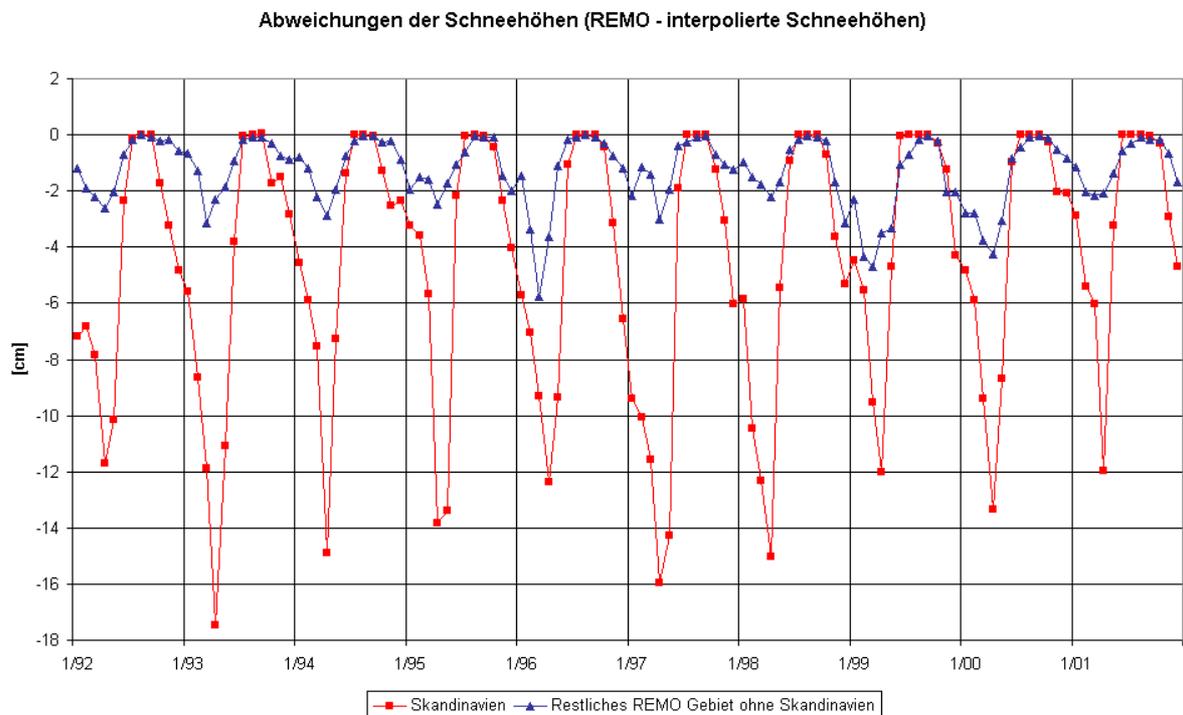


**Abb. 7:** Anzahl der Tage mit einer Schneedecke (über 0.5 cm). Mittel für den Monat April 1993.

Abb.8 zeigt, das dieser Verlauf in allen untersuchten Jahren auftritt. Auch in den anderen Gebieten ist ein zu schnelles Abtauen der Schneedecken festzustellen, wobei hier dieser Effekt bereits im März am stärksten ausgeprägt ist. Allerdings sind die Abweichungen der Schneehöhen in diesen Gebieten nur gering, was auf geringe Schneehöhen hindeutet (Abb.9). Vermutlich stammen diese Abweichungen hauptsächlich aus den Gebirgen.



**Abb. 8:** Gebietsmittel der Abweichungen der Tage mit einer Schneedecke (REMO minus interpolierte Schneehöhe). Jeweils Monatsmittel der täglichen 1200 UTC Daten. Das Teilgebiet „Skandinavien“ besteht aus den Land-Boxen des Rechtecks 70-181 (N-S-Richtung) und 1-100 (E-W-Richtung) (s. a. vorherige Abbildungen).



**Abb. 9:** Gebietsmittel der Abweichungen der Schneehöhen (REMO minus interpolierte Schneehöhe). Jeweils Monatsmittel der täglichen 1200 UTC Daten. Das Teilgebiet „Skandinavien“ besteht aus den Land-Boxen des Rechtecks 70-181 (N-S-Richtung) und 1-100 (E-W-Richtung) (s. a. vorherige Abbildungen).

### **Teil 3: Analyse der See-Eis-Bedeckung**

#### **1. Einleitung**

In Verbindung zur Analyse von Schneebedeckungen ist über den Wasserflächen des BALTEX- und REMO-Gebietes die Analyse der Eisbedeckung ebenso wichtig, da die Grenzschichtparameter auch über der See sowohl dynamisch, wie energetisch von der Oberflächenbeschaffenheit abhängig sind.

Im Ostseebereich werden routinemäßig sehr detaillierte Eisberichte vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie erstellt, entsprechend auch in Finnland, die sowohl Satelliteninformationen als auch direkte Beobachtungen verbinden. Am Institut für Meteorologie der FU Berlin wird monatlich in generalisierter Form die Ausbreitung der Eisfläche erfaßt, wobei spezielle AVHRR- und AMSU-Kanäle betrachtet werden (Eckardt et al.1983).

Um für das REMO-Gebiet eine flächenhafte, konsistente Darstellung der Eisflächen zu erlangen, wurden zunächst die entsprechend vorliegenden AVHRR- und AMSU-Daten wöchentlich für mehrere Jahre für das REMO-Gitter ausgewertet. Die interaktive Kontrolle ist wichtig, da sowohl bei der Navigierung, wie auch durch die stärkere Bewölkung im automatischen Auswerten Fehler auftreten.

#### **2. Methode und Ergebnisse**

Die Eiskarten standen zur Verfügung unter [www.natice.noaa.gov](http://www.natice.noaa.gov). Bis 1999 waren nur Eiskonturen verfügbar, die sich nicht automatisch auswerten ließen. Ab 2000 standen auch zu den Bildern gehörige Farbcodes zur Verfügung, die ausgewertet werden wurden. Die Eisbedeckung wird etwa alle zwei Wochen zwischen November und Ende Mai in sieben Klassen angegeben, von 1= eisfrei bis 7= kompaktes Eis.

In Abb. 1 ist als ein Beispiel eines der Originalbilder der Eisbedeckung der Ostsee vom 6. Januar 2003 zu sehen.

Die Bilder wurden zunächst gefiltert, so dass die Eisklassen feste Grauwerte bekamen. Anschließend wurden die Bilder durch Drehung und Streckung mit der stereographischen Projektion, in der auch die Mikrowellendaten vorliegen, zur Deckung gebracht.

Im REMO-Gitter wurden die Werte aus der stereographischen 2km-Projektion als nearest neighbour projiziert. Dabei wurden die Werte aus der stereographischen Projektion über 9 x 9 Punkte gemittelt und die Eisbedeckung prozentual angegeben.

Zusammen mit den flächenmäßigen Werten des LAI und der Schneebedeckung wurden Kombinationsbilder auf dem REMO-Gitter erzeugt.

In den Abbildungen 2 bis 4 sind drei Kombinationsbilder zu sehen, die den zeitlichen Verlauf der Schnee- und Eisbedeckung sowie den leaf area index (schneefrei Gebiete) im Ostseeraum wiedergeben.

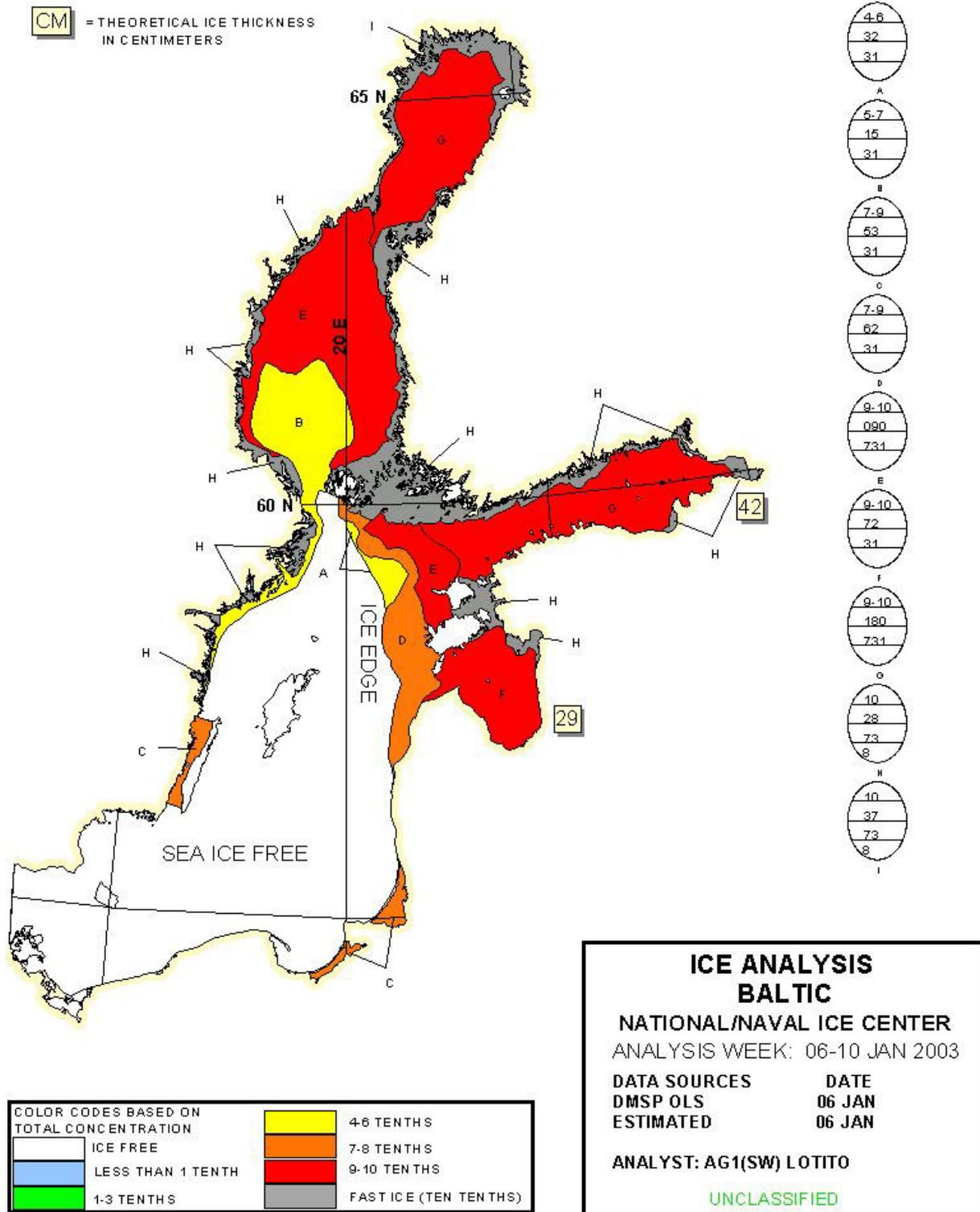


Abb. 1: Eisbedeckung der Ostsee vom 6. Januar 2003 (von [www.natice.noaa.gov](http://www.natice.noaa.gov))

LAI (11.-20.4.2001), Ice (16.4.2001) and Snow Depth (15.4.2001, 12 UTC)

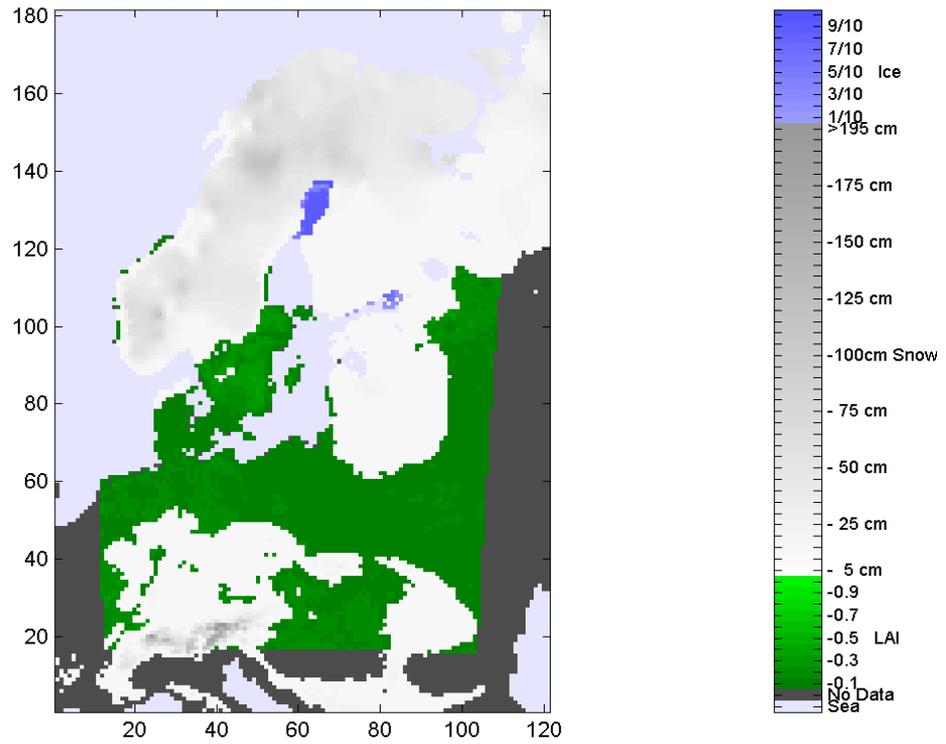


Abb. 2: Kombinationsbild der Schnee- und Eisbedeckung und des LAI (2. Aprildekade 2001)

LAI (21.-30.4.2001), Ice (23.4.2001) and Snow Depth (25.4.2001, 12 UTC)

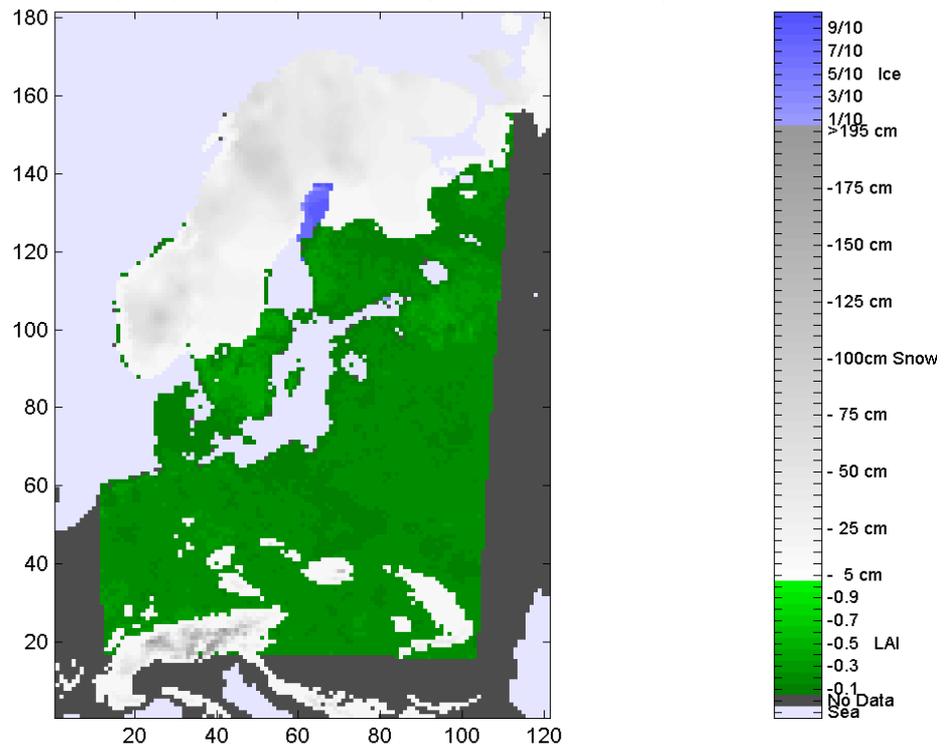
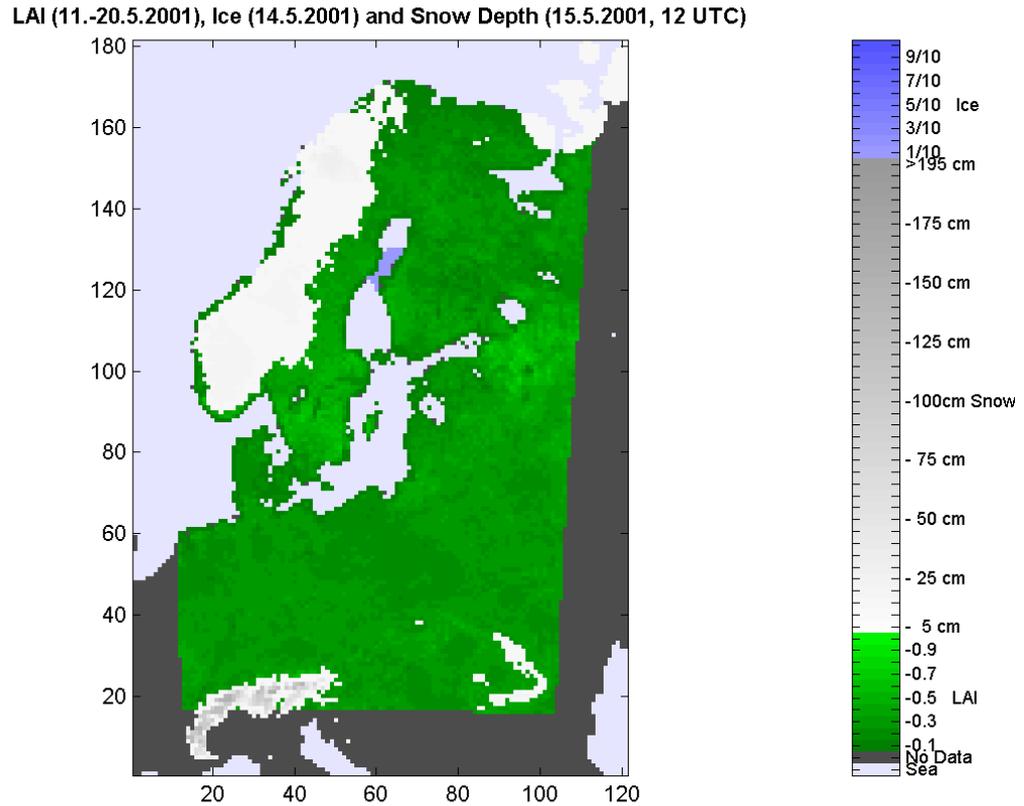


Abb. 3: Kombinationsbild der Schnee- und Eisbedeckung und des LAI (3. Aprildekade 2001)



**Abb. 4:** Kombinationsbild der Schnee- und Eisbedeckung und des LAI (2. Maidekade 2001)

Dabei zeigt sich, dass die für LAI-Bestimmung problematischen Übergangszeiten durch Schneedecken dominiert sind. Aus der starken Veränderung der Oberflächenbeschaffenheit resultiert entsprechend eine starke Variabilität der Grenzschicht (bezüglich Albedo, Rauigkeit, Oberflächentemperatur, Energieflüsse usw.).

# ENDBERICHT

## “Entwicklung und Validierung eines gekoppelten Modellsystems in der Ostseeregion” (BALTIMOS)

*Auftragnehmer:* Univ.-Prof. Dr. Jürgen Fischer , Freie Universität Berlin, Institut für Weltraumwissenschaften  
*Kennzeichen:* 01 LD 0027  
*Vorhaben:* Beobachtung von Wolken mit Satelliten (Teilprojekt 6)  
*Laufzeit:* 01.02.2001-31.01.2005  
*Berichtszeitraum:* 01.02.2001-31.01.2005

### 1. Beitrag zu förderpolitischen Zielen

Wolken beeinflussen maßgeblich die Strahlungsbilanz der Erde und ihrer Atmosphäre sowie den hydrologischen Kreislauf. Aus diesem Grund ist die zuverlässige Simulation von Wolken in Klimamodellen unabdingbar. Je nach Typ wirken Wolken sehr unterschiedlich auf den Strahlungshaushalt und hydrologischen Kreislauf. Im Bezug auf Wolken wurde das Klimamodell BALTIMOS deshalb nicht nur anhand des Parameters Gesamtbedeckung validiert, sondern auch die Wolkenalbedo, die maßgeblich über die Strahlungseigenschaften der Wolke entscheidet.

Ein weiterer entscheidender Parameter für den hydrologischen Kreislauf stellt der atmosphärische Wasserdampfsäulengehalt dar. Dieser lässt sich aus satellitengestützten Messungen mit dem MODIS Instrument über wolkenfreien Landflächen ableiten. Für seine Validierung wurden statistische Vergleiche der fernerkundeten Größe mit der entsprechenden Klimamodellgröße vorgenommen.

Für die eben genannten Parameter wurden statistische Vergleiche u.a. von Tagesgängen, Jahresgängen und absoluten Häufigkeiten durchgeführt.

### 2. Wissenschaftlich-technische Ergebnisse

Im Rahmen dieses Projektes wurden am Institut für Weltraumwissenschaften der Freien Universität Berlin Verfahren zur Ableitung des Bedeckungsgrades, der Wolkenalbedo und des atmosphärischen Wasserdampfsäulengehaltes entwickelt bzw. verbessert und angepasst. Im Folgenden werden einige der wichtigsten Validierungsergebnisse für diese Parameter vorgestellt:

#### *Bedeckungsgrad*

- Innerhalb der Jahre 1992 bis 2001 wurde kein signifikanter Trend des Bedeckungsgrades in der durch METEOSAT abgeleiteten Größe festgestellt (Abbildung 1)
- Der durch das Modell simulierte mittlere Bedeckungsgrad von 0.65 ist in guter Übereinstimmung mit dem gemessenen Bedeckungsgrad von 0.67
- Im Mittel wurden auch räumliche Verteilungen gut durch das Klimamodell wiedergegeben, so wie z.B. der deutlich höhere Bedeckungsgrad über Meeresoberflächen als über Landoberflächen (Abbildung 2)
- Der Jahresgang des Klimamodells zeigt eine höhere Variabilität gegenüber den Beobachtungen. Insbesondere im Sommer wird weniger Bedeckung modelliert (Abbildung 3)
- Der mittlere modellierte Tagesgang der Bedeckung weicht jedoch erheblich von den Beobachtungen ab. Es fällt auf, dass der Verlauf des modellierten Tagesganges nahezu invers zum beobachteten Verlauf ist (Abbildung 3)

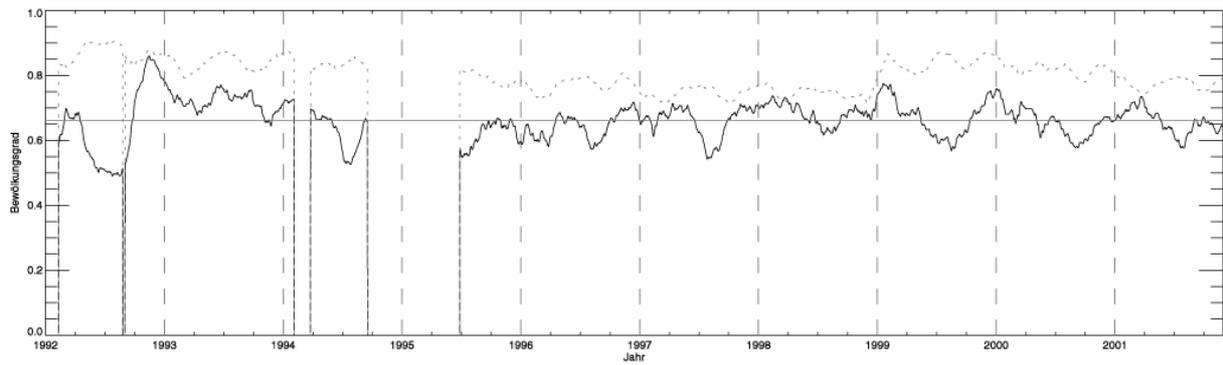


Abbildung 1: Gleitender Mittelwert (60 Tage) des Bedeckungsgrades abgeleitet aus METEOSAT Daten der Jahre 1992 bis 2001.

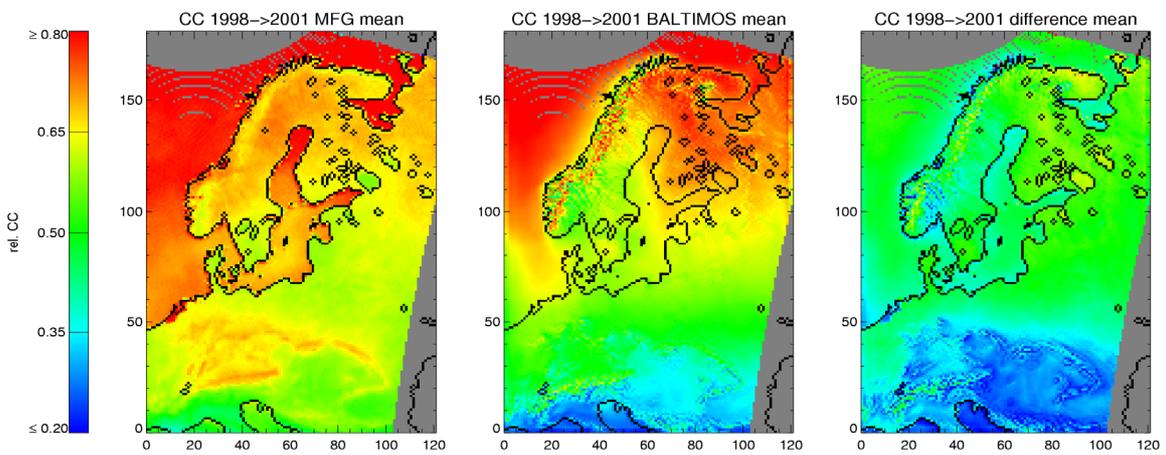


Abbildung 2: Räumliche Verteilung des mittleren Bedeckungsgrades während der Jahre 1998 bis 2001 abgeleitet aus METEOSAT Daten.

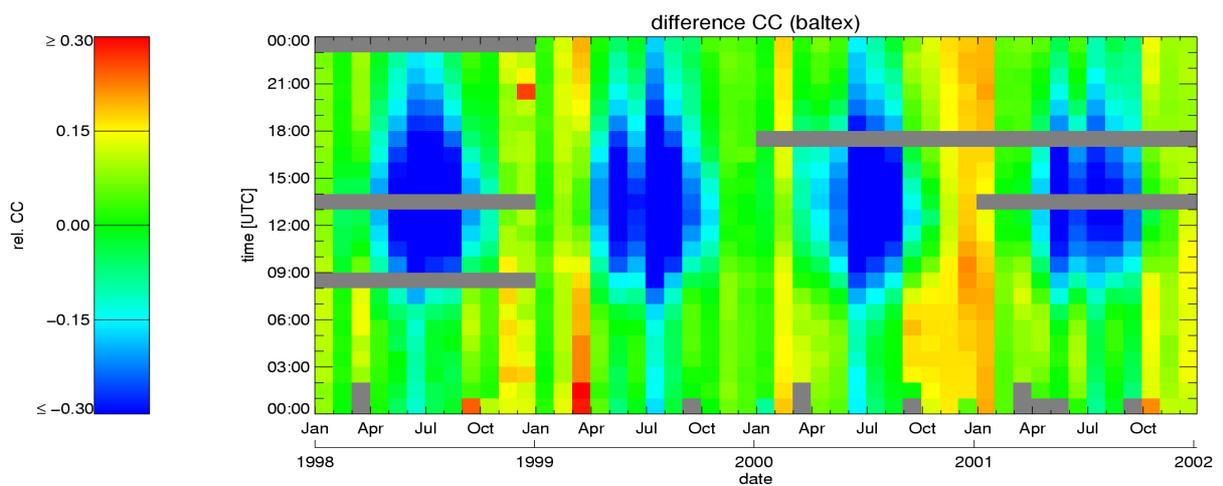


Abbildung 3: Tages- und Jahreszeitliche Verläufe der mittleren Gesamtbewölkung der Jahre 1998 bis 2001 abgeleitet aus METEOSAT Daten

## Wolkenalbedo

- Die Wolkenalbedo, dargestellt durch den aufwärtsgerichteten Strahlungsfluss am Oberrand der Atmosphäre (SWF = *short-wave flux*), abgeleitet aus MODIS Daten, wurde für den Zeitraum Februar 2002 bis Dezember 2002 mit BALTIMOS Daten verglichen
- Im räumlichen und zeitlichen Mittel zeigt das Modell mit  $308.4 \text{ W/m}^2$  im Vergleich zu  $294.7 \text{ W/m}^2$  Werte die im Rahmen der Messgenauigkeit der abgeleiteten Größe übereinstimmen
- Der tageszeitliche Verlauf und die Variabilität im Tagesgang von gemessener und simulierter Größe stimmen gut überein (Abbildung 4)
- Letzteres gilt auch für den jahreszeitlichen Verlauf und dessen Variabilität (Abbildung 5)

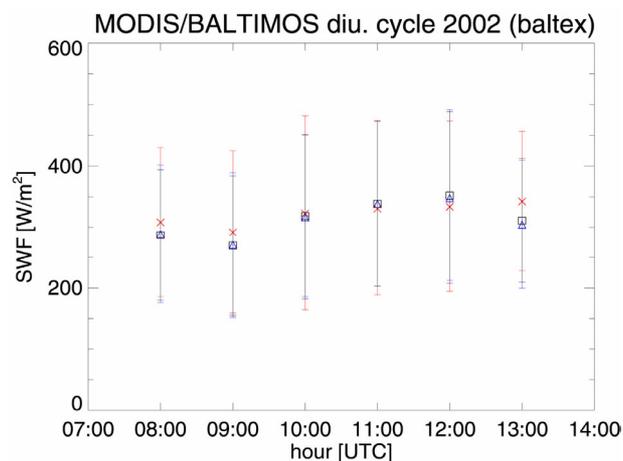


Abbildung 4: Tagesgang des kurzwelligen aufwärtsgerichteten Strahlungsflusses am Oberrand der Atmosphäre über Wolken (SWF). rot: MODIS, blau: BALTIMOS-R (ungekoppelt), schwarz: BALTIMOS (gekoppelt)

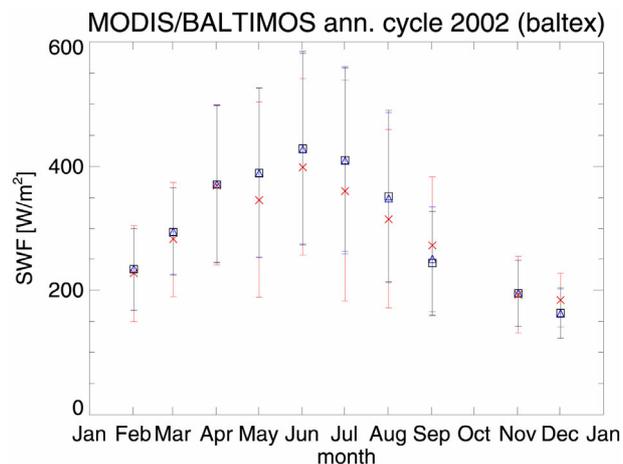
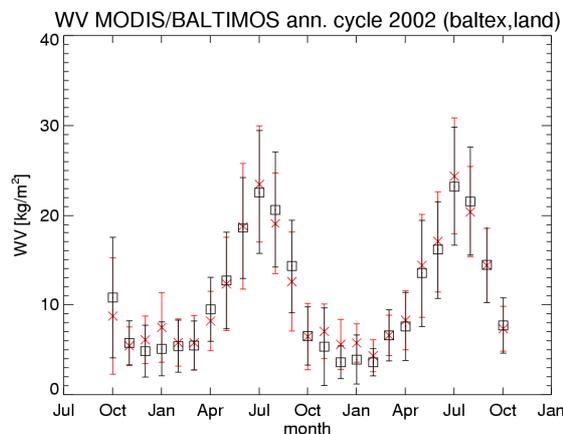


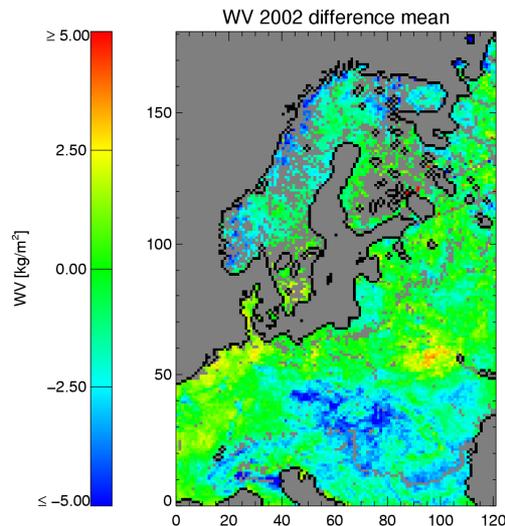
Abbildung 5: Jahresgang des kurzwelligen aufwärtsgerichteten Strahlungsflusses am Oberrand der Atmosphäre über Wolken (SWF). rot: MODIS, blau: BALTIMOS-R (ungekoppelt), schwarz: BALTIMOS (gekoppelt)

## Wasserdampf

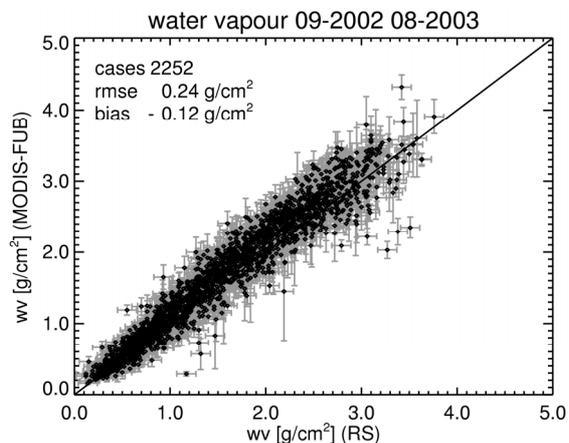
- Im Rahmen der Messgenauigkeit für den atmosphärischen Wasserdampfsäulengehalt abgeleitet aus MODIS Daten stimmen die mittleren modellierten Werte mit den gemessenen gut überein
- Dies gilt auch für die mittleren Tages- und Jahrgänge (Abbildung 6)
- Die räumliche Verteilungen sind sehr ähnlich, wobei Differenzen von einigen  $\text{kg}/\text{m}^2$  in Ausnahmen vorhanden sind (Abbildung 7). Diese können auf der Modellseite durch den Effekt des „summer drying“ erklärt werden. Außerdem können sie auf Seite der Messungen durch eine bekannte und mittels Radiosonden untersuchte Überschätzung hoher Wasserdampfgehalte erklärt werden (Abbildung 8).
- Die räumlichen und zeitlichen Variabilitäten sowie die Häufigkeitsverteilungen der Wasserdampfgehalte sind in guter Übereinstimmung
- Die durchschnittlichen Mittelwerte zeigen eine geringe Überschätzung durch das Klimamodell. Diese ist konform mit anderen Beobachtungsdaten wie Mikrowellen-Radiometern (Ralf Bennartz) und GPS abgeleiteten Wasserdampfgehalten (Teilprojekt 4). Dabei sollte erwähnt werden, dass dieser Vergleich jedoch problematisch ist, da Mikrowellen-Radiometer nur über Wasserflächen zuverlässige Wasserdampfgehalte ableiten können. Außerdem können im Fall von MODIS nur Messungen über wolkenfreien Flächen verwendet werden. GPS und Mikrowellen-Radiometer jedoch können den Wasserdampfsäulengehalt unabhängig vom Bedeckungsstatus ableiten.



**Abbildung 6: Jahresgang des atmosphärischen Wasserdampfsäulengehaltes. rot: MODIS, schwarz: BALTIMOS**



**Abbildung 7: Räumlicher Mittelwert der Differenz des atmosphärischen Wasserdampfgehaltes WV (BALTIMOS - MODIS)**



**Abbildung 8: Validierung des MODIS-FUB Wasserdampfproduktes gegen Radiosondendaten (RS)**

### 3. Fortschreibung des Verwertungsplans

Die in diesem Projekt entwickelten und verbesserten Algorithmen zur Atmosphären- und Wolkenfernerkundung lassen sich prinzipiell auch für andere satellitenbasierten Messungen anderer Instrumente anpassen. So wurde bereits für SEVIRI auf MSG ein Wolkendetektionsverfahren entwickelt, das dem für METEOSAT entwickelten teilweise ähnelt. Dieses Verfahren findet derzeit Anwendung im QUEST Projekt.

### 4. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben.

Keine

### 5. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer

Es wurde das Interesse bekundet, das Verfahren zur Ableitung der Wolkenalbedo zur Evaluierung des Lokalmodells (LM) des Deutschen Wetterdienstes (DWD) innerhalb des Projektes QUEST anzuwenden.

## **6. Einhaltung des Kosten- und Zeitplans**

Kosten- und Zeitplan wurden eingehalten.

# ENDBERICHT

## “Entwicklung und Validierung eines gekoppelten Modellsystems in der Ostseeregion” (BALTIMOS)

*Auftragnehmer:* Univ.-Prof. Dr. Jürgen Fischer , Freie Universität Berlin, Institut für Weltraumwissenschaften  
*Kennzeichen:* 01 LD 0027  
*Vorhaben:* Niederschlagsstatistik im Ostseegebiet (Teilprojekt 7)  
*Laufzeit:* 01.11.2001-31.01.2005  
*Berichtszeitraum:* 01.11.2001-31.01.2005

### 1. Beitrag zu förderpolitischen Zielen

Um die Güte von Klimamodellen abschätzen zu können, ist die Ausarbeitung geeigneter Validierungstechniken unerlässlich. In dem hier vorgestellten Teilprojekt wurden eine Reihe von Niederschlagsparametern des Modells überprüft. Niederschlag steht zu der Großzahl von atmosphärischen und hydrologischen Klimakomponenten in enger Wechselwirkung. Darüber hinaus erfordert die große räumliche und zeitliche Variabilität, sowie das Auftreten der verschiedenen Niederschlagstypen eine umfassende Betrachtung der einzelnen Parameter. Der Tagesgang von Niederschlag wird in Klimamodellen noch immer unzureichend simuliert. In diesem Teilprojekt wurde zum erstenmal die Einteilung des Niederschlages nach der synoptischen Situation und die anschließende Analyse des Tagesganges untersucht.

### 2. Wissenschaftlich-technische Ergebnisse

Im Rahme des Projektes haben wir uns besonders auf folgende wissenschaftliche Fragestellungen konzentriert:

- Simuliert das Modell die Verteilung von frontalen und nichtfrontalen Niederschlag richtig?
- Wie gestaltet sich der Tagesgang des Gesamtniederschlags und der einzelnen Komponenten?

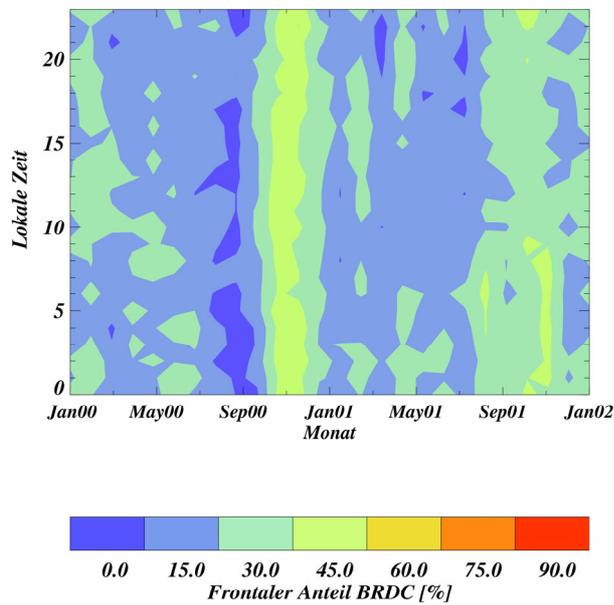
Dazu wurden am Institut für Weltraumwissenschaften geeignete Auswertungsalgorithmen entwickelt, validiert, auf die Modelldaten angewendet und mit einem Beobachtungsdatensatz verglichen.

Die Daten des Radarverbundnetzes BALTRAD stellten dabei den Vergleichsdatensatz dar. Die Trennung von frontalen und nichtfrontalen Niederschlag beruht auf einen automatisierten Algorithmus, der die Textur und die Form von Regengebieten untersucht. Eine Überprüfung der Methode wurde einerseits mittels synoptischer Beobachtungsdaten und andererseits mit den Reanalysekarten des britischen Wetterdienstes U.K. Met Office durchgeführt und ergaben vertrauenswürdige Ergebnisse.

Mit diesem Verfahren wurden klimatologisch relevante Statistiken über vorherrschende Niederschlagstypen im Ostseeinzugsbereich in den Daten des Radarverbundes und der Modellsimulationen erstellt.

Es wurde ein auf das BALTIMOS Gitternetz anwendbares Klassifizierungsverfahren erstellt und mit den Daten aus Radarbeobachtungen verglichen. Der Vergleichsgitternetz stellt dabei das 1/6.° BALTIMOS Gitternetz dar, sodass eine Transformation der Radardaten nötig war.

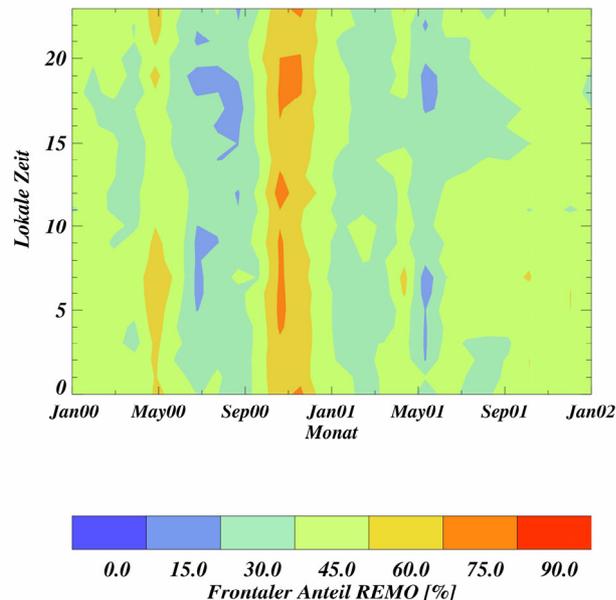
Es zeigte sich, dass BALTIMOS eine deutlich höhere Anzahl von Regenereignissen aufweist. (29,2% Regenpixel bei BALTIMOS gegenüber 13,1% in den Radardaten). Dies erklärt sich durch



**Abbildung 1:** Lokale Zeit – Dreijahresgang Diagramm des Anteils an frontalen Niederschlagsereignissen im Ostseeinzugsgebiet für die Jahre 2001 und 2002 aus Radarbeobachtungen.

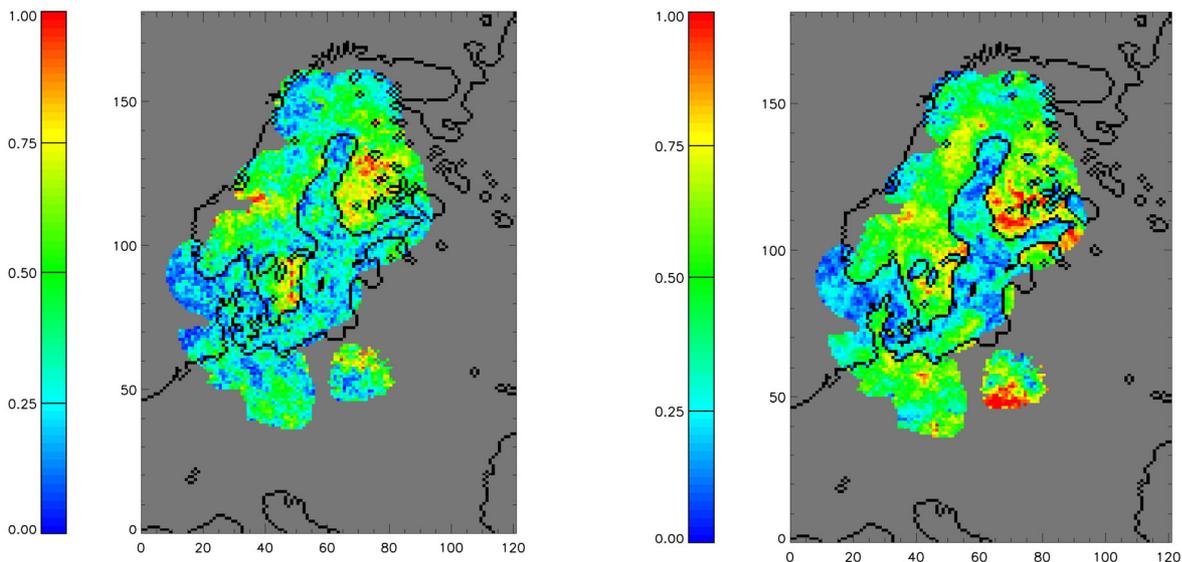
übermäßiges Auftreten von Regeneignissen mit nur geringer Intensität und wirkt sich nicht in vergleichbaren Maße auf die ermittelten Regensummen aus (durchschnittliche Jahressummen: Radar: 720 mm, BALTIMOS: 940 mm). Allerdings erhöht sich die durchschnittliche Größe räumlich zusammenhängender Regengebiete und dadurch die Wahrscheinlichkeit frontaler Klassifizierung.

Abbildung 1 zeigt den Anteil frontaler Niederschlagsereignisse im Ostseegebiet für die Jahre 2000 und 2001. In den Sommermonaten zeigt sich das erwartete Maximum von konvektiv geprägtem Niederschlag. Im Jahr 2000 ist dieses Maximum insbesondere im Juli stärker ausgeprägt als im Jahre 2001 mit Anteile von deutlich mehr als 80% insbesondere in den Nachmittagsstunden (14-18 Uhr Lokalezeit) .



**Abbildung 2:** wie in Abbildung 1 für BALTIMOS Daten.

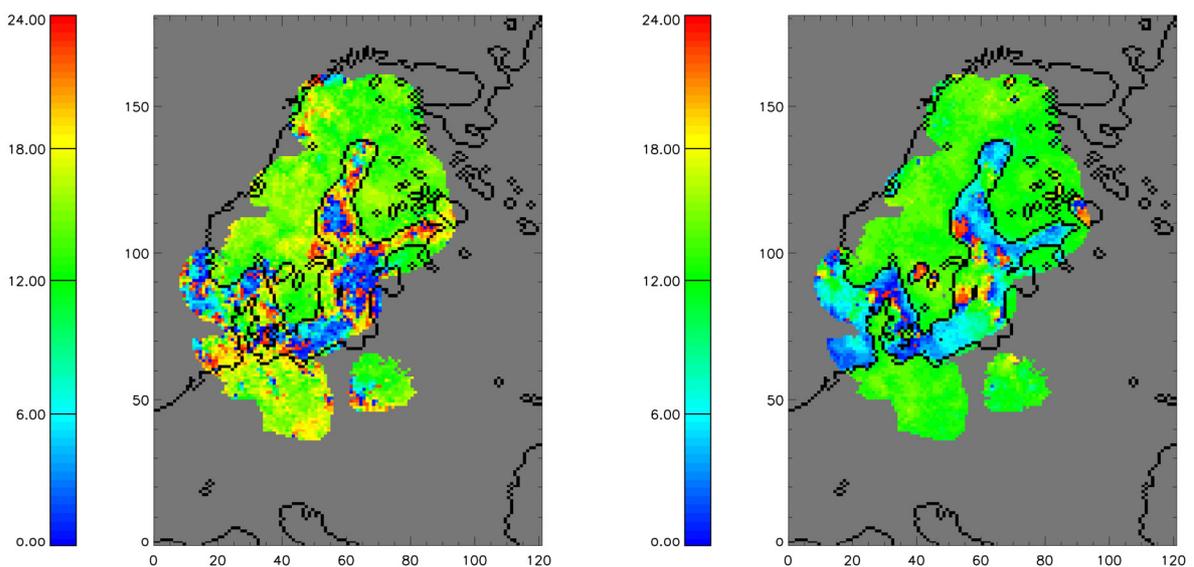
Abbildung 2 zeigt, dass die Klassifizierung in BALTIMOS mehr frontalen Niederschlag aufweist als in den Beobachtungen. Das generelle Muster mit erhöhten konvektiven Niederschlags im Sommer und dort speziell in den Nachmittagsstunden bleibt aber erhalten.



**Abbildung 3:** Signifikanz des Tagesgangs in Radarbeobachtungen (links) und in BALTIMOS Simulationen (rechts). Ein Wert von 0 bedeutet tagesgangfreien Niederschlagsbildpunkt. Bei 0.5 ist der Maximalwert der Niederschlagsaktivität anderthalb mal größer als das Tagesmittel.

Untersuchungen des Tagesgangs von Niederschlag eignen sich besonders als Testwerkzeug eines Klimamodells. Wird der Tagesgang nur ungenau modelliert kann das, selbst bei Übereinstimmung der Gesamtniederschlags, Auswirkungen auf andere Modellparameter haben. Um ein Beispiel zu nennen, hat der nachmittägliche Niederschlag im Sommer eine höhere Verdunstungsrate zur Folge als nächtlicher Regen. Niederschlagsbildende Prozesse kann man in tagesgangbehaftete und tagesgangfreie Komponenten teilen. Dies entspricht ungefähr der Einteilung in konvektiv und frontal bestimmten Niederschlag. Daher hat sich die Verknüpfung einer Tagesganguntersuchung mit vorangehender Trennung in frontalen und nichtfrontalen als besonders gewinnbringend erwiesen.

Abbildung 3 illustriert die geographische Verteilung der Signifikanz des Tagesgangs von Niederschlag für die Sommermonate von 3 Jahren. In der Modellsimulation und in den



**Abbildung 4:** Lokalzeitstunde maximalen nichtfrontalen konvektiven Niederschlags in Radarbeobachtungen (links) und in BALTIMOS Simulationen (rechts).

Beobachtungen sind stärkere Tagesgänge über Landoberflächen zu beobachten. Abbildung 4 zeigt die Lokalzeitstunde maximaler Niederschlagsaktivität. Die Eigenschaften eines nächtlichen

Maxima über Ozean und eines mittäglich/nachmittäglichen Maxima über Landoberflächen konnte in beiden Datensätzen gefunden werden. Wie schon in anderen Klimamodellen beobachtet, konnte gezeigt werden, dass der Niederschlag in BALTIMOS um etwa zwei Stunden in Richtung der maximalen Konvektion in den Mittagsstunden verschoben simuliert wird.

Die Ergebnisse konnten genutzt werden, um ein besseres Verständnis niederschlagsbildender Prozesse im Modell zu gewinnen. Insbesondere wird dabei auf ein genaueres Modellieren der Konvektionsparametrisierung Wert gelegt.

Auch durch die enge Zusammenarbeit mit anderen Teilprojekten, besonders mit Teilprojekt 1 (Kopplung der Module) und 4 (Strukturuntersuchung von konvektiven Niederschlag), wurde die wissenschaftliche Zielstellung innerhalb des Gesamtprojektes erfüllt. Es konnte die Güte des Klimamodells in Hinsicht auf vielfältige Parameter des Niederschlags eingeschätzt werden. Noch vorhandene Schwächen des Modells wurden benannt und quantifiziert. Die Ergebnisse werden wertvoll sein für eine Weiterentwicklung von BALTIMOS.

### **3. Fortschreibung des Verwertungsplans**

Qualitative und quantitative Niederschlagsbeobachtung mithilfe von Fernerkundung ist von weitreichendem Interesse in der Klimaforschung. Der in diesem Projekt abgeleitete Algorithmus ist leicht modifiziert auch auf Satellitenmessungen anwendbar.

### **4. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben.**

Keine

### **5. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer**

Es wurde das Interesse bekundet, das Verfahren zur Evaluierung des Lokalmodells (LM) des Deutschen Wetterdienstes (DWD) innerhalb des Projektes QUEST anzuwenden.

### **6. Einhaltung des Kosten- und Zeitplans**

Kosten- und Zeitplan wurden eingehalten.

## Abschlussbericht

### zum BMBF-Projektverbund

#### „Entwicklung und Validierung eines gekoppelten Modellsystems in der Ostseeregion (BALTIMOS)“

Teilprojekt 8: Validierung von Komponenten des Wasser- und Energiekreislaufes in einer Modellsäule über Wasser und Meereis mit Hilfe von Schiffs- und Flugzeugmessungen

*Auftragnehmer:* Meteorologisches Institut der Universität Hamburg  
*Projektleiter:* Prof. Dr. Burghard Brümmer  
*Laufzeit:* Februar 2001 – Januar 2005

#### 1. Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen

Das Teilprojekt trägt im Zusammenhang des Projektverbundes zu folgenden Kernzielen des Deutschen Klimaforschungsprogramms DEKLIM bei:

- Die Verbesserung des Verständnisses des Klimasystems und seiner Beeinflussbarkeit durch den Menschen.
- Eine Verringerung der Unsicherheiten bei der Analyse und Vorhersage.

Das im Rahmen des Projektverbundes entwickelte gekoppelte Modellsystem BALTIMOS trägt zur Verbesserung des Verständnisses der Prozesse und Wechselwirkungen im Klimasystem bei. Neben der Verbesserung der Vorhersage zukünftiger klimatischer Verhältnisse durch das gekoppelte Modellsystem selbst, dienen die neu gewonnenen Erkenntnisse über Prozesse und Wechselwirkungen im Klimasystem der Verringerung von Unsicherheiten vor allem bei der Vorhersage zukünftiger klimatischer Verhältnisse.

Durch die Einbindung von BALTIMOS in das internationale BALTEX-Projekt ist auch die Integration der hier gewonnenen Ergebnisse in internationale wissenschaftliche – und politische - Zusammenhänge gewährleistet.

#### 2. Wissenschaftlich-technisches Ergebnis des Vorhabens, die erreichten Nutzungsergebnisse und die gesammelten wesentlichen Erfahrungen

Das Erreichen des in diesem Teilprojekt gesetzten Zieles erfolgte in drei Schritten:

- ☛ die Gewinnung eines umfangreichen und systematischen Datensatzes von Komponenten des Energie- und Wasserkreislaufs über der Ostsee in insgesamt acht Feldexperimenten.
- ☛ Aufbereitung der erhobenen Daten für Prozessstudien und Vorbereitung des Datensatzes für die Nutzung zur Modellvalidierung.
- ☛ Nutzung des Datensatzes zur Modellvalidierung.

Der Gesamtdatensatz besteht aus Messungen im Rahmen von 8 Messkampagnen. Das Forschungsschiff ALKOR war an sechs Messkampagnen im Frühjahr, Sommer und Herbst der Jahre 2000 und 2001 in der zentralen Ostsee beteiligt. Die Winterkampagnen unter dem Namen BASIS (Baltic Air-Sea-Ice Study) fanden unter Beteiligung des Finnish Institute of Marine Research im Eisrandbereich der nördlichen Ostsee in den Jahren 1998 und 2001 statt. An den Winterexperimenten waren neben dem finnischen Forschungsschiff ARANDA auch die Forschungsflugzeuge FALCON

(DLR Oberpfaffenhofen, 1998) und DO-128 der TU Braunschweig (2001) beteiligt. Zusätzlich wurden für die Winterkampagnen meteorologische Messstationen auf landfestem Eis aufgebaut und automatisch messende Eisbojen eingesetzt.

Die verschiedenen Datensätze der einzelnen Messkampagnen, der jeweiligen Messträger und verschiedenen Messinstrumente wurden zunächst zusammengeführt und - soweit möglich - in ein einheitliches Datenformat übertragen. Des Weiteren wurden die Datensätze auf Ausfälle der Messgeräte hin untersucht und eine Plausibilitätskontrolle durchgeführt. Eventuell nötige Korrekturen wurden vorgenommen.

Die zur Modellvalidierung durchgeführten Vergleiche können in folgende Bereiche gegliedert werden:

#### Vergleich von Zeitreihen:

Zeitreihen der Messstationen aus den Winterexperimenten (BASIS 1998: Kokkola, RV ARANDA; BASIS 2001: Marjaniemi, RV ARANDA, 2 Eisbojen) sowie der Messungen an Bord von RV ALKOR zu den übrigen Jahreszeiten 2000 und 2001 wurden mit den entsprechenden simulierten Zeitreihen aus der jeweiligen Gitterbox des Regionalmodells REMO, der atmosphärischen Komponente des gekoppelten Modellsystems BALTIMOS, verglichen. Je nach Verfügbarkeit wurden Vergleiche für die meteorologischen Parameter Luftdruck und -temperatur, relative oder spezifische Feuchte, kurz- und langwellige abwärts- sowie aufwärtsgerichtete Strahlung, Oberflächentemperatur, Windrichtung und -geschwindigkeit sowie fühlbarer und latenter Wärmefluss angestellt (Tab. 1).

Die mittleren Differenzen für  $p$ ,  $T$ ,  $T_{sfc}$  und  $FF$  sind relativ gering. Auffällig sind dagegen einige systematische (für jedes Feldexperiment gleich) Differenzen über der offenen Ostsee: Im Modell ist die kurzwellige Strahlung zu gering, die langwellige Strahlung zu hoch, die Wolkenbedeckung zu hoch und die Windrichtung nach rechts versetzt. Dies deutet auf eine zu hohe Vertikalvermischung hin. Eine Abhängigkeit von der Vorhersagezeit (6 - 30h) gibt es nicht.

#### Vergleich von Vertikalprofilen:

Die Vertikalstruktur der Grenzschicht ist stark vom Untergrund (Wasser, Meereis) abhängig. Unterschiede in der Grenzschichtstruktur zwischen Modell und Beobachtung können auf Differenzen in der Wiedergabe der Grenzschichtprozesse oder in den Unterlageneigenschaften beruhen. Um diese Mehrdeutigkeit bei der Beurteilung der Differenzen zu vermeiden, wurde zunächst nur die Vertikalstruktur über der offenen Ostsee, wo die Wasseroberflächentemperaturen zwischen dem Modell und den Beobachtungen im wesentlichen übereinstimmen, verglichen.

Die Vergleiche wurden für 4 Kategorien geordnet nach der Höhe der (beobachteten) Grenzschichtinversion durchgeführt: aufliegende Inversion, Inversionsuntergrenze < 250m, Inversionsuntergrenze 250-400m und keine Inversion (Abb. 3). Folgende systematische Unterschiede fallen auf: (1) die Inversion ist im Modell weniger stabil als beobachtet, (2) als Folge der geringen Stabilität ist die Feuchte im Modell oberhalb der Inversion zu hoch, (3) das Windmaximum in der Inversionsschicht ist im Modell weniger ausgeprägt als beobachtet.

#### Die Flugmissionen:

Die während der beiden Winterexperimente durchgeführten insgesamt 16 Flugmissionen umfassen Vertikalprofile sowie Horizontalflugabschnitte, wobei dabei sogenannte Low-Level-Flights (Flüge in einer Höhe von ca. 12 - 15m) oft die Basis eines Stapels von in mehreren Höhen übereinander geflogenen Abschnitten bilden. So kann in einer Box von etwa 3km x 50km x 50km die dreidimensionale Verteilung der meteorologisch relevanten Parameter angegeben werden. Die Low-Level-Flights dienen bei der Modellvalidierung der Erfassung und dem Vergleich von Feldern der Oberflächentemperatur und insbesondere des turbulenten Austausches von Impuls, fühlbarer und latenter Wärme zwischen der Atmosphäre und dem Untergrund (Eis, Wasser). Die während der

Profilflüge gemessene Vertikalstruktur von Lufttemperatur, Wasserdampfmischungsverhältnis, Windrichtung und -geschwindigkeit wurde mit der vom Modell für den entsprechenden Zeitraum in der jeweiligen Gitterbox berechneten verglichen. In Niedrigflügen (10-15m Höhe) wurden die Oberflächeneigenschaften (Temperatur, Eisbedeckung) und die bodennahen turbulenten Flüsse von Impuls, Wärme und Wasserdampf gemessen und mit REMO verglichen. Ein Beispiel zeigt Abb. 4. Bei kräftiger kalter Nordostströmung wurde eine Polynia am Rande des landfesten Eises sowie Gebiete mit dickerem und dünnerem Drifteis beobachtet. Die verschiedenen Unterlagen grenzen sich durch unterschiedliche Oberflächentemperaturen und turbulente Wärmeflüsse ab. Diese Heterogenität kann REMO wegen der groben räumlichen Auflösung nicht nachvollzogen werden. Hierzu ist eine feinere Auflösung und eine gekoppelte Modellsimulation nötig.

Insgesamt lassen sich die Ergebnisse der Vergleiche zur Modellvalidierung wie folgt zusammenfassen:

1. Die atmosphärische Modellkomponente REMO zeigt folgende systematische Abweichungen zu Beobachtungen in der atmosphärischen Grenzschicht: eine zu schwache Inversion, zu hohe Feuchte über der Inversion, zu viele Wolken, zu geringe kurzwellige und zu hohe langwellige Strahlung am Boden.
2. Alle Abweichungen zusammengenommen deuten auf eine zu starke Vertikalvermischung in der atmosphärischen Modellkomponente hin.
3. Nur ein gekoppeltes, höher aufgelöstes BALTIMOS-Modell kann die heterogenen beobachteten Bedingungen über dem Ostsee-Eis besser simulieren.

Ausführliches zu diesem Punkt ist in dem Sonderheft der Zeitschrift „Theoretical and Applied Climatology“ zum Schwerpunkt BALTIMOS in dem Artikel „The atmospheric boundary layer structure over the Baltic Sea: REMO simulations compared to in-situ measurements“ zu finden, der sich zur Zeit in Arbeit befindet.

**3. Fortschreibung des Verwertungsplans - Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte, die vom ZE oder von am Vorhaben Beteiligten gemacht oder in Anspruch genommen wurden sowie deren standortbezogene Verwertung (Lizenzen u.a.) und erkennbare weitere Verwertungsmöglichkeiten**

Es sind im Rahmen des Teilprojektes 8 keine Erfindungen oder Schutzrechtsanmeldungen gemacht worden oder Schutzrechte in Anspruch genommen worden. Die Ergebnisse hinsichtlich der Güte der Wiedergabe der atmosphärischen Grenzschichtbedingungen in der atmosphärischen Komponente des gekoppelten Modellsystem BALTIMOS sind den Modellbetreibern bekannt gemacht worden.

**4. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont) - z.B. auch funktionale/wirtschaftliche Vorteile gegenüber Konkurrenzlösungen, Nutzen für verschiedene Anwendergruppen/ -industrien am Standort Deutschland, Umsetzungs- und Transferstrategien (Angaben, soweit die Art des Vorhabens dies zulässt)**

Nicht zutreffend

**5. Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont) - u.a. wie die geplanten Ergebnisse in anderer Weise (z.B. für öffentliche Aufgaben, Datenbanken, Netzwerke, Transferstellen etc.) genutzt werden können. Dabei ist auch eine etwaige Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Firmen, Netzwerken, Forschungsstellen u.a. einzubeziehen**

Die im Rahmen von BALTIMOS im Teilprojekt 8 durchgeführten Messkampagnen mündeten in einem Datensatz, der - unserer Erkenntnis nach - mit seinem umfassenden Charakter im Ostseebereich Seltenheitswert oder gar Einmaligkeitswert hat. Dieser Datensatz steht selbstverständlich nach Absprache auch anderen Wissenschaftlern für weitere Untersuchungen zur Verfügung.

**6. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige nächste Phase bzw. die nächsten innovativen Schritte zur erfolgreichen Umsetzung der Ergebnisse**

Die nächsten konkreten Schritte zur erfolgreichen Umsetzung der Ergebnisse liegen bei den Betreibern des gekoppelten Modellsystems. Die im Laufe des Projektes gewonnenen Erkenntnisse sind durch verschiedene Publikationen der wissenschaftlichen Öffentlichkeit zugänglich gemacht worden, eine weitere Publikation befindet sich zur Zeit in Arbeit.

- **Brümmer, B., A. Kirchgäßner, G. Müller, D. Schröder, J. Launiainen and T. Vihma, 2002:** The BALTIMOS field experiments: A comprehensive atmospheric boundary layer data set for model validation over the open and ice-covered Baltic Sea. *Bor. Envir. Res.* 7, 371 – 378.
- **Brümmer, B., G. Müller, D. Schröder, A. Kirchgäßner, J. Launiainen and T. Vihma, 2003:** The eight BALTIMOS field experiments 1998 – 2001 over the Baltic Sea: Field reports and examples of measurements. *Internat. BALTEX Secretariat, Pub. No. 24*, 138 pp.
- **Brümmer, B., A. Kirchgäßner, G. Müller, 2005:** The atmospheric boundary layer over the Baltic Sea ice. *Boundary Layer Meteorology*, in print.
- **Brümmer, B., A. Kirchgäßner, A. Beeken, 2005:** The atmospheric boundary layer over the Baltic Sea: REMO simulations compared to in-situ measurements.

**7. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben**

Leider standen bis Ende der Projektlaufzeit keine Modellläufe für den Vergleich der Messdaten mit dem gekoppelten Modellsystem zur Verfügung, so dass die Vergleichsstudien auf die ungekoppelte atmosphärische Komponente des Modellsystems REMO beschränkt bleiben mussten.

**8. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer - z.B. Anwenderkonferenzen (Angaben, soweit die Art des Vorhabens dies zulässt)**

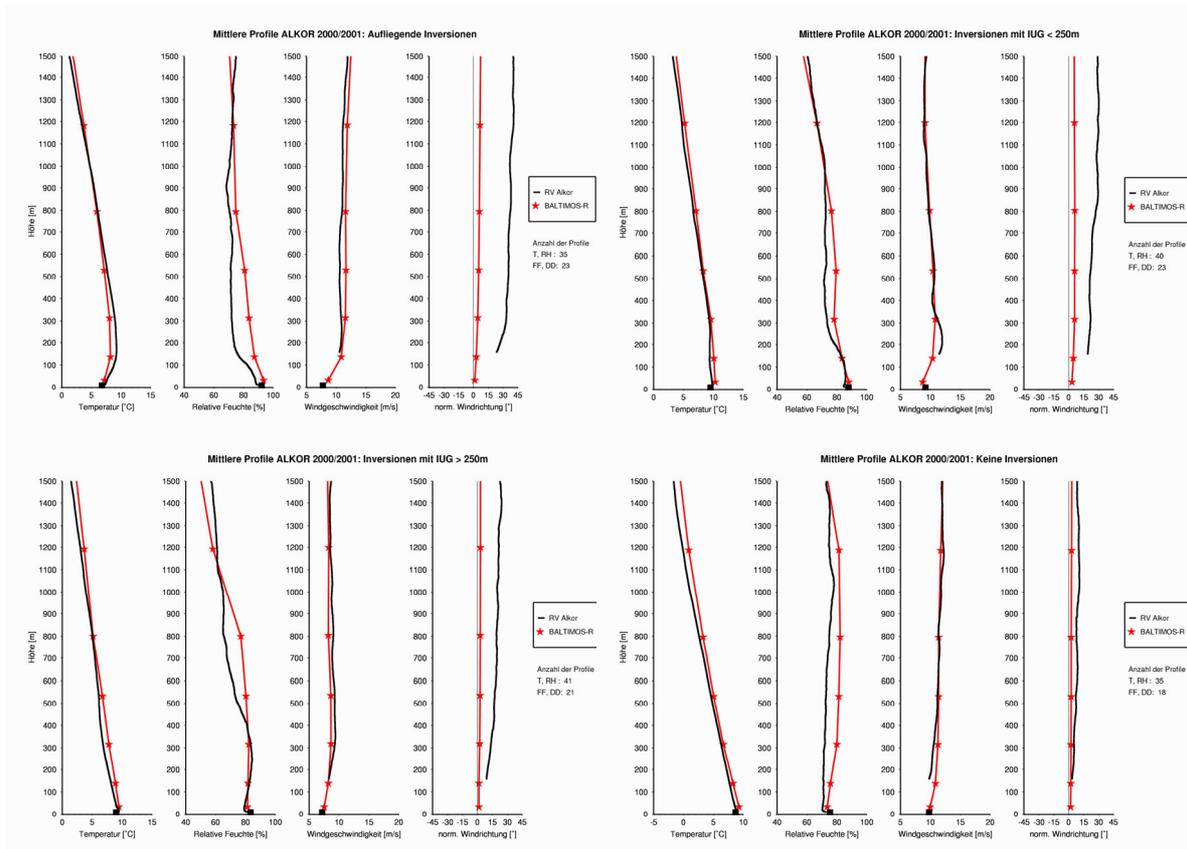
Die Ergebnisse des Teilprojektes wurden bei einem Workshop zum Thema „BALTIMOS“ am Max-Planck-Institut für Klimatologie und Meteorologie in Hamburg Ende Februar 2005 Interessenten vorgestellt. Eingeladen waren neben (möglichen) Nutzern aus dem Inland insbesondere Kollegen aus dem internationalen BALTEX-Projekt als mögliche zukünftige Anwender von BALTIMOS.

**9. Einhaltung der Ausgaben-/Kosten- und Zeitplanung**

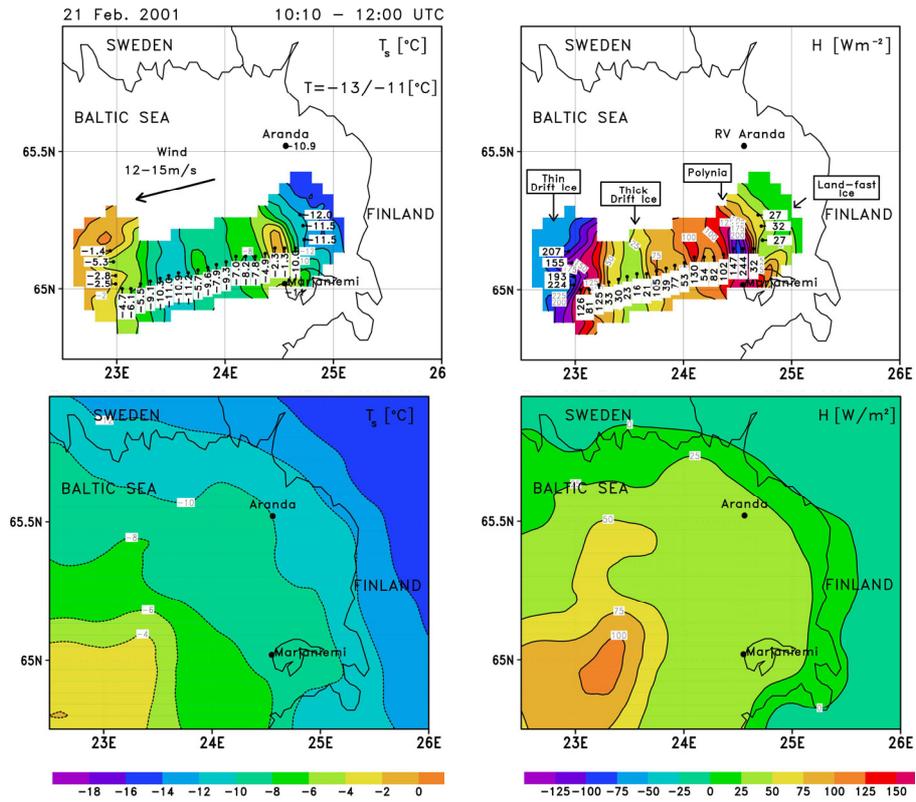
Durch Umwidmung vorhandener Gelder (bedingt durch eine nicht zu Beginn der Projektlaufzeit mögliche Personaleinstellung) konnte die Laufzeit des Teilprojektes im Rahmen der Laufzeit des Projektverbundes bis Ende Januar 2005 verlängert werden. Über die im Antrag gesetzten Ziele hinaus wurde eine detailliertere Analyse der Inversionscharakteristika in den Messungen bzw. in den Modelldaten möglich.

|                                     | Baltic Sea (open water) |         |          |          |          |          |      | Baltic Sea (sea ice) |          |          |          |      |
|-------------------------------------|-------------------------|---------|----------|----------|----------|----------|------|----------------------|----------|----------|----------|------|
|                                     | Apr 00                  | Jun 00  | Oct 00   | Apr 01   | Jun 01   | Oct 01   | mean | ARA 98               | KOK 98   | ARA 01   | MAR 01   | mean |
| No. hourly values                   | 88                      | 85      | 69       | 153      | 135      | 147      | 677  | 438                  | 446      | 189      | 262      | 1335 |
| air pressure p [hPa]                | 3.2±1.3                 | 2.1±0.9 | -1.2±1.3 | -0.4±1.6 | 0.5±1.7  | 2.8±2.5  | 1.8  | -0.8±3.0             | -1±2.7   | 1±1.7    | 1.5±2.2  | -0.2 |
| air temp. T [°C]                    | 0.5±0.5                 | 0.5±0.6 | 0.8±0.6  | -0.4±0.7 | -0.1±0.6 | -0.6±0.6 | 0.1  | 1.1±3.0              | -1.5±3.0 | -1.1±2.6 | -1.0±2.0 | -0.5 |
| Rel. Hum. RH [%]                    | -9±7                    | -4±5    | -3±6     | 4±4      | 1±4      | 3±3      | 0    | -4±10                | 5±9      | 9±9      | 7±7      | 3    |
| Sfc. Temp. T <sub>sf</sub> [°C]     | 0.7±0.5                 | 0.0±0.4 | -0.5±0.5 | -0.6±0.3 | -1.1±0.7 | -0.6±0.4 | -0.5 | 0.4±2.7              | -0.1±3.0 | 0.0±3.0  | 0.3±2.4  | 0.3  |
| Wind speed FF [m/s]                 | 0.0±2.0                 | 0.3±2.2 | -0.3±2.9 | -1.3±1.7 | -0.4±1.7 | -1.6±3.9 | -0.7 | 2.0±3.2              | 0.5±2.3  | 0.8±1.6  | 0.8±1.9  | 1.1  |
| Wind direct DD [°]                  | 11±14                   | 11±48   | 7±81     | 35±48    | -13±35   | 1±13     | 7    | 8±48                 | -2±43    | -13±34   | -7±36    | -1   |
| Shortw. Rad. S↓ [W/m <sup>2</sup> ] | -4±103                  | -76±138 | -22±60   | -57±110  | -42±93   | -28±70   | -40  | 31±63                | -40±72   | -17±39   | 43±49    | 3    |
| Longw. Rad. L↓ [W/m <sup>2</sup> ]  | 5±32                    | 18±21   | 15±36    | 17±27    | 16±23    | 8±43     | 12   | /                    | -2±36    | 5±36     | -10±28   | -3   |
| Cloud cover N [%]                   | /                       | /       | /        | 67±61    | /        | 44±39    | 24   | /                    | /        | /        | 50±49    | 50   |

**Tab 1:** Mittlere Abweichungen REMO minus Beobachtung verschiedener meteorologischer Parameter in der bodennahen Grenzschicht über offenem Wasser und Meereis. Datengrundlage: Stündliche Werte.



**Abb. 1:** Mittlere beobachtete und mit REMO simulierte Vertikalprofile von Lufttemperatur, Relativer Feuchte, Windgeschwindigkeit und -richtung über der offenen Ostsee für vier Inversionsklassen: (1) Aufliegende Inversionen (links oben), (2) Inversionsuntergrenze < 250m (rechts oben), (3) Inversionsuntergrenze 250 - 400m (links unten) und (4) keine Inversion (rechts unten). Die Inversion ist im Modell zu schwach und die Feuchte oberhalb der Inversion zu hoch.



**Abb. 2:** Oberflächentemperatur  $T_{sfc}$  und turbulenter Wärmefluss  $H$  aus Flugzeugmessungen in 10m Höhe (oben) und im REMO-Modelllauf (mit 0.5m Eisdicke) (unten) am 21. Februar 2001 zwischen 10 und 12 UTC. Die Heterogenitäten in der Eis/Wasser-Unterlage und damit in den Wärmeflüssen werden im Modell nicht wiedergegeben.

# SCHLUSSBERICHT

## “Entwicklung und Validierung eines gekoppelten Modellsystems in der Ostseeregion” (BALTIMOS)

*Auftragnehmer:* Universität Bonn  
*Kennzeichen:* 01 LD 0027  
*Vorhaben:* Validierung der Oberflächenmodellierung und ihrer Gedächtnisfunktion für das Regionalklima im gekoppelten BALTEX-Modell mittels Satellitenbeobachtungen  
*Laufzeit:* 01. 02. 2002 bis 31. 01. 2005

### 1. Beitrag zu förderpolitischen Zielen

Um die zukünftige Entwicklung des Klimas unter verschiedenen Szenarien einzuschätzen zu können, sind Klimamodelle unerlässlich. Die Validierung von Klimamodellen zählt somit zu den grundlegenden Aufgaben der Klimaforschung. In diesem Zusammenhang hat unser Teilprojekt einen wichtigen Parameter des Klimasystems, die Bodenfeuchte, untersucht. Die Bodenfeuchte steuert maßgeblich die Verdunstung über Landoberflächen und ist somit ein Schlüsselparameter für den Austausch von Wasser und Energie mit der Atmosphäre.

### 2. Wissenschaftlich-technische Ergebnisse

Im Rahmen des Projekts hat das Meteorologische Institut der Universität Bonn ein Verfahren entwickelt, den Wassergehalt innerhalb des obersten Bodenmeters aus Satellitenmessungen abzuleiten. Die so gewonnenen Beobachtungen wurden benutzt, um die Bodenfeuchte des Modellsystems BALTIMOS zu validieren. Die Bodenfeuchte spielt für den Energie- und Wasserhaushalt des Klimasystems eine wichtige, aber noch nicht ausreichend verstandene Rolle. Maßgeblich für die Verdunstung wirkt dieser Wasserspeicher wie ein Gedächtnis der Wetterereignisse der vergangenen Wochen. Flächendeckende Messungen der Bodenfeuchte, wie sie zur Validierung von Klimamodellen notwendig sind, gab es bisher jedoch noch nicht. Zwar wird seit längerem angestrebt, Mikrowellenmessungen vom Satelliten zu benutzen, allerdings wurden verlässliche Bodenfeuchte-Algorithmen bisher nur für semi-aride Gebiete abgeleitet, wo der störende Einfluss der Vegetation gering ist. Auch unser Verfahren benutzt Mikrowellenmessungen. Da sie aber nur eine geringe Eindringtiefe in den Boden aufweisen, wurden weitere Informationen hinzugezogen, um auch die Bodenfeuchte in tieferen Schichten mitzuerfassen.

Zur Kalibrierung unseres Verfahrens wurden langjährige Messreihen der Bodenfeuchte von 50 Stationen aus der ehemaligen Sowjetunion herangezogen. Diese Daten zeigen, daß der ganz überwiegende Teil (etwa 85%) der Bodenfeuchtevarianz rein räumlicher Natur ist (Tab.1). Ein bedeutender Schritt zu einem Bodenfeuchte-Algorithmus besteht also in der richtigen Erfassung der langjährigen Ortsmittelwerte. Wir benutzen hierzu vier Parameter: den klimatologischen Niederschlag, die Vegetation, die Bodentextur und die Geländeneigung. Ein Großteil der Varianz ist bereits durch diese zeitlich invarianten Felder erklärt (Abb. 1a). In einem zweiten Schritt wird die verbliebene zeitliche Variabilität der Bodenfeuchte aus drei weiteren Informationen abgeleitet: der Lufttemperatur der vergangenen vier Monate, dem Niederschlag der vergangenen zwei Monate und der aktuellen Helligkeitstemperatur bei 10 GHz, wie sie vom Satelliten gemessen wird (Abb. 1b).

Tab.1 Varianzzerlegung der Bodenfeuchte für 50 russische Stationen. Die Varianzen sind in  $mm^2$  angegeben. Die verwendeten Abkürzungen bedeuten: N: Anzahl der Unterkollektive, FGM: Fehler des Gesamtmittelwertes, SAV: Scheinbare äußere Varianz, FAV: Fehler der äußeren Varianz, IV: innere Varianz, SAV-FAV: tatsächliche äußere Varianz, TRAV: tatsächliche relative äußere Varianz.

50 Stationen, Bodenfeuchte in den obersten 100 cm  
 Beobachtungsanzahl: 7009

Gesamtvarianz: 10682  $mm^2$

|                | N  | FGM | SAV  | FAV | IV    | SAV-FAV | TRAV   |
|----------------|----|-----|------|-----|-------|---------|--------|
| Jahresgang     | 36 | 2   | 388  | 51  | 10343 | 338     | 3.16%  |
| Interstationär | 48 | 2   | 9133 | 10  | 1558  | 9123    | 85.40% |
| Interannual    | 8  | 2   | 39   | 12  | 10654 | 26      | 0.25%  |

Die Kombination dieser beider Teilalgorithmen liefert eine Korrelation von etwa 0.8 zwischen abgeleiteter und gemessener Bodenfeuchte auf der Basis individueller 10-Tageswerte. Mittelungen führen natürlich zu deutlichen Verbesserungen. So kann der mittlere Jahresgang zu mehr als 95% erklärt werden.

Um die Qualität des abgeleiteten Algorithmus einzuschätzen, wurde er mit unabhängigen Daten getestet. Bodenfeuchtemessungen aus dem Illinois, USA, zeigen eine hervorragende Übereinstimmung mit unseren Ergebnissen. Der Gesamtmittelwert von 330 mm wird auf 4 mm genau getroffen. Aufgrund der räumlichen Nähe aller 19 Stationen enthält der Testdatensatz nur eine sehr geringe Varianz, sodaß die Korrelation mit unseren abgeleiteten Werten gering bleiben muß. Selbst eine globale Anwendung des Algorithmus liefert plausible Ergebnisse. Informationen über Niederschlag, Boden, Vegetation und Geländeneigung reichen also aus, zumindest die langjährigen Mittelwerte der Bodenfeuchte zu bestimmen.

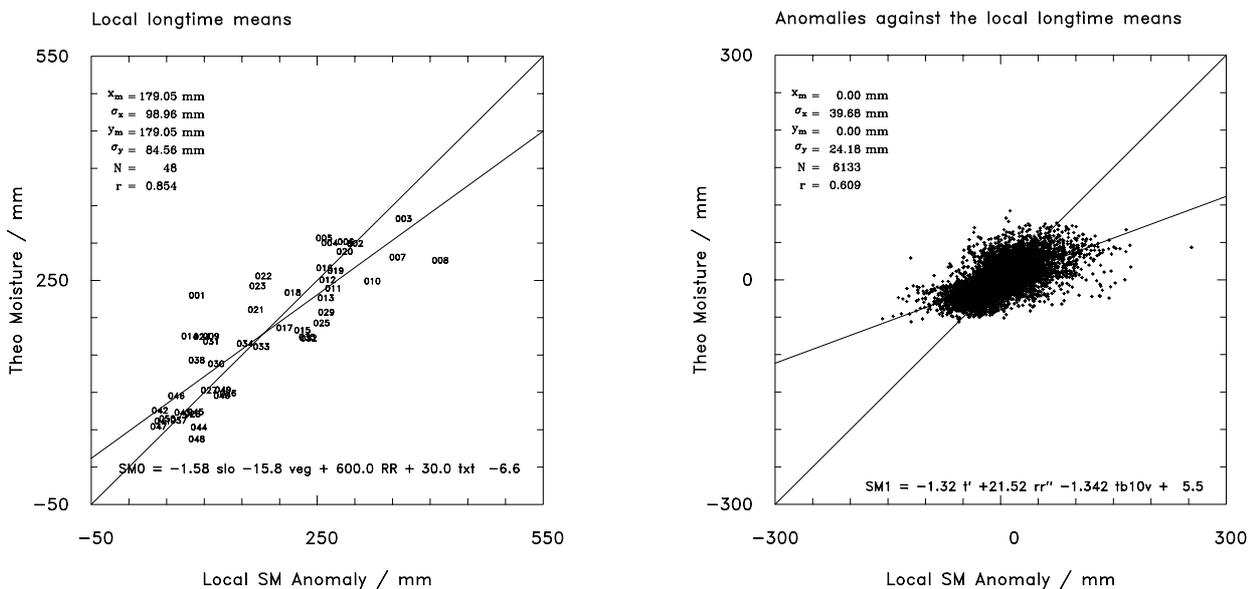


Abb.1 Korrelationen zwischen gemessener und abgeleiteter Bodenfeuchte. Links für langjährige Mittelwerte an 50 Stationen, rechts für die Anomalien gegen den langjährigen lokalen Mittelwert.

Nach der erfolgreichen Ableitung eines Bodenfeuchte-Algorithmus' konnte nun die Bodenfeuchte des Modellsystems validiert werden. Hierzu wurde ein 10-jähriger Modelllauf (1979-1988) untersucht. Entsprechend der oben diskutierten Varianzstruktur von Bodenfeuchte wurde zunächst der langjährige Mittelwert jedes Modelgitterpunktes durch einen Vergleich mit Beobachtungen überprüft. Wie aus direkten Bodenfeuchtemessungen ersichtlich (Tab.1), enthält deren räumliche Varianz ja bereits einen Großteil der Variabilität, so dass der korrekten Reproduktion des langjährigen Bodenfeuchtefeldes entscheidende Bedeutung zukommt.

Die zehnjährigen Mittelwerte des gesamten Modellgebiets stimmen mit den Beobachtungen gut überein, beide differieren nur um etwa 10 mm, (262 mm/ 274 mm). Dieses Ergebnis ist überraschend gut, wenn man bedenkt, daß die Werte aus völlig unabhängigen Informationen abgeleitet wurden. Da unser Ableitungsverfahren auch grob aufgelöste Daten verwendet, kann es nicht alle Details der in den Modelldaten sichtbaren Strukturen wiedergeben (Abb.2). Um diesen unterschiedlichen Auflösungen Rechnung zu tragen, wurde bei der Berechnung der Flächenkorrelation über 10 mal 10 Modelgitterpunkte (180 km mal 180 km) gemittelt. Der erzielte Korrelationskoeffizient zwischen Modell und Beobachtungen beträgt 0.457.

Die Fähigkeit des Modellsystems BALTIMOS die zeitliche Entwicklung der Bodenfeuchte nachzuzeichnen wurde anhand von Daten aus dem Oder Einzugsbereich geprüft. Beobachtungen über einen Zeitraum von etwa neun Jahren standen zur Verfügung (Abb.3). Sie zeigten zunächst, daß das Model die mittlere Bodenfeuchte im Gesamteinzugsgebiet sehr gut vorhersagt (231 mm / 233 mm). Das Model produziert jedoch einen zu starken Jahresgang, dessen Standardabweichung doppelt so groß ist, wie in den Beobachtungen. Darüber hinaus ist der Jahresgang im Modell zeitlich um etwa einen Monat nach hinten verschoben.

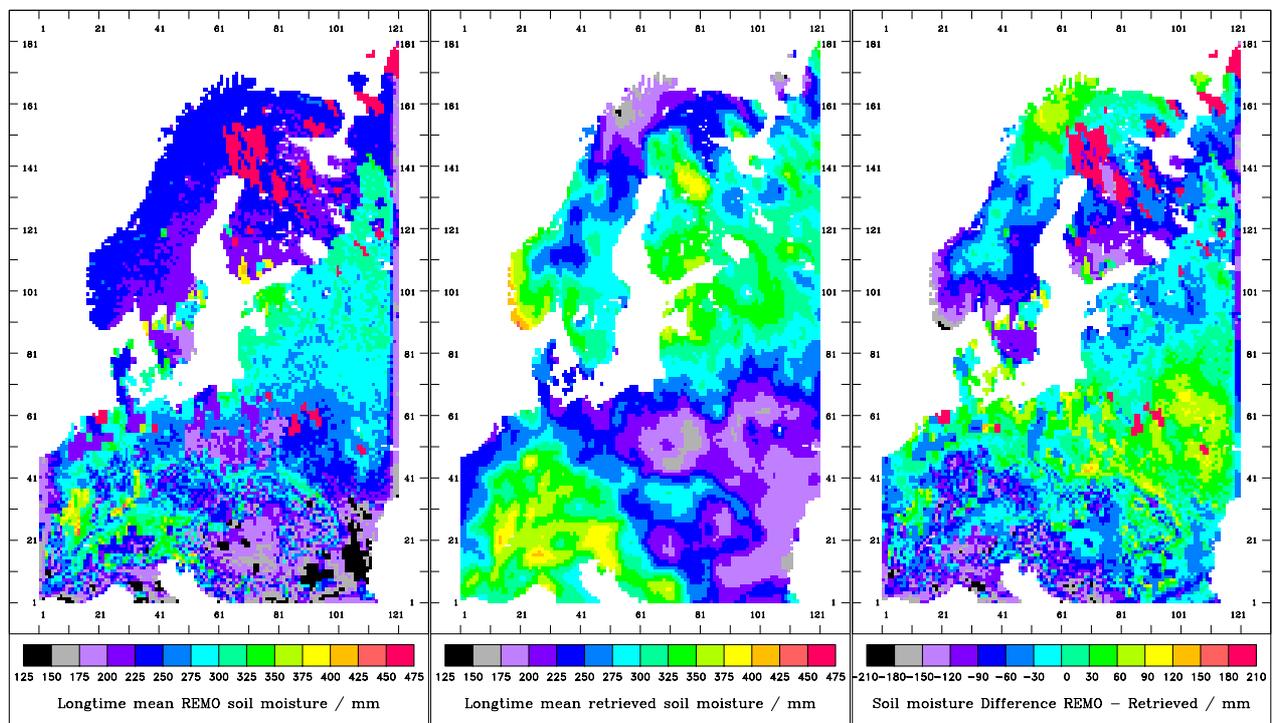
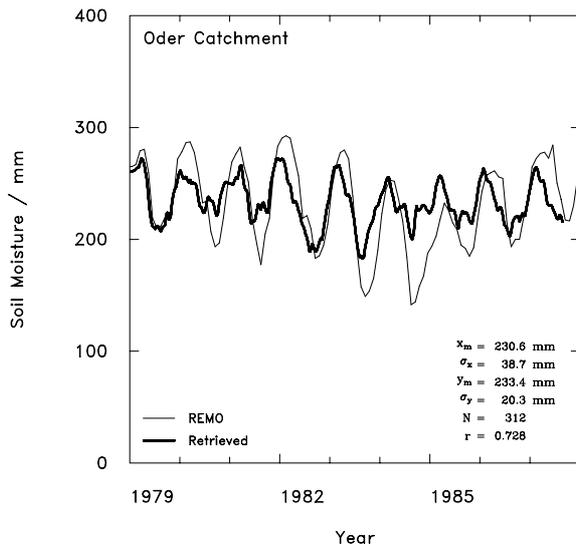


Abb.2 Langjährig gemittelte Bodenfeuchte (1979-1988) in REMO (links), aus Satellitendaten abgeleitet (mitte) und deren Differenz (rechts).



*Abb.3 Zeitserie der Bodenfeuchte für das Oder-Einzugsgebiet, wie sie in REMO modelliert (dünn) und wie sie aus Satellitendaten abgeleitet wird (fett).*

### 3. Fortschreibung des Verwertungsplans

Die flächendeckende Detektierung der Bodenfeuchte mithilfe von Satelliten ist von weitreichendem Interesse in der Klimaforschung. Der in diesem Projekt abgeleitete Algorithmus ist leicht modifiziert auch auf andere Satellitenmessungen anwendbar. So werden die hier erzielten Ergebnisse innerhalb des Projektes GEOLAND, das als *integrated project* im sechsten Forschungsrahmenprogramm der EU finanziert wird, genutzt und weiterentwickelt, um globale Bodenfeuchtefelder aus AMSR-Messungen (Advanced Microwave Scanning Radiometer) abzuleiten. Im Austausch mit weiteren EU-Projekten, wie z.B. AMMA (African Monsoon Multidisciplinary Analyses) kommt es zur regionalen Anwendung der Ergebnisse in Afrika.

### 4. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben.

Keine

### 5. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer

GMES (Global Monitoring for Environment and Security), eine gemeinsame Initiative von ESA (European Space Agency) und EU, wird Bodenfeuchtefelder, die auf dem im Projekt abgeleiteten Algorithmus beruhen, in der Zukunft verwenden.

### 6. Einhaltung des Kosten- und Zeitplans

Kosten- und Zeitplan wurden eingehalten.