

DeMarine-Umwelt

Schlussbericht

Teilprojekt 5: Entwicklung und Implementierung eines Verfahrens zur Datenassimilation von Fernerkundungsdaten in ein operationelles Modell für Nord- und Ostsee

Jens Schröter, Lars Nerger, Svetlana Losa, Tijana Janjic

ZE:	Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung
FKZ:	50EE0814
Vorhabensbezeichnung:	DeMarine-Umwelt
Laufzeit des Vorhabens:	01.02.2008 - 15.04.2011

I. Einleitung

Die Vorhersage der marinen Umwelt von Nord- und Ostsee liefert Informationen, die für unterschiedlichste Nutzergruppen relevant sind. Z.B. sind Vorhersagen der Meerestemperatur für die Fischerei ebenso von Interesse wie für den Tourismus. Die Bereitstellung von Vorhersagedaten als Produkte ist Teil des Aufgabenspektrums des BSH.

Im operationellen Betrieb müssen die Produkte fortwährend aktualisiert und in ihrer Qualität verbessert werden. Hier nehmen numerische Modelle eine wichtige Position ein. Im BSH wird seit vielen Jahren ein operationelles numerisches Modellsystem (DICK 1997, DICK ET AL. 2001, HUBER 1993) betrieben, das täglich Vorhersagen für Wasserstände, Strömungen, Salzgehalt und Temperatur in der Nord- und Ostsee liefert. Die Vorhersagemodelle des BSH wurden über viele Jahre fortentwickelt und stellen heute eine unverzichtbare Informationsquelle dar. Die Genauigkeit der Berechnungen konnte über die Jahre erheblich gesteigert werden. Die Modelle haben dabei eine hohe Komplexität in der Beschreibung der physikalischen Prozesse erreicht und auch der numerische Apparat ist weit entwickelt. Eine weitere Verbesserung der Genauigkeit ist daher mit einem erheblichen Aufwand, sowohl bezüglich der zu investierenden Arbeitszeit als auch in Bezug auf die Kapazität der Rechenanlagen, verbunden. Eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit — die direkte Verknüpfung von Beobachtungen mit den Modellsimulationen im Sinne der Datenassimilation — wurde bislang am BSH nicht genutzt.

Im AWI besteht eine umfangreiche Expertise im Bereich der Datenassimilation. Zum einen konnte in zahlreichen Anwendungen der Informationsgewinn aber auch die Grenzen der Datenassimilation gezeigt werden. Ferner wurde am AWI das Softwaresystem PDAF (NERGER ET AL. 2005b, <http://pdaf.awi.de>) zur Datenassimilation entwickelt, das flexibel mit unterschiedlichen numerischen Modellen gekoppelt werden kann. Das PDAF-System enthält Implementierungen unterschiedliche Datenassimilationsverfahren wie die SEIK- und LSEIK-Filter (NERGER ET AL. 2006, NERGER ET AL. 2007).

Die Voraussetzungen für dieses Vorhaben ergeben sich aus der Notwendigkeit mit Hilfe von Datenassimilation die operationellen Produkte des BSH zu verbessern. Dieses konnte durch das nationale GMES-Förderprogramm am DLR verwirklicht werden. Der Stand der Wissenschaft stellt sich durch die Vorarbeiten am AWI im Bereich der Datenassimilation, sowie die langjährigen operationellen Betrieb von Vorhersagemodellen am BSH dar. Weitere Erfahrungen in diesem Bereich gibt es am Dänischen Meteorologischen Institut, wo aber einfachere Datenassimilationsmethoden verwendet werden (HØYER & SHE 2007).

Die Aufgabenstellung dieses Teilprojekts bestand darin die Expertise des AWI im Bereich der Datenassimilation mit der Expertise des BSH in der operationellen Modellierung zu verknüpfen. Durch die Assimilation von Fernerkundungsdaten der Meeresoberflächentemperatur (SST) sollte vor allem die Qualität des Produkts für Wassertemperatur gesteigert werden. Die verwendeten Fernerkundungsdaten sind vom BSH selbst empfangene und prozessierte Daten. Diese Daten werden seit 1990 mit einer eigenen Anlage für den routinemäßigen Echtzeit-Empfang der hoch aufgelösten Daten der US-amerikanischen Wettersatelliten der NOAA-Serie empfangen und prozessiert. Die Satelliten liefern mehrfach täglich Aufnahmen der Erdoberfläche im sichtbaren und thermisch-infraroten Spektralbereich. Durch angepasste Verarbeitungstechniken konnte damit die Qualität der vom BSH erstellten SST-Daten und auch der Karten der Eisverteilung wesentlich verbessert werden. Die Aufnahmen der Meeresoberfläche werden weitgehend automatisch hergestellt und aktualisiert. Es handelt sich überwiegend um die Zusammenfassung mehrerer Überflüge der Wettersatelliten, wodurch die Gebiete durch Bewölkung stark reduziert werden können.

Die Datenassimilation in das operationelle Ozeanvorhersagemodell BSHcmod des BSH wurde mit Hilfe moderner sequentieller Datenassimilationsverfahren durchgeführt, die durch das

PDAF-System zur Verfügung gestellt werden. Hierbei wird das Modell in der Vergangenheit gestartet und berechnet eine Vorhersage bis zu dem Zeitpunkt an dem Beobachtungsdaten vorliegen. Diese werden quantitativ durch die Datenassimilation mit dem Modell verbunden - die so genannte Analyse - wodurch sich ein verbesserter Modellzustand ergibt. Nach der Analyse wird mit dem numerischen Modell wieder eine Vorhersage bis zu dem Zeitpunkt, an dem neue Beobachtungen vorliegen, berechnet.

Der Ablauf des Projektes verlief in drei Schritten I) Vorarbeiten, II) Entwicklung und III) Operationalisierung. Im Einzelnen stellte sich der Ablauf wie folgt dar:

Im ersten Schritt wurden Rand- und Antriebsdaten für das Modell des BSH zusammengestellt. Eine Version des Modells BSHcmod wurde beim BSH für die Nutzung im Vorhaben vorbereitet. Dann wurde es auf einen Rechner des AWI portiert und dort seine Laufzeit analysiert und optimiert. Weiterhin wurden Assimilationsdaten zusammengestellt und diese bezüglich Datenlücken, Eisbedeckung, sowie Land- und Flachwassereffekten analysiert. Im zweiten Schritt wurde am AWI das Modell des BSH mit der Datenassimilationssoftware PDAF verbunden. Nach diesen vorbereitenden Tätigkeiten, die in den ersten drei Quartalen des Projekts bearbeitet wurden, wurde das Modell in Simulationen ohne Datenassimilation analysiert. Parallel hierzu wurde mit der Datenassimilation begonnen, wobei der Fokus zunächst auf deren Anwendung für die Analyse lag und die Güte der Datenassimilation verschiedener Methoden anhand von Kontrolldatensätzen bewertet wurde. Hierfür wurden unabhängige In-situ Daten zusammengestellt, die zur Modellvalidation verwendbar sind. Danach wurde die Datenassimilation in Hinblick auf eine Verbesserung der Vorhersage durchgeführt und validiert. Diese Arbeiten dienten der Auswahl des für die operationelle Verwendung optimalen Verfahrens. Im letzten Schritt des Projekts wurde das Assimilationssystem durch das BSH in den prä-operationellen Testbetrieb übernommen.

II. Verwendung der Zuwendung

Mit der Zuwendung wurden am AWI die notwendigen Entwicklungsarbeiten geleistet um die Datenassimilation für die prä-operationelle Nutzung durch das BSH vorzubereiten. Einige der Arbeitspakete dienten der Bereitstellung von Daten durch das BSH an das AWI. An diesen Arbeitspaketen waren die Projektteilnehmer des AWI nur durch den Empfang der Daten sowie dessen Speicherung am AWI beteiligt. In einzelnen waren dies:

- Die Zusammenstellung von Rand- und Antriebsdaten für das BSH-Modell (AP1)
- Die Bereitstellung der Fernerkundungsdaten für die Assimilation (AP4)
- Die Zusammenstellung von Validationsdaten (AP8)

In den weiteren Arbeitspaketen wurden die eigentlichen Projektergebnisse erzielt. Diese stellen sich wie folgt dar:

Portierung des Modellcodes vom BSH ans AWI und Laufzeitoptimierung des Modells (AP2 und AP3)

Mit Unterstützung des BSH wurde das aktuelle Modellsystem BSHcmod auf zwei Computersysteme des AWI portiert. Hierzu wurden eine Workstation mit dem Betriebssystem Linux (OpenSUSE) sowie ein Rechencluster von IBM mit Prozessoren des Typs Power4 ausgewählt. Um die Effizienz des Modells zu erhöhen wurden umfangreiche Anpassungen bezüglich der Compileroptionen sowie Optimierungen im Fortran Quellcode des Modells zur Verbesserung der Laufzeit vorgenommen. Es stellte sich heraus, dass die Programmlaufzeit

(in Minuten) deutlich von der Computerarchitektur abhängt. Ebenso ist der Grad der Parallelisierung entscheidend beim Einsatz von massiv parallelen Computern. In Abbildung 1 ist der Erfolg der Optimierung auf den verschiedenen Systemen verdeutlicht. Das IBM-System mit Power4-Prozessoren ist ähnlich dem Computersystem das am BSH für die operationelle Modellierung verwendet wird. Auf dem Rechner des AWI konnte eine Laufzeitverkürzung von 30 Minuten realisiert werden. Da diese Laufzeitverbesserung für die Vorhersage im Routinebetrieb sehr vorteilhaft ist und die Situation des Vorhersagedienstes entspannt, wurden die Codeverbesserungen schon während des Projekts an das BSH zurückgereicht und dort erfolgreich in die operationell genutzte Modellvariante eingefügt.

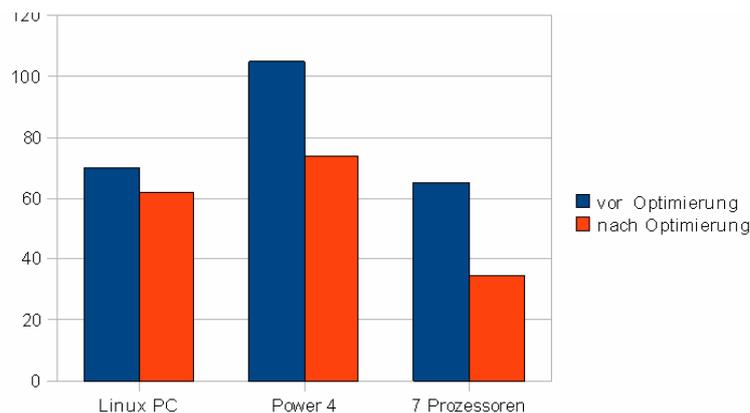


Abbildung 1: Laufzeit des Vorhersagemodells auf verschiedenen Computerarchitekturen für einen Modelltag. Blau: vor der Optimierung, Rot: nach Optimierung des Programmcodes.

Kombination des BSHcmod mit PDAF zum Datenassimilationssystem (AP5)

Das Modell BSHcmod wurde mit der Datenassimilationssoftware PDAF verbunden. Bei diesen Programmierarbeiten wurde der Quellcode des Modells mit Aufrufen mehrerer Unterprogramme von PDAF erweitert. Ferner wurden datenspezifische Routinen implementiert. Als Ergebnis steht damit ein Datenassimilationssystem zur Verfügung, das in den weiteren Arbeitspaketen des Projekts verwendet wird.

Analyse der Satellitendaten (AP6)

Dieses Arbeitspaket wurde weitgehend vom BSH durchgeführt. Ein Ergebnis dieser Arbeiten ist, dass für die Datenassimilation keine einzelnen Satellitenszenen verwendbar sind da in diesem Fall die Datenbedeckung zu gering ist. Statt dessen werden kombinierte Satellitendaten über ein Zeitfenster von mindestens 12 Stunden assimiliert. Auch in diesem Fall schwankt die Datenbedeckung erheblich wie in den Abbildungen 2 und 3 für zwei Tage im Oktober 2007 gezeigt ist. Diese Schwankung wird dadurch verursacht, dass die Oberflächentemperatur (SST) mit einem optischen Verfahren bestimmt wird, das nur in wolkenfreien Gebieten verwendbar ist.

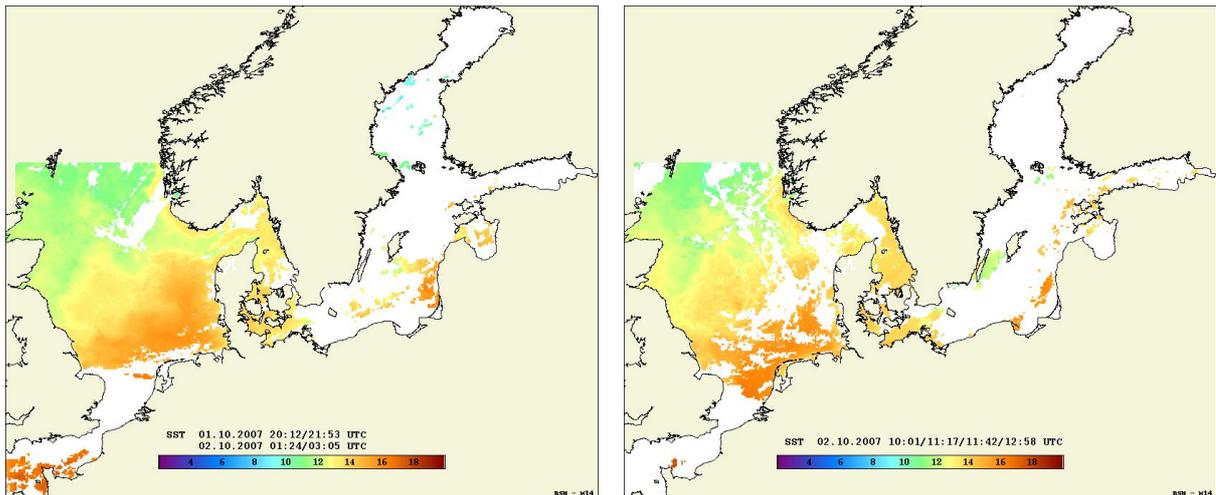


Abbildung 2: NOAA SST Daten am 2.10.2007; Kombination über 12-Stunden zentriert um 0:00 Uhr (links) und 12:00 Uhr (rechts)

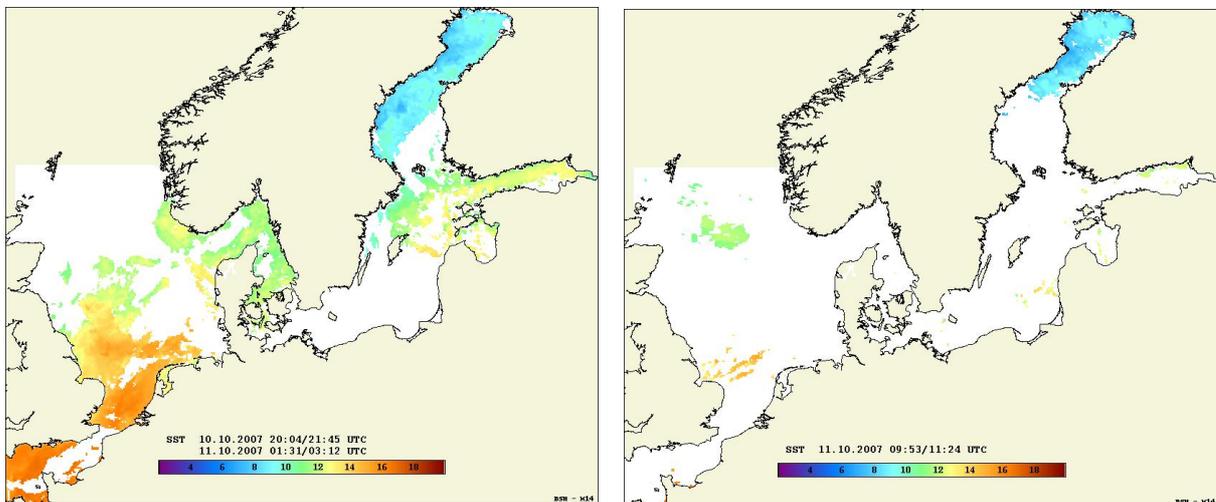


Abbildung 3: NOAA SST Daten am 11.10.2007; Kombination über 12-Stunden zentriert um 0:00 Uhr (links) und 12:00 Uhr (rechts)

Analyse von BSHcmod vor der Datenassimilation sowie Festlegung einer Gütekennzahl (AP7)

Der Zustand des BSHcmod-Modells ohne Datenassimilation wurde anhand mehrerer Modellläufe analysiert. Für die Analyse wurden sowohl Zeitserien der Modell-Daten-Abweichungen als auch Statistiken über diese Abweichung sowie der Modellvariabilität berechnet. Abbildung 4 zeigt ein Beispiel dieser Statistiken. Für den Zeitraum 1.10.2007 bis 31.12.2007 wurde die räumliche Korrelation um einen ausgewählten Punkt des Modellgitters (Gitterpunkt 455 im südlichen Teil des Bottnischen Meerbusens, Koordinaten: 62,04°N, 20,07°O) bestimmt. Die Korrelation wurde aus der Zeitserie des Modells, aus den Satellitendaten sowie auch für die Abweichung zwischen Modell und Daten bestimmt. Für die Modellzeitserie und die Satellitendaten sind positive Korrelationen langer Reichweite zu sehen. Dagegen weisen die Abweichungen zwischen Modell und Daten kürzere Reichweiten auf. Dieses zeigt, dass die Fehler in der Oberflächentemperatur eine Korrelationslänge von etwa 100 km aufweisen. Diese Eigenschaft der Fehler wurde im Arbeitspaket 9 für die Lokalisierung der Datenassimilation verwendet.

Für die Güte der Datenassimilation wurden zwei Kennzahlen festgelegt: Der mittlere Fehler (Bias) sowie die Wurzel des quadratisch gemittelten Fehlers (RMS, root mean square). Für