

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 Assimilationsystem 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.

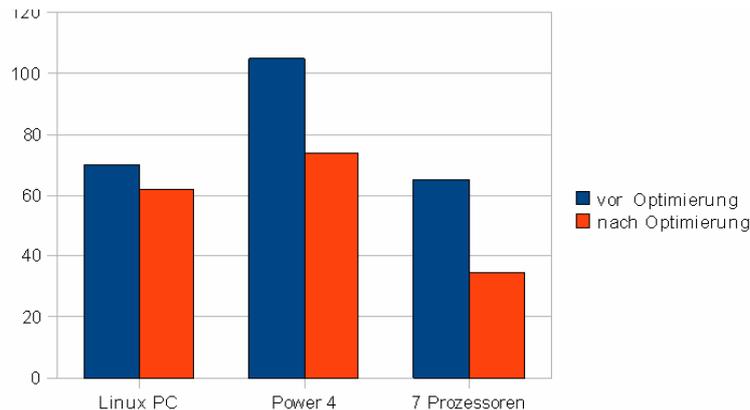


Abbildung 1: Laufzeit des Vorhersagemodells auf verschiedenen Computerarchitekturen für einen Modelltag. Blau: vor der Optimierung, Rot: nach Optimierung des Programmcodes.

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.

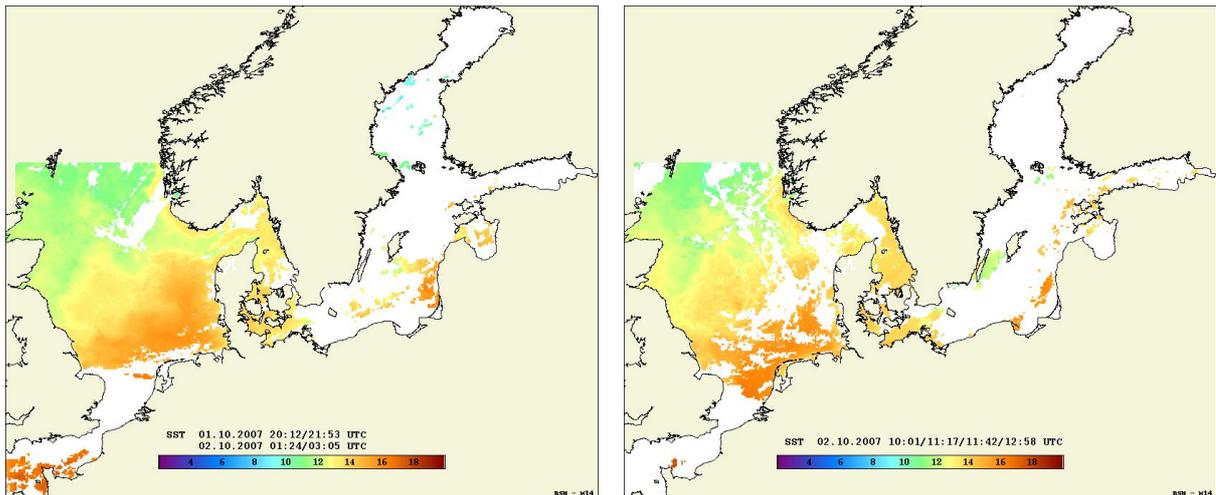


Abbildung 2: NOAA SST Daten am 2.10.2007; Kombination über 12-Stunden zentriert um 0:00 Uhr (links) und 12:00 Uhr (rechts)

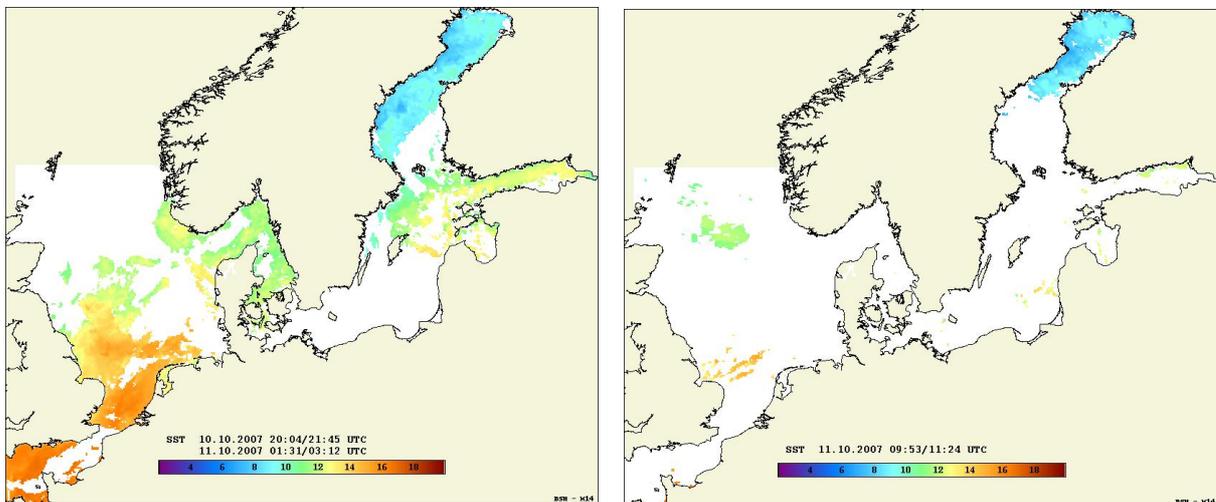


Abbildung 3: NOAA SST Daten am 11.10.2007; Kombination über 12-Stunden zentriert um 0:00 Uhr (links) und 12:00 Uhr (rechts)

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

die Bestimmung der Güte wurden diese Kennzahlen für die Differenz zwischen Modellzustand und Daten berechnet. In der Arbeitspaketen 9 (Datenassimilation mit dem Ziel der Analyse) und 10 (Datenassimilation mit dem Ziel der Vorhersage) wurden die Werte von Bias und RMS Fehler des Modells ohne Datenassimilation als Basis verwendet um die Verbesserung des Modellzustands durch die Datenassimilation zu bestimmen.

Anhand der Modellläufe dieses Arbeitspakets wird ein Ensemble von Modellzuständen für die Datenassimilation erzeugt. Dieses wird so generiert, dass es die Variabilität des Modells als Unsicherheit des Modellzustands repräsentiert.

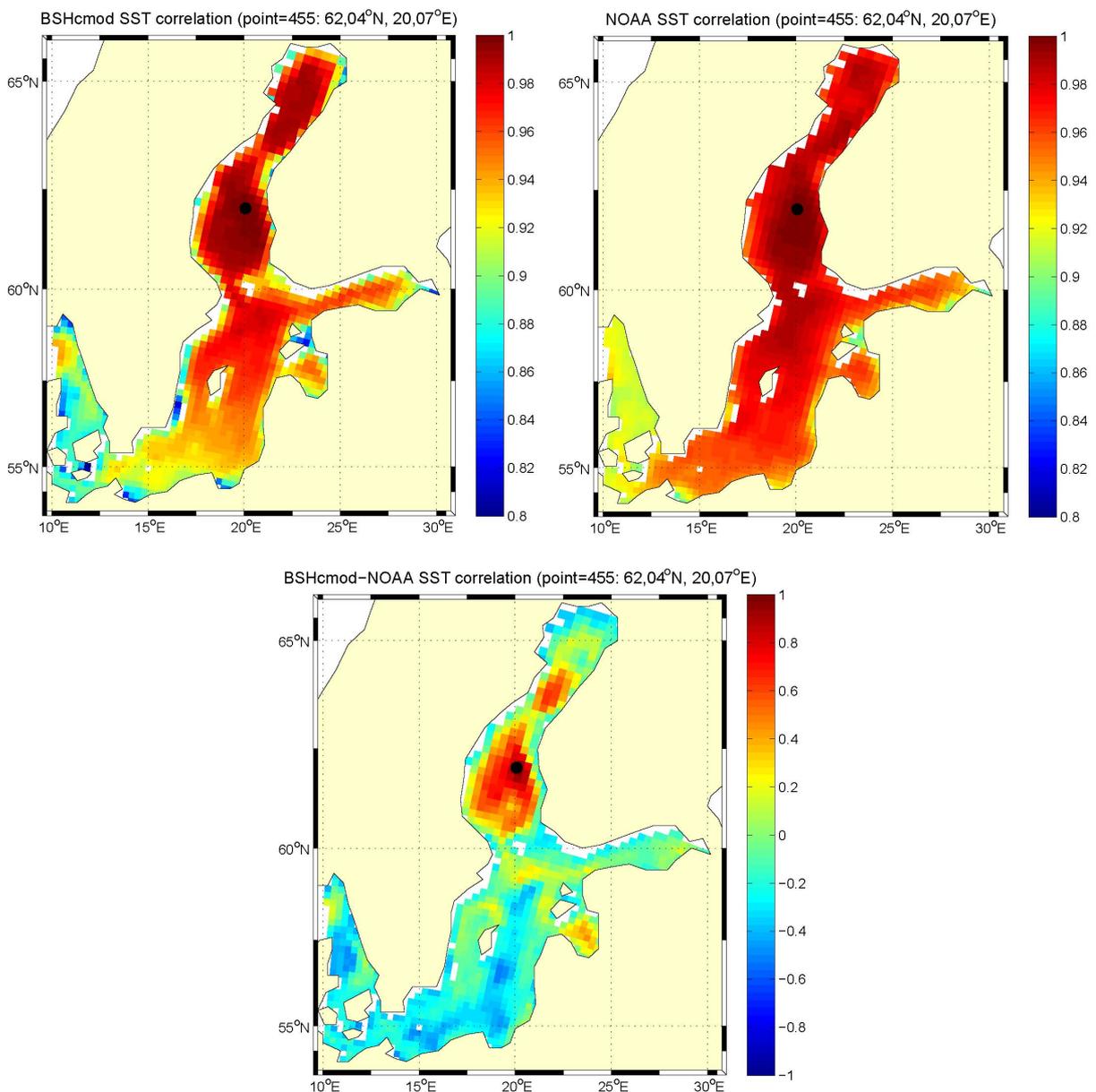


Abbildung 4: Räumliche Korrelationen (Gitterpunkt 455, dargestellt durch einen Punkt) der BSHcmod Oberflächentemperaturen (oben links), der NOAA Daten (oben rechts) und der Modellabweichungen von SST Daten (unten) für den Zeitraum 1.10.2007 – 31.12.2007.

Datenassimilation mit dem Ziel der Analyse (AP9)

In diesem Arbeitspaket wurden Datenassimilationsexperimente mit dem Assimilationssystem aus BSHcmod und PDAF durchgeführt. Hierbei wurden unterschiedliche Datenassimilations-Algorithmen getestet und verglichen. Außerdem wurden die Abschätzungen für den Fehler der Modellvorhersagen sowie für den Messfehler und die Größe des Modellensembles variiert. Es ergaben sich stabile Lösungen, sobald das Ensemble aus mehr als 6 Zuständen bestand. Die Sensitivität des Ergebnisses bezüglich Modellfehler sowie Messfehler war gering, solange keine extremen Annahmen gemacht wurden. Die Validierung der Ergebnisse wurde schwerpunktmäßig in der Ostsee durchgeführt, da die Verfügbarkeit von unabhängigen In-situ Daten hier größer ist als in der Nordsee.

Die getesteten Datenassimilations-Methoden waren:

- Filter mit reduziertem Rank und konstanter Kovarianzmatrix („fixed“ Filter)
- Globaler SEIK-Filter (siehe NERGER ET AL. 2005a)
- Lokaler SEIK-Filter (LSEIK, NERGER ET AL. 2006)

Abbildung 5 vergleicht als erstes Ergebnis die RMS Abweichung der Oberflächentemperatur der Standardvorhersage ohne Assimilation von Fernerkundungsdaten mit der Abweichung der Analyse mit dem globalen SEIK-Filter mit den Fernerkundungsdaten. Der Vergleich wurde auf Wochenbasis durchgeführt und umfasst den Zeitraum von einem Jahr von Herbst 2005 bis Herbst 2006. Ohne Datenassimilation fallen größere Abweichungen auf, die sich auf die Küstenbereiche konzentrieren während im Inneren bessere Ergebnisse erzielt werden.

Der Erfolg der Analyse wird in Abbildung 5 (rechts) sichtbar. Da die Fernerkundungsdaten selber einen Fehler aufweisen, kann man die Annäherung an die Messungen nur als relatives Kriterium betrachten. Der Vergleich der beiden Diagramme in Abbildung 5 zeigt, dass mit der Datenassimilation eine deutliche Reduzierung der Abweichung zwischen Modell und Fernerkundungsdaten sowohl im Küstenbereich als auch im Inneren erreicht werden konnte. Da die Fernerkundungsdaten in der Analyse verwendet wurden, zeigt die Verringerung der Abweichung, dass die Datenassimilation wie erwartet funktioniert.

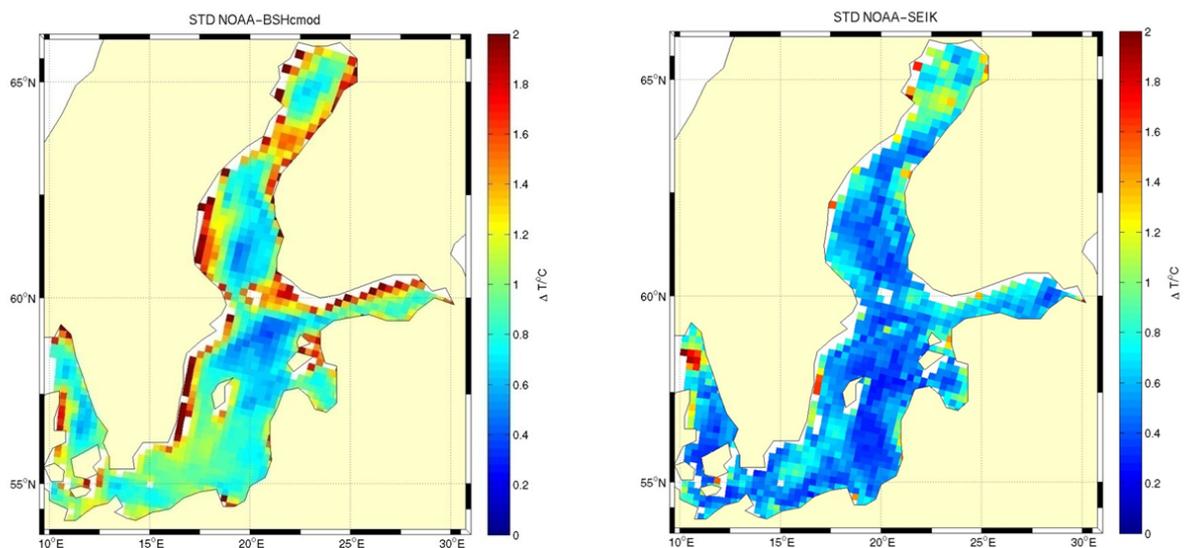


Abbildung 5: Links: Standardabweichung der Modellvorhersage von unabhängigen Fernerkundungsmessungen der Oberflächentemperatur; rechts: Standardabweichung der durch Datenassimilation ermittelten Analyse der Oberflächentemperatur von den Messungen. Die Standardabweichung ist ein Mittelwert über ein Jahr (Herbst 2005 bis Herbst 2006).

In Abbildung 6 wird der zeitliche Verlauf des Vorhersage- und Analysefehlers gezeigt, wobei zwischen zwei Analysen jeweils eine Vorhersage über 7 Tage berechnet wurde. Ohne Assimilation liegt der Fehler der Temperatur bei etwa 1°C im Winter und steigt im Sommer deutlich an. Dieser Anstieg ist auch im analysierten Temperaturfeld zu sehen (rot). Wenn das Modell mit der analysierten Temperatur reinitialisiert und jeweils eine 7-Tage Vorhersage berechnet wird (blau), steigt der Fehler nur leicht an. Ein einfaches Ersetzen des analysierten Feldes mit den Messwerten hat weniger Erfolg. Startet man die Wochenvorhersage direkt von den Messwerten, ergibt sich die schwarz gestrichelte Kurve. Auch wenn einzelne Vorhersagen deutlich besser sind als mit den anderen Verfahren, so zeigt die Methode im Mittel und besonders im Extrem deutlich schlechtere Ergebnisse als die Datenassimilation. Insgesamt ist in der zeitlichen Entwicklung der Erfolg der Datenassimilation durch Reduzierung der Analyse- und Vorhersagefehler deutlich sichtbar.

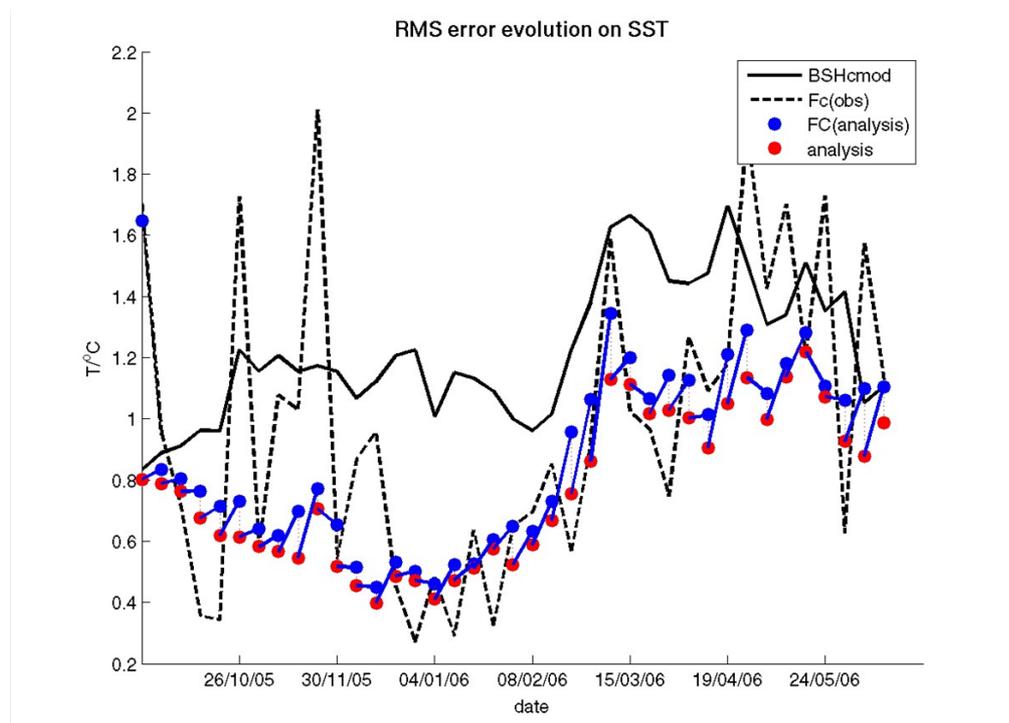


Abbildung 6: Der zeitliche Verlauf des quadratisch gemittelten Fehlers der Oberflächentemperatur in der Ostsee von Herbst 2005 bis Herbst 2006. Schwarz (durchgezogen): Modellabweichung ohne Datenassimilation, Rot: Fehler der Analyse, Blau: Fehler der 7-Tage Vorhersage, wenn mit der Analyse reinitialisiert wurde, Schwarz (gestrichelt): Fehler der Vorhersage, wenn mit den Messdaten reinitialisiert wurde.

Die weiteren Untersuchungen wurden mit einer Vorhersageperiode von jeweils 12 Stunden durchgeführt. Dieses Intervall wird auch in Arbeitspaket 11 in der prä-operationellen Phase verwendet. Wenn die Datenassimilation mit dem Filter mit konstanter Kovarianzmatrix („fixed“) durchgeführt wird, ist eine deutliche Verschlechterung der Temperaturvorhersage zu beobachten, wie Abb. 7 für den Monat Oktober 2007 zeigt. Während die RMS-Abweichung der Analyse (rot) geringer als die Abweichung des Modells ohne Datenassimilation ist, steigt der RMS-Fehler während der Vorhersagephase stark an und führt häufig zu größeren Abweichungen als die Modellvorhersage ohne Datenassimilation. Ferner hat sich gezeigt, dass auch die Auslenkung der Meeresoberfläche bei der Datenassimilation mit dem „fixed“ Filter negativ beeinflusst wird.

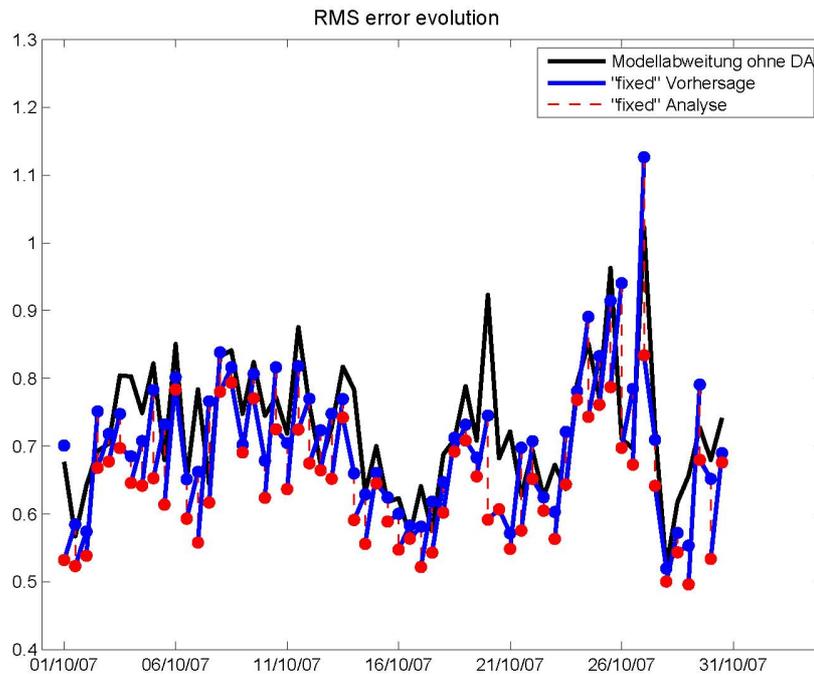


Abbildung 7. Der zeitliche Verlauf des quadratisch gemittelten Fehlers der Oberflächentemperatur in der Nordsee und Ostsee vom 1.10.2007 bis 31.10.2007. Schwarz: Modellabweitung ohne Datenassimilation; Rot: Fehler der Analyse mit dem "fixed" Filter; Blau: Fehler der Vorhersage über 12 Stunden, wenn mit der Analyse reinitialisiert wurde.

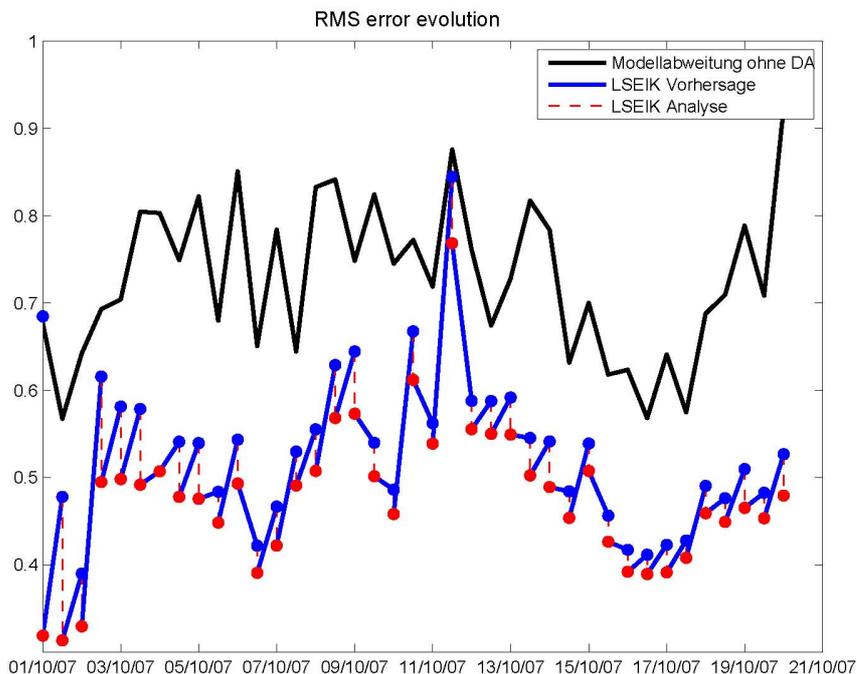


Abbildung 8. Der zeitliche Verlauf des quadratisch gemittelten Fehlers der Oberflächentemperatur in der Nordsee und Ostsee vom 1.10.2007 bis 21.10.2007. Schwarz: Modellabweitung ohne Datenassimilation; Rot: Fehler der Analyse mit LSEIK; Blau: Fehler der Vorhersage, wenn mit der Analyse reinitialisiert wurde.

Insgesamt erzielt der LSEIK-Filter die besten Ergebnisse. Bei dieser Filtermethode werden für die Analyse einer einzelnen Säule von Gitterpunkten nur Satellitendaten verwendet die innerhalb einer definierten Entfernung um diese Säule herum existieren. Die Methode konzentriert sich damit auf Korrelationen mit kurzer Reichweite, die durch die Ensemblemethode recht verlässlich geschätzt werden können. Abbildung 8 zeigt RMS-Fehler im Oktober 2007 wenn der LSEIK-Filter verwendet wurde. Gegenüber dem „fixed“ Filter sind die Fehler der Analyse, aber auch der Vorhersage über 12-Stunden deutlich geringer.

Datenassimilation mit dem Ziel der Vorhersage (AP10)

Auf Grundlage der Erfahrungen aus AP9, wurde für die Datenassimilation mit dem Ziel der verbesserten Vorhersage der LSEIK-Filter verwendet. In Hinblick auf eine verbesserte Vorhersage mit dem Modell BSHcmod wurde die Methode weiter verfeinert. Für die Untersuchungen wurde die Datenassimilation über einen Zeitraum von einem Jahr durchgeführt. Dieses erlaubt auch Rückschlüsse auf die Güte der Datenassimilation zu unterschiedlichen Jahreszeiten.

Verbesserte Vorhersagen der Oberflächentemperatur

Das wesentliche Ziel ist die Verbesserung der Vorhersage der Oberflächentemperatur. Abbildung 9 zeigt die RMS-Abweichung der Analyse und der Vorhersage über 12 Stunden von den Satellitendaten für den Zeitraum Oktober 2007 bis September 2008 in zwei Abschnitten. Deutlich sichtbar ist, dass die Fehler saisonal variieren und im im Frühjahr deutlich ansteigen um danach im Sommer wieder zu sinken. Während des gesamten Jahres ist die Qualität bei Verwendung der Datenassimilation mit dem LSEIK-Filter besser als die Qualität des Modells ohne Datenassimilation. Im Mittel liegt die Verbesserung bei etwa 0,2 °C, kann aber deutlich schwanken.

Einfluss auf nicht-beobachtete Modellfelder

Wichtig ist auch, dass die Datenassimilation von Oberflächentemperaturdaten andere, nicht beobachtete, Modellfelder nur positiv beeinflusst und deren Qualität nicht verschlechtert. Dieses ist erfüllt, wie die nachfolgenden Abbildungen zeigen.

Abbildung 10 zeigt die Oberflächenauslenkung in der Nord- und Ostsee. Die Oberflächenauslenkung ist im Modell vor allem durch die Tide bestimmt (Werte bis 2 Meter an der Ostküste Großbritanniens). Die Differenz zwischen dem Modell ohne Datenassimilation und der Vorhersage mit dem LSEIK-Filter zeigt, dass die Datenassimilation nur einen marginalen Einfluss auf die Oberflächenauslenkung hat.

Abbildung 11 zeigt die Komponenten der horizontalen Geschwindigkeit. Die Differenz mit und ohne Datenassimilation zeigt, dass die Datenassimilation nur einen sehr geringen Einfluss auf die Geschwindigkeitsfelder im Modell hat.

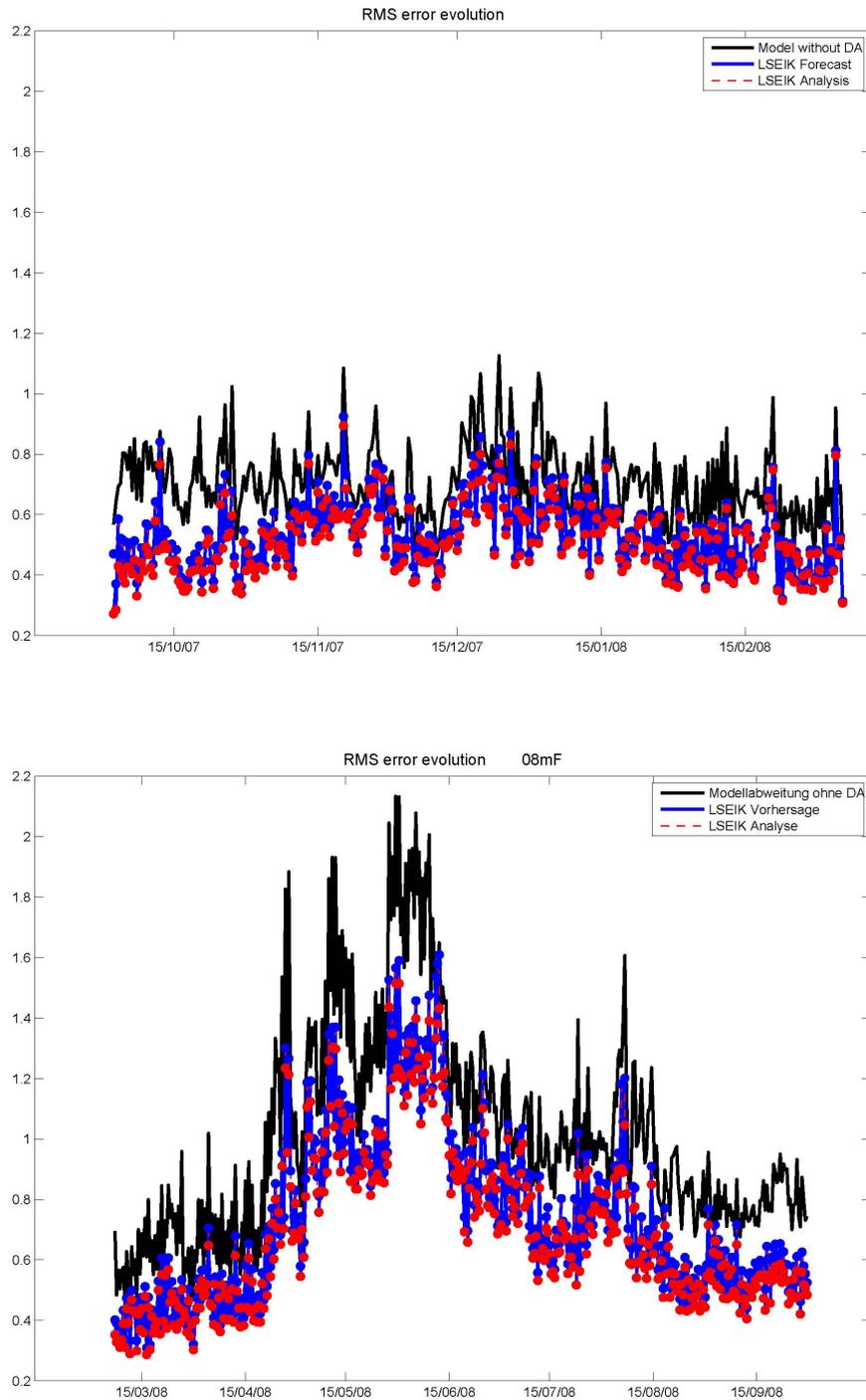


Abbildung 9: Der zeitliche Verlauf des quadratisch gemittelten Fehlers der Oberflächentemperatur in der Nordsee und Ostsee vom 01.10.2007 bis 08.03.2008 (oben) und vom 09.03.2008 bis 30.09.2008 (unten). Schwarz: Modellabweitung ohne Datenassimilation; Rot: Fehler der Analyse mit LSEIK; Blau: Fehler der Vorhersage, wenn mit der Analyse reinitialisiert wurde. Herbst und Winter werden etwa gleich gut Modelliert. Im Frühjahr kommt es mit steigenden Temperaturen zu einer deutlichen Verschlechterung der Ergebnisse, die sich im Laufe des Sommers wieder verbessern. Mit Datenassimilation werden durchweg bessere Ergebnisse erzielt.

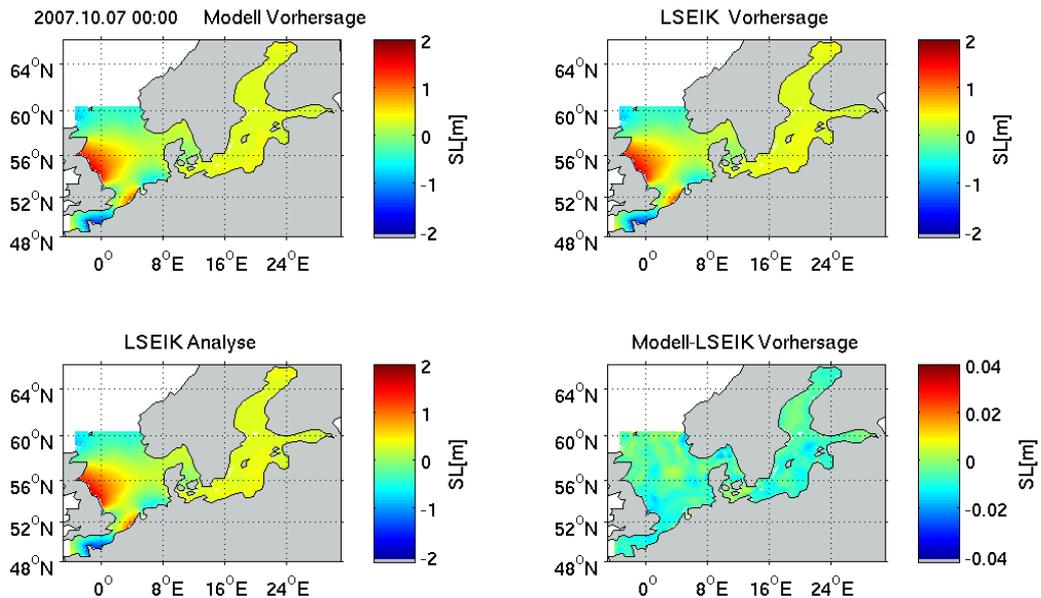


Abbildung 10: Oberflächenauslenkung. BSH Modellsimulationen (oben links); LSEIK Analyse (unten links) und Ensemblevorhersage über 12 Stunden (oben rechts). Unten rechts: Differenz zwischen Modell ohne Assimilation und LSEIK Vorhersage. Obwohl die Assimilation die Temperatur- und Salzgehaltsverteilung erheblich korrigiert, bleibt der Wasserstand und die Modelldynamik unbeeinträchtigt.

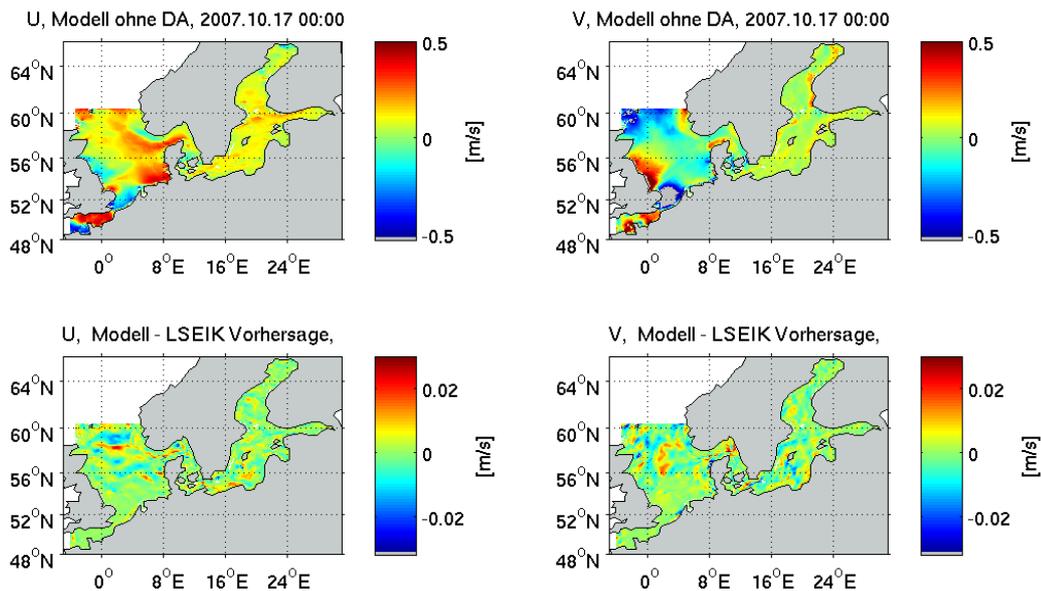


Abbildung 11: Strömungskomponenten, U und V (d.h. Richtung Osten, Richtung Norden) der BSH Modellsimulationen (oben); Unten: Differenz zwischen Modell ohne Datenassimilation und LSEIK Vorhersage. Ebenso wie der Wasserstand zeigen sich auch die Strömungen weitgehend ungestört durch die Datenassimilation.

Einfluss der Datenassimilation auf die Meereiskonzentration

Abbildung 12 zeigt die Meereiskonzentration in der Ostsee. Dargestellt sind Daten des BSH Eisdienstes, des Modells ohne Datenassimilation sowie zwei Eiskonzentrationsfelder die bei Verwendung der Datenassimilation mit dem SEIK-Filter erhalten werden. Die beiden Assimi-

lationsfälle unterscheiden sich im Zeitpunkt der Initialisierung des Assimilationsprozesses – März 2008 (Fall 1) und Oktober 2007 (Fall 2) – sowie des dazugehörigen Anfangsensembls. Im ersten Fall wird die Eiskonzentration durch die Assimilation der SST-Daten deutlich stärker korrigiert als im zweiten Fall. Dieses zeigt, dass die Änderung der Eiskonzentration empfindlich auf die Wahl des Ensembles reagiert. Außerdem wird die Wassertemperatur in der Eisregion durch das BSHcmod häufiger unterschätzt, d.h. es liegt ein systematischer Bias vor. Um die Schätzung der Eiskonzentration systematisch zu verbessern, sollte der Einfluss der Datenassimilation auf die Eiskonzentration in der Zukunft noch genauer untersucht werden.

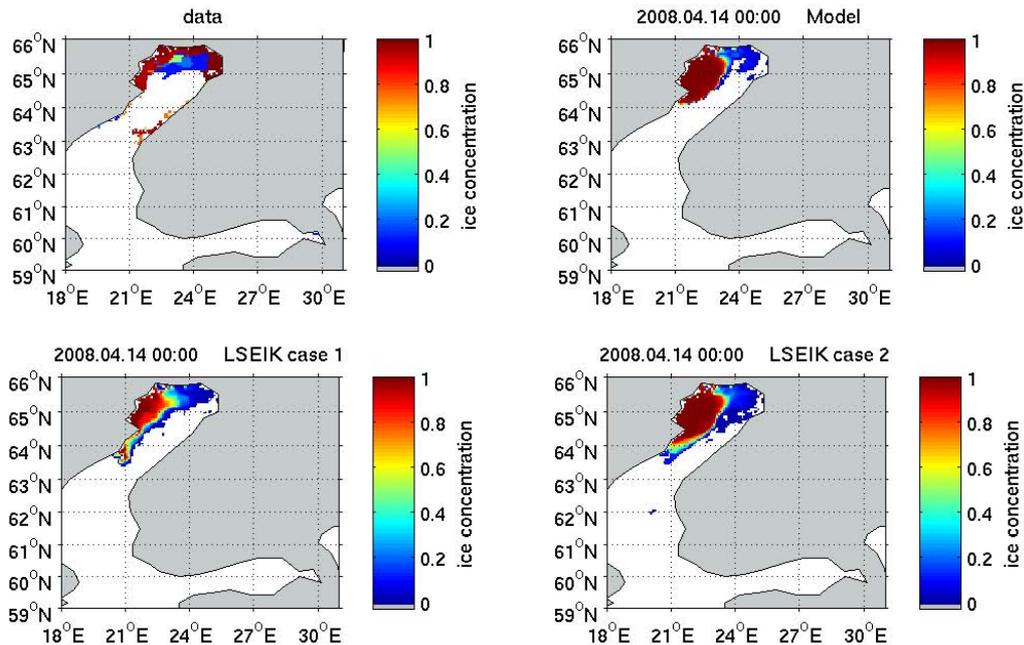


Abbildung 12: Eiskonzentration in Bereich der Ostsee. BSH Eisservice (oben links); BSH Modellsimulationen (oben rechts); LSEIK Vorhersage Fall 1 mit Initialisierung im März 2008 (unten links) und LSEIK Vorhersage Fall 2 mit Initialisierung im Oktober 2007 (unten rechts). In Fall 1 wird die Eiskonzentration durch die Assimilation der SST-Daten deutlich stärker korrigiert als in Fall 2. Dieses zeigt, dass die Änderung der Eiskonzentration deutlich von der Wahl des Ensembles abhängt.

Verbesserung der Datenassimilation durch eine angepasste Gewichtung der Beobachtungen

Zur Optimierung der Assimilationsmethode und zur Anpassung an die Verhältnisse in Nord- und Ostsee wurden verschiedene Aspekte mit numerischen Experimenten bearbeitet. Untersucht wurde die Sensitivität der Ergebnisse auf die Größe der Datenfehler sowie auf die Gewichtung der Daten in Abhängigkeit von der Entfernung vom analysierten Gitterpunkt. Außerdem wurde der Radius der Lokalisierung variiert der bestimmt bis zu welcher Entfernung Beobachtungen berücksichtigt werden.

Im Einzelnen wurden untersucht:

- Unterschiedlicher Lokalisations-Radius LR (LR=50km, 100km, 150 km).
- Unterschiedliche Datenfehler (0.5°C, 0.8°C, 1.8°C)
- Unterschiedliche Gewichtung der Beobachtungen (exponentiell, konstant, Quasi-Gauß (GASPARI & COHN 1999).)

Die Fehlergröße variiert in den unterschiedlichen Experimenten nur gering, wie Abb. 13 für drei der Experimente für die Periode 1.10.2007 – 21.10.2007 zeigt. Insgesamt wurden mit dem LSEIK-Filter mit exponentieller Datengewichtung, Datenfehler=0.8°C und einem Lokalisations-Radius vom 100km die geringsten RMS-Fehler erreicht.

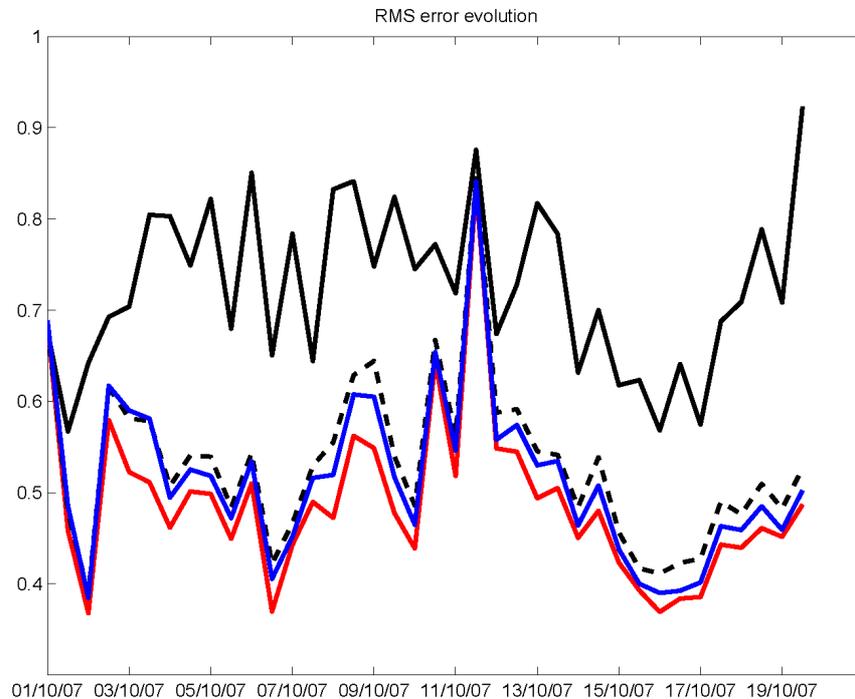


Abbildung 13: Der zeitliche Verlauf des quadratisch gemittelten Fehlers der Oberflächentemperatur in der Nordsee und Ostsee vom 1.10.2007 bis 21.10.2007. Schwarz: Modellabweichung ohne Datenassimilation; Schwarz gestrichelt: Fehler der LSEIK Vorhersage mit LR=50km, konstante Datengewichtung und Datenfehler=1.8°C; Blau: Fehler der LSEIK Vorhersage mit LR=50km, konstante Datengewichtung und Datenfehler=0.8°C; Rot: Fehler der LSEIK Vorhersage mit LR=100km, Datenfehler=0.8°C und exponentieller Datengewichtung. Diese Gewichtung erzielt die besten Ergebnisse und wird im Folgenden verwendet.

Der Vorteil der exponentiellen Datengewichtung zeigt sich auch im Vergleich mit unabhängigen In-situ Daten des MARNET-Netzwerks (Abb. 14). Exemplarisch wird an der Station „Arkona Becken“ offensichtlich, dass mit exponentieller Datengewichtung der Oberflächensalzgehalt wesentlich besser dargestellt wird, als mit konstanter Datengewichtung oder ohne Datenassimilation. Beim bodennahen Salzgehalt ist der Einfluss sehr gering. Die konstante Datengewichtung bewirkt teilweise eine Verschlechterung des Salzgehalts.

Reduzierung des Bias

Die Assimilationsergebnisse zeigen, dass vor allem der systematische Modellfehler in den Vorhersagen reduziert werden kann. Dieser Fehler ist als mittlerer Fehler, d.h. Bias, sichtbar. Abbildung 15 zeigt den Mittelwert des Bias zwischen den assimilierten SST Daten und den Modellsimulationen mit und ohne DA für den Zeitraum 01.10.2007 – 30.09.2008 dargestellt. Der Bias wird von 0,53°C auf 0,35°C wesentlich verringert. Derselbe Effekt ist auch für kürzere Zeiträume sichtbar, in denen der Bias ohne Datenassimilation zum Teil wesentlich stärker ausgeprägt ist als in Mittel über ein Jahr. Abbildung 16 zeigt dieses Verhalten für den Oktober 2007.

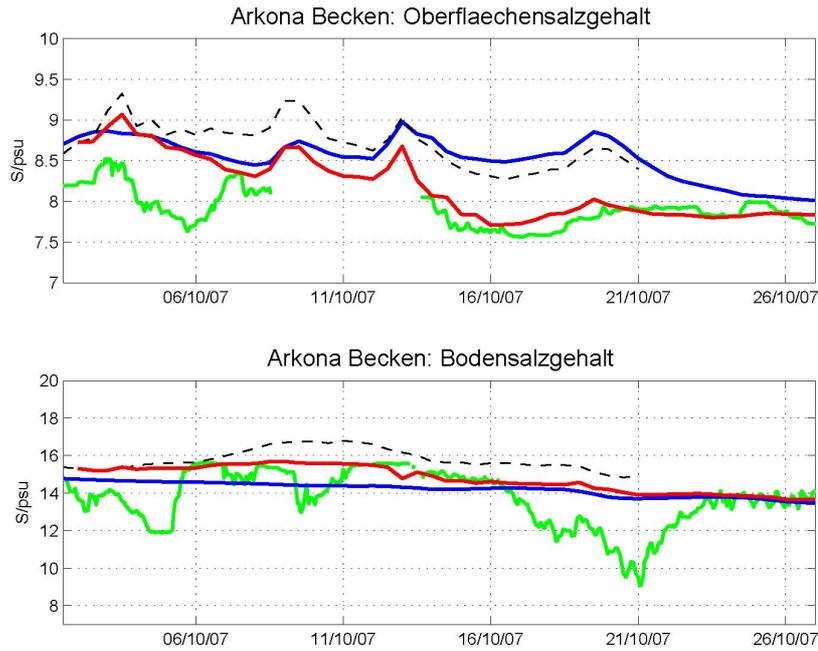


Abbildung 14: Salzgehalt an der MARNET-Station „Arkona Becken“. Grün: MARNET-Daten; Blau: Modellsimulation ohne Assimilation; Schwarz: LSEIK Vorhersage mit konstanter Datengewichtung; Rot: LSEIK Vorhersage mit exponentieller Datengewichtung. Die exponentielle Gewichtung führt zu einer deutlichen Verbesserung des Oberflächensalzgehalts.

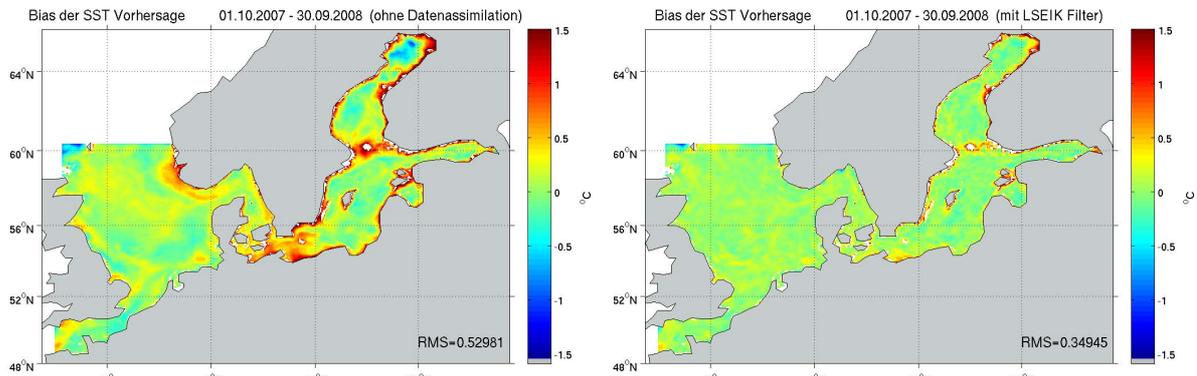


Abbildung 15: Die mittlere Abweichungen (BIAS) der Modellsimulationen von den NOAA SST Daten für die Periode 01.10.2007 – 30.09.2008. Ohne Assimilation (oben), mit LSEIK Filter (unten).

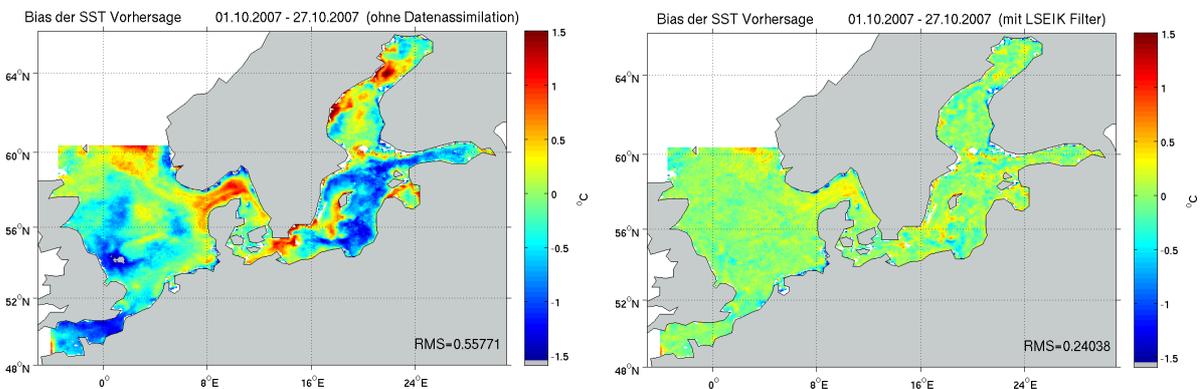


Abbildung 16: Die mittlere Abweichungen (BIAS) der Modellsimulationen von den NOAA SST Daten für die Periode 01.10.2007 – 27.10.2007. Ohne Assimilation (oben), mit LSEIK Filter (unten).

Einfluss der Datenassimilation auf lange Vorhersagen

Durch die Reduzierung des oben beschriebenen Bias ergibt sich eine Verbesserung für längere Vorhersagen über mehrere Tage, so wie sie vom BSH im operationellen Betrieb durchgeführt werden. Abbildung 17 zeigt das Verhalten des RMS-Fehlers für eine Vorhersage über 5 Tage, die nach einer Analyse mit dem LSEIK-Filter begonnen wurde. Der Fehler liegt deutlich unter dem des Modells ohne Datenassimilation und nur etwas über dem Fehler der bei Fortsetzung der Analysen in Intervallen von 12-Stunden erreicht wird. Dieses zeigt das Potential der Datenassimilation für den operationellen Einsatz.

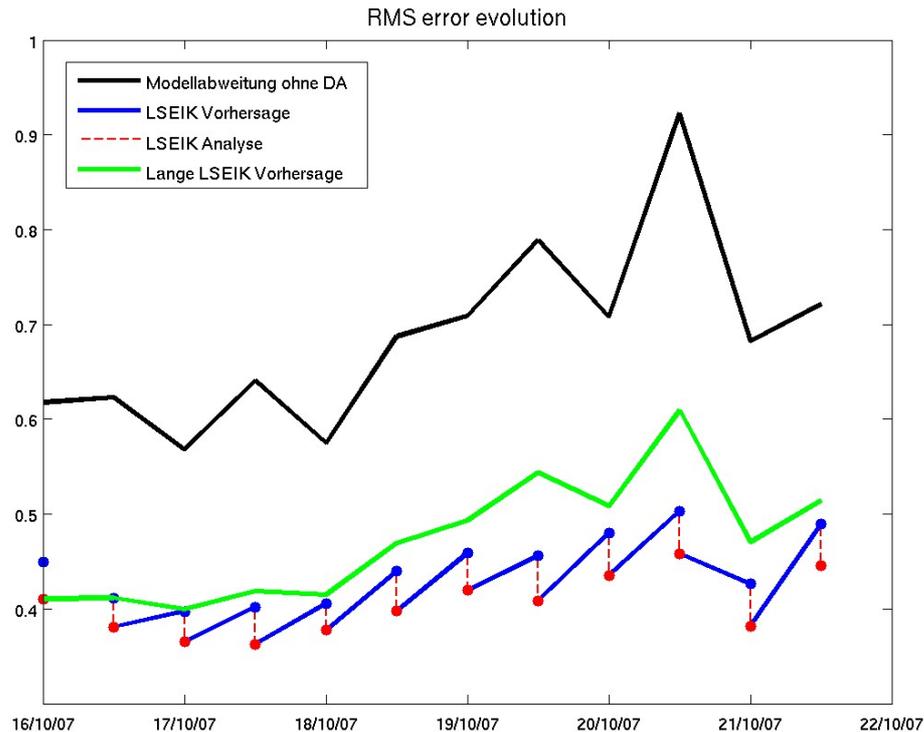


Abbildung 17: Der zeitliche Verlauf des RMS Fehlers der Oberflächentemperatur in der Nordsee und Ostsee vom 16.10.2007 bis 21.10.2007. Schwarz: Modellabweichung ohne Datenassimilation; Rot: Fehler der Analyse mit dem LSEIK Filter; Blau: Fehler der Vorhersagen über je 12 Stunden, wenn mit der Analyse reinitialisiert wurde; Grün: Fehler der langen (120 Stunden) Vorhersage, wenn mit der Analyse am 16.10.2007 reinitialisiert wurde. Schon wenige Assimilationsschritte führen zu einer deutlichen Verbesserung, die über mehrere Tage anhält. Allerdings lassen sich durch häufige Assimilation immer noch Fortschritte erzielen.

Validierung mit unabhängigen Daten

Ein wichtiger Bestandteil der durchgeführten Arbeiten war die Validierung mit unabhängigen Daten. Hierzu wurden In-Situ Daten des MARNET-Netzwerks verwendet das vom BSH betrieben wird. Tabelle 1 zeigt RMS-Fehler und Bias für 6 MARNET-Stationen über ein Jahr von Oktober 2007 bis September 2008. Der RMS-Fehler wird durch die Datenassimilation mit dem LSEIK-Filter an allen Stationen deutlich reduziert. Die Reduzierung beträgt zwischen 0,2°C und 0,3°C mit Ausnahme der Station „Darß“, wo der RMS-Fehler um 0,45°C reduziert wird. Im Vergleich zu den Satelliten SST-Daten (Spalte „NOAA“) wird deutlich, dass der RMS-Fehler mit dem LSEIK-Filter an allen Stationen mit Ausnahme Darß unter dem Fehler der Satellitendaten liegt. D.h., durch die Kombination der Informationen aus Modell und Satellitendaten wird letztendlich ein Temperaturfeld erzeugt das einen geringeren Fehler als

die beiden primären Informationsquellen aufweist. Ein analoges Verhalten ist beim Bias zu beobachten. Die Amplitude des Bias wird durch die Datenassimilation wesentlich reduziert und liegt an den meisten Stationen unter dem Bias der Satellitendaten.

Station	RMS			Bias		
	BSHcmod	LSEIK	NOAA	BSHcmod	LSEIK	NOAA
Arkona	0,88	0,58	0,61	0,29	0,0	-0,04
Darß	1,27	0,81	0,69	0,55	0,17	-0,01
Kiel	0,79	0,49	0,61	0,13	-0,07	-0,08
Fehmarn	0,63	0,43	0,56	0,16	-0,03	-0,16
Ems	0,67	0,45	0,49	-0,33	-0,20	-0,17
Dt. Bucht	0,97	0,53	0,57	0,34	0,03	-0,27

Tabelle 1: Abweichungen von den MARNET SST Daten (in °C).

Abbildung 18 zeigt den zeitlichen Verlauf der Oberflächentemperatur an den Stationen Arkona Becken und Darß. Verglichen werden die MARNET-Daten mit dem Modell ohne Datenassimilation und die Vorhersage über 12-Stunden bei Assimilation mit dem SEIK-Filter. Hierbei ist vor allem auffällig, dass die Datenassimilation die Abweichung der Oberflächentemperatur vor allem beim Einsetzen größerer Fehler im Frühjahr deutlich reduziert.

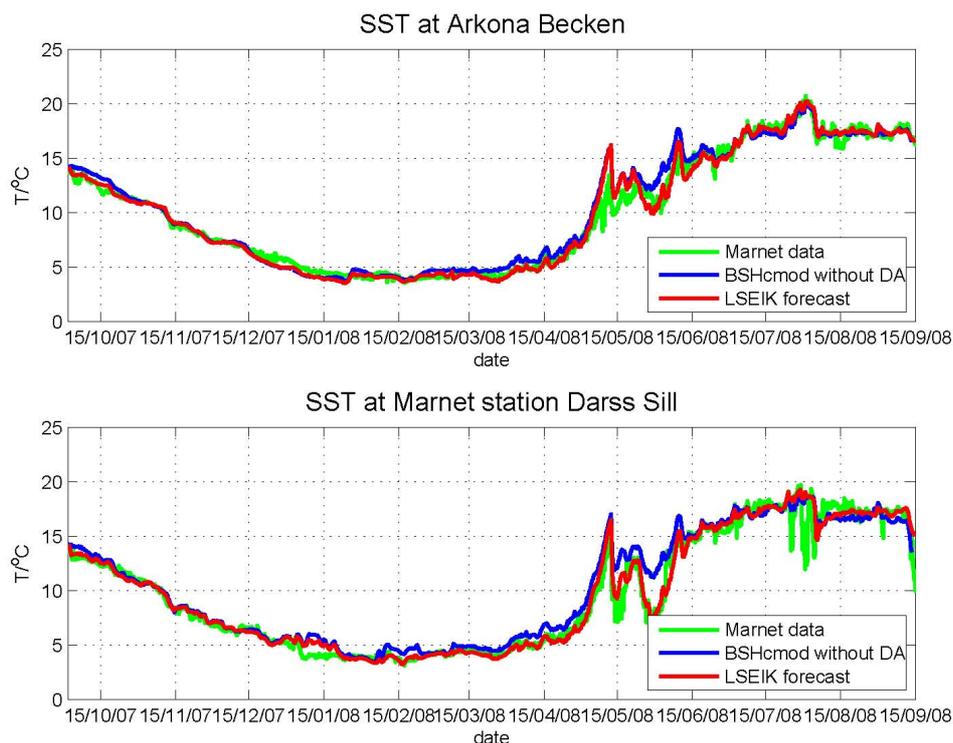


Abbildung 18: Oberflächentemperatur an den MARNET-Stationen Darß (Darss Sill) und Arkona Becken. Grün: MARNET-Daten; Blau: Modellsimulation ohne Datenassimilation; Rot: LSEIK-Vorhersage über 12 Stunden bei Analyse mit exponentieller Datengewichtung.

Übernahme des Systems in den prä-operationellen Betrieb (AP11)

Als letztes Arbeitspaket des Projekts wurde das Datenassimilationssystem aus BSHcmod und PDAF in den präoperationellen Betrieb übernommen. Da die Computerressourcen am BSH für eine Nutzung des Systems noch unzureichend sind, wurde das Datenassimilationssystem von Seiten des AWI für den prä-operationellen Betrieb vorbereitet und auf dem Hochleistungsrechner des DKRZ (Deutsches Klimarechenzentrum) installiert. Der prä-operationelle Betrieb wurde hier vom BSH durchgeführt.

Übereinstimmung der erzielten Ergebnisse mit den vorgegebenen Zielen

Die erzielten Ergebnisse des Vorhabens stimmen mit den vorgegebenen Zielen überein. Zunächst ermöglicht das entwickelte und validierte Datenassimilationssystem auf BSHcmod und PDAF eine deutliche Steigerung des Produkts für Wassertemperatur. Die Eisbeckung ließ sich durch die Assimilation von Oberflächentemperaturdaten ebenfalls verbessern, wobei sich allerdings weitere Untersuchungen bzgl. der systematischen Abweichung der Wassertemperatur im Modell in der Eisregion gezeigt haben. Diese Ergebnisse zeigen das Potential mit Hilfe der Datenassimilation die maritime Dienstleitung des BSH und die Überwachung der marinen Umwelt zu verbessern. Ein weiteres Ziel war der Aufbau von Expertise bzgl. Datenassimilation im BSH. Dieses Ziel konnte zum einen durch die Entwicklung des Datenassimilationssystems erreicht werden. Ferner wurden in Nutzerschulungen Mitarbeiter des BSH in die Grundlagen der Datenassimilation und die detaillierte Verwendung der Datenassimilationsumgebung PDAF eingeführt. Durch das durchgeführte Vorhaben wird ebenfalls die Fähigkeit zur aktiven Mitgestaltung der GMES *Marine Core* und *Downstream Services* gestärkt.

III. Zahlenmäßiger Nachweis

Bis zum 15.04.2011 entstandene Gesamtkosten	
Position	Ausgaben (€)
0837	170.060,19
Personal- gemeinkosten	27.890,18
0847	3.848,06
0838	9.447,85
0860	7.385,18
Gesamt	218.631,46

IV. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die geleisteten Arbeiten dienten der Entwicklung und Validierung eines Datenassimilationssystems auf Basis des Modells BSHcmod und der Datenassimilationssoftware PDAF. Die geleisteten Arbeiten in den ersten drei Quartalen des Projekts dienten der Implementierung des Datenassimilationssystems sowie der Vorbereitung seiner Nutzung in den Arbeitspaketen in denen Datenassimilation mit den Zielen der Analyse und der Vorhersage betrieben wurde. Die notwendigen Arbeiten bestanden in der Portierung des Modells BSHcmod auf Computer

des AWI, der Laufzeitanalyse und -optimierung des Modells sowie der Kombination des BSHcmod mit PDAF zum Datenassimilationssystem.

Nach diesen vorbereitenden Arbeiten musste die Güte des Modells ohne Datenassimilation studiert werden um Gütekennzahlen zu definieren. Außerdem wurde ein Ensemble von Modellzuständen für die Anwendung der Filteralgorithmen erzeugt. Parallel zu diesen Arbeiten wurde mit der Anwendung der Datenassimilation mit dem Ziel der verbesserten Analyse begonnen. Diese Arbeiten benötigen eine Vielzahl von Modellläufen, sowie eine detaillierte Untersuchung der erzeugten Modellfelder, die vorwiegend mit Matlab durchgeführt wurde. Die Arbeiten erstreckten sich über einen Zeitraum von etwa anderthalb Jahren und führten zur Charakterisierung der Güte unterschiedlicher Datenassimilationsverfahren sowie der Auswahl des optimalen Verfahrens für die weiteren Arbeiten. Auf Basis dieser Ergebnisse wurde mit der Anwendung der Datenassimilation mit dem Ziel der Vorhersage begonnen. Mit Hilfe zahlreicher Modellläufe sowie deren Analyse wurde die Datenassimilationsmethodik weiter verfeinert und damit die Grundlage für dessen operationelle Nutzung gelegt. Die Untersuchung des Verhaltens der Datenassimilationsverfahren ist sehr zeitaufwändig. Sein Umfang wurde letztendlich durch die Länge des Vorhabens bestimmt. Ein größerer Zeitumfang hätte eine detailliertere Untersuchung und damit mit großer Wahrscheinlichkeit eine weitere Verbesserung des Assimilationsverhaltens ermöglicht.

Das Projekt wurde abgeschlossen mit der Überführung des Datenassimilationssystems in die prä-operationelle Nutzung. Hierzu musste das Datenassimilationssystem für die operationelle Nutzung vorbereitet und auf einem Hochleistungsrechner des DKRZ installiert. Danach wurde die Nutzung durch eine Projektmitarbeiterin des BSH von Seiten des AWI unterstützt.

V. Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit des Ergebnisses

Das durchgeführte Vorhaben bildet die Basis für die Assimilation von weiteren verfügbaren Messungen in das operationelle Modell des BSH. Die im Vorhaben durchgeführte Assimilation von SST-Daten wird unmittelbar die vom BSH produzierten Produkte, vor allem die der Meerestemperatur, verbessern und kommt damit allen BSH-Kunden direkt zu Gute. Ferner hat die Datenassimilation auf alle auf dem Zirkulationsmodell aufbauenden Komponenten des BSH-Modellsystems, wie Drift- und Ästuarmodelle, eine positive Auswirkung. Insbesondere wird auch die beim BSH in der Entwicklung befindliche bio-geo-chemische Modellkomponente durch den Nutzen von Fernerkundungsdaten an Realität gewinnen. Aus diesem Grund wurde bei der Entwicklung des Datenassimilationssystems auf dessen Erweiterbarkeit und Flexibilität besonderer Wert gelegt.

Mit der deutlichen Laufzeitverbesserung des BSH-Modells wurde schon zu einem frühen Zeitpunkt ein direkter Nutzen für den operationellen Betrieb des Modells am BSH erreicht.

Neben der Verbesserung der operationellen Produkte des BSH und der Laufzeitverbesserung, ist ein wichtiger Effekt des Projektes der Aufbau von Expertise bezüglich der Datenassimilation im BSH, die Stärkung der Kooperation zwischen AWI und BSH, sowie einer Stärkung der Expertise der AWI im Bereich der küstennahen Datenassimilation. Dies ist ein wesentlicher Beitrag zur Stärkung der deutschen Komponente beim Aufbau der Marine Core und Downstream Services.

VI. Stand von Wissenschaft und Technik

Zu Beginn des Vorhabens existierten bereits operationelle Vorhersagesysteme für unterschiedliche Regionen im Ozean. Allerdings gab es noch keine etablierten Systeme für die im Projekt verwendeten räumlichen Skalen von wenigen Kilometern im Bereich der Nord- und Ostsee. Während des Vorhabens wurde das Projekt MyOcean (EU-FP7 Integrated

Project) begonnen, das sich auf den Bereich der GMES Marine Core Services konzentriert. Da im Rahmen von MyOcean erst mit der prä-operationellen Vorhersage einschließlich Datenassimilation bei unterschiedlichen Instituten begonnen wurde, gibt es hierzu noch keine zitierbaren Publikationen.

VII. Veröffentlichungen

Projektergebnisse wurden zunächst in den beiden Jahresberichten des Projekts DeMarine Umwelt öffentlich zugänglich gemacht:

Losa, S., Nerger, L., Janjic, T., Schröter, J., Janssen, F. (2010). Entwicklung und Implementierung eines Verfahrens zur Datenassimilation von Fernerkundungsdaten in das operationelle Model. Operationalisierung mariner GMES-Dienste in Deutschland. BSHcmod DeMarine Umwelt Jahresbericht 2009-2010, Seiten 57 – 68.

Nerger, L., Schröter, J., Janssen, F. (2009). Entwicklung und Implementierung eines Verfahrens zur Datenassimilation von Fernerkundungsdaten in das operationelle Model. BSHcmod DeMarine Umwelt Jahresbericht 2008-2009, Seiten 53 – 62.

Die Ergebnisse wurden ferner auf mehreren internationalen Tagungen vorgestellt. Im einzelnen waren dies:

Losa, S., Schröter, J., Nerger, L., Janjic, T., Danilov, S., Janssen, F. (2010). Developing a data assimilation system for operational BSH circulation model of North and Baltic Seas: Local SEIK implementation for NOAA SST data assimilation, MyOcean Science Days, Toulouse, France, 1-2 December 2010.

Nerger, L., Losa, S., Schroeter, J., Hiller, W., Janssen, F.(2010).Towards Operational Data Assimilation in the North and Baltic Seas with the Parallel Data Assimilation Framework, MyOcean Science Days, Toulouse, France, 1-2 December 2010.

Losa, S., Schröter, J., Janjic, T., Nerger, L., Danilov, S., Janssen, F. (2010). Assimilating NOAA SST data into BSH operational circulation model for North and Baltic Seas, COSPAR 2010, Bremen, 18-25 July 2010.

Losa, S., Schröter, J., Nerger, L., Janjic, T., Danilov, S., Janssen, F. (2010). Development of a data assimilation system for BSHcmod operational model of the North and Baltic Seas, EGU, Vienna, 2-8 May 2010.

Dorendorf, S., Neumann, A., Baschek, B., Stelzer, K., Schröter, J. (2010). Operational Remote Sensing Services for Environmental Monitoring of German Coastal Waters: The GMES Research Project DeMarine-Environment, Ocean from Space, Venice, 26-30 April 2010.

Nerger, L., W. Hiller, J. Schröter (2010). Scalable sequential data assimilation with the Parallel Data Assimilation Framework PDAF, Ocean Sciences Meeting, Portland, Oregon, USA, 20-26 February 2010.

Nerger, L., Janjic, T., Hiller, W., Schröter, J. (2009). SEIK - the unknown ensemble Kalman filter, 5th WMO Symposium on Data Assimilation, Melbourne, Australia, 5-9 October, 2009.

Nerger, L. (2009). Ensemble Data Assimilation, NERC FREE (Flood Risk From Extreme Events) Ensemble Workshop, Reading, UK, 23-24 September, 2009.

Nerger, L. (2008) Sequential data assimilation on high-performance computers with the Parallel Data Assimilation Framework. 13th ECMWF Workshop on High Performance

Computing in Meteorology, Reading, UK, 3-7 November, 2008.

Nerger, L. (2008) Entwicklung und Implementierung eines Verfahrens zur Datenassimilation von Fernerkundungsdaten in ein operationelles Modell für Nord- und Ostsee. Conference: DeCOVER, DeMARINE und DeSECURE - Deutsche Schnittstellenprojekte zu GMES, Bonn, Germany. 18-19 June, 2008.

Außerdem wurden Projektergebnisse den potentiellen Nutzern auf zwei DeMarine Umwelt Nutzerworkshops am BSH in Hamburg vorgestellt:

2. DeMarine Umwelt Nutzerworkshop, BSH, Hamburg, 27. November 2008,
3. DeMarine Umwelt Nutzerworkshop, BSH, Hamburg, 16.-17 Juni 2010.

Abschließend ist noch geplant die Ergebnisse der Datenassimilationsstudien in einer wissenschaftlichen Zeitschrift zu veröffentlichen. Hierbei wird vor allem die Abhängigkeit der Güte der Datenassimilation von Assimilationszeitpunkt und –Intervall thematisiert werden.

Literatur

- DICK, S. (1997): Operationelles Modellsystem für Nord- und Ostsee. In: FORUM, Proc. Der Fachtagung 'EDV im Seeverkehr und maritimen Umweltschutz', Bremen, S. 22-25.
- DICK, S., KLEINE, E., MÜLLER-NAVARRA, S.H., KLEIN, H. & H. KOMO (2001): The operational circulation model of BSH (BSHcmod) — model description and validation, Berichte des BSH, Nr. 29, 49 S.
- HØYER, J. L. & J. SHE (2007): Optimal interpolation of sea surface temperature for the North Sea and Baltic Sea, *J. Mar. Sys.*, Vol. 65, 1-4, S. 176-189.
- HUBER, K. (1993): Das Operationelle Modell der Nord- und Ostsee DHyG-INFO Nr. 029, 11 - 15.
- GASPARI, G. AND S. E. COHN, S (1999): Construction of correlation functions in two and three dimensions, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 125, 723-757.
- NERGER, L., W. HILLER & J. SCHRÖTER (2005a) A Comparison of Error Subspace Kalman Filters. *Tellus*, Vol. 57A, S. 715-735.
- NERGER, L., W. HILLER & J. SCHRÖTER (2005) PDAF - The Parallel Data Assimilation Framework: Experiences with Kalman Filtering, in *Use of High Performance Computing in Meteorology - Proceedings of the 11th ECMWF Workshop / Eds. W. Zwifflhofer, G. Mozdzynski*. Singapore: World Scientific, S. 63-83.
- NERGER, L., S. DANILOV, W. HILLER, AND J. SCHRÖTER (2006): Using sea level data to constrain a finite-element primitive-equation model with a local SEIK filter. *Ocean Dynamics*, Vol. 56, S. 634-649.
- NERGER, L., S. DANILOV, G. KIVMAN, W. HILLER & J. SCHRÖTER (2007) Data Assimilation with the Ensemble Kalman Filter and the SEIK Filter applied to a Finite Element Model of the North Atlantic. *Journal of Marine Systems*, Vol. 65, S. 288-298.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel DeMarine-Umwelt Schlussbericht, Teilprojekt 5: Entwicklung und Implementierung eines Verfahrens zur Datenassimilation von Fernerkundungsdaten in ein operationelles Modell für Nord- und Ostsee	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Schröter, Jens; Nerger, Lars; Losa, Svetlana; Janjic, Tijana	5. Abschlussdatum des Vorhabens 15. April 2011
	6. Veröffentlichungsdatum geplant
	7. Form der Publikation
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Alfred Wegener Institut für Polar und Meeresforschung Am Handelshafen 12 27570 Bremerhaven	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen ¹⁾ 50EE0814
	11. Seitenzahl 21
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) 53107 Bonn	13. Literaturangaben 9
	14. Tabellen 2
	15. Abbildungen 18
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung Das BSH betreibt seit vielen Jahren ein operationelles Modellsystem für die Vorhersage in der Nord- und Ostsee. Die Möglichkeiten der direkten Verknüpfung von Beobachtungen mit Modellsimulationen im Sinne der Datenassimilation zur Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit wurde bisher nicht genutzt. Zur Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit soll die Kompetenz des BSH mit der des AWI im Bereich der Datenassimilation kombiniert werden um ein Datenassimilationssystem auf Basis des operationellen Modells des BSH (BSHcmod) zu entwickeln. Hierzu wurde das Modell BSH mit der Datenassimilationssoftware PDAF des AWI kombiniert. Die Datenassimilation wurde zur Assimilation von Satellitendaten der Meeresoberflächentemperatur angewandt. In ausführlichen Untersuchungen wurde das Datenassimilationssystem für eine optimale Leistung konfiguriert und in einem prä-operationellen Umfeld getestet. Entstanden ist damit ein operationell einsetzbares Datenassimilationssystem für die Nord- und Ostsee mit dem die Qualität von Vorhersageprodukten deutlich gesteigert werden kann.	
19. Schlagwörter Datenassimilation, Vorhersage, Nordsee, Ostsee	
20. Verlag	21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Report
3. title DeMarine-Umwelt Final Report, sub-project 5: Development and implementation of a method vor data assimilation of remote sensing data into an operational model for the North and Baltic Seas	
4. author(s) (family name, first name(s)) Schröter, Jens; Nerger, Lars; Losa, Svetlana; Janjic, Tijana	5. end of project 15 April 2011
	6. publication date pending
	7. form of publication
8. performing organization(s) (name, address) Alfred Wegener Institut für Polar und Meeresforschung Am Handelshafen 12 27570 Bremerhaven Germany	9. originator's report no.
	10. reference no. 50EE0814
	11. no. of pages 21
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMW) 53107 Bonn	13. no. of references 9
	14. no. of tables 2
	15. no. of figures 18
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)	
18. abstract The German Maritime and Hydrographic Agency (BSH) operates since many years an operational model system for the prediction in the North and Baltic Sea. By now, the possibility of improving the prediction skill by directly combining observations with model simulations in terms of Data Assimilation has not been used. In order to improve the prediction skill, the competence of the BSH is combined with the competence of the Alfred Wegener Institute (AWI) in the field of data assimilation to develop a data assimilation system based on the operational model of the BSH (BSHcmod). The data assimilation system is obtained by combining the model BSHcmod with the data assimilation software PDAF developed at AWI. The data assimilation is applied to satellite data of the sea surface temperature. Detailed studies served to configure the data assimilation system for optimal performance and to test the system in a pre-operational context. The work results in a data assimilation system for the North and Baltic Seas that is suited for operational use and can significantly improve the prediction skill of the operational model.	
19. keywords Data Assimilation, Prediction, North Sea, Baltic Sea	
20. publisher	21. price