



Workshop “Der Copernicus-Dienst zur Überwachung der Meeresumwelt in Deutschland – Möglichkeiten erfahren, Erfahrungen austauschen, Copernicus gestalten!”, BSH, Hamburg, Germany, May 22-23.2025

PDAF Parallel
Data Assimilation
Framework

Kombination von Satellitendaten und Modellierung zur verbesserten Vorhersage von Ökosystem-Indikatoren (EU-Projekt SEAMLESS)

Lars Nerger

Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven



This work has received funding from the European Union’s Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 101004032.

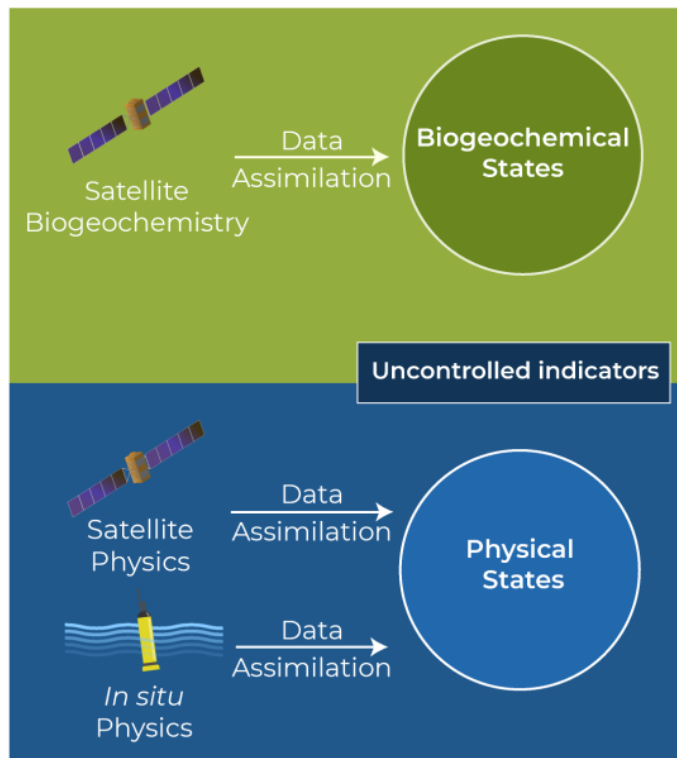


EU-Projekt SEAMLESS



“Services based on Ecosystem data AssiMiLation: Essential Science and Solutions”

CMEMS current approach



Projektziel: Entwicklung neuer Indikatoren des Klimawandels und der Ernährungssicherheit in marinen Ökosystemen für den marinen Copernicus-Dienst (CMEMS)

Kooperation von 6 Partnern, 3 davon direkt involviert in CMEMS

Fokus hier auf Beiträge des Alfred-Wegener-Instituts

PML

Plymouth Marine
Laboratory

UGA
Université
Grenoble Alpes



Bolding & Bruggeman



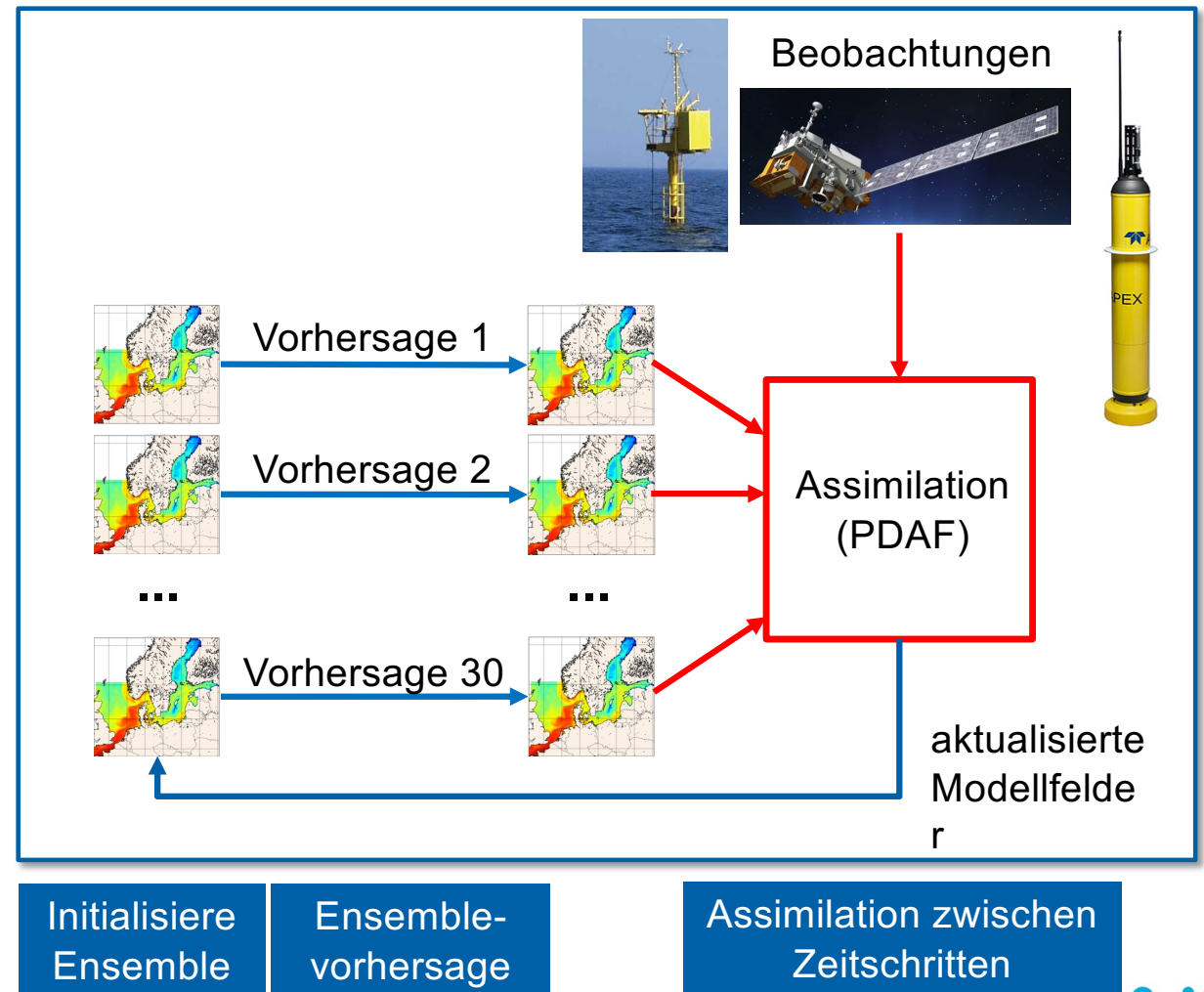
Ensemble-basierte Datenassimilation

Datenassimilation: quantitative und optimale Kombination von Modell und Beobachtungen durch Computeralgorithmus

Ensemble von Modellzuständen zur Darstellung von Zustand und Unsicherheit (Varianz, Kovarianzen)

Modell berechnet Zeitentwicklung für Ensemble bis Zeitpunkt verfügbarer Beobachtungen

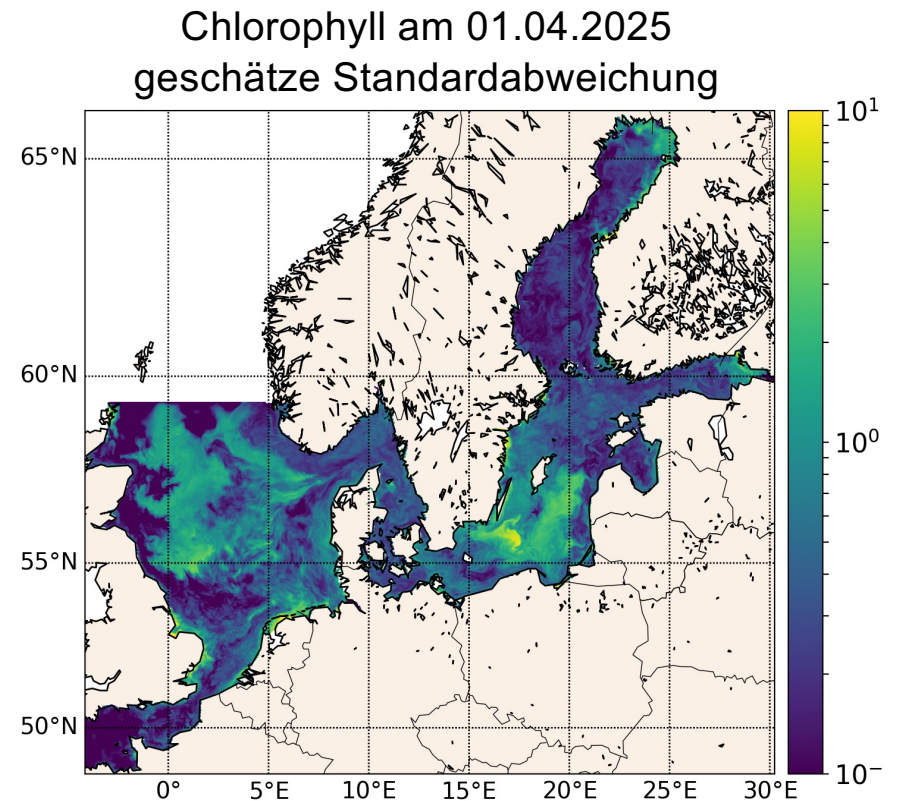
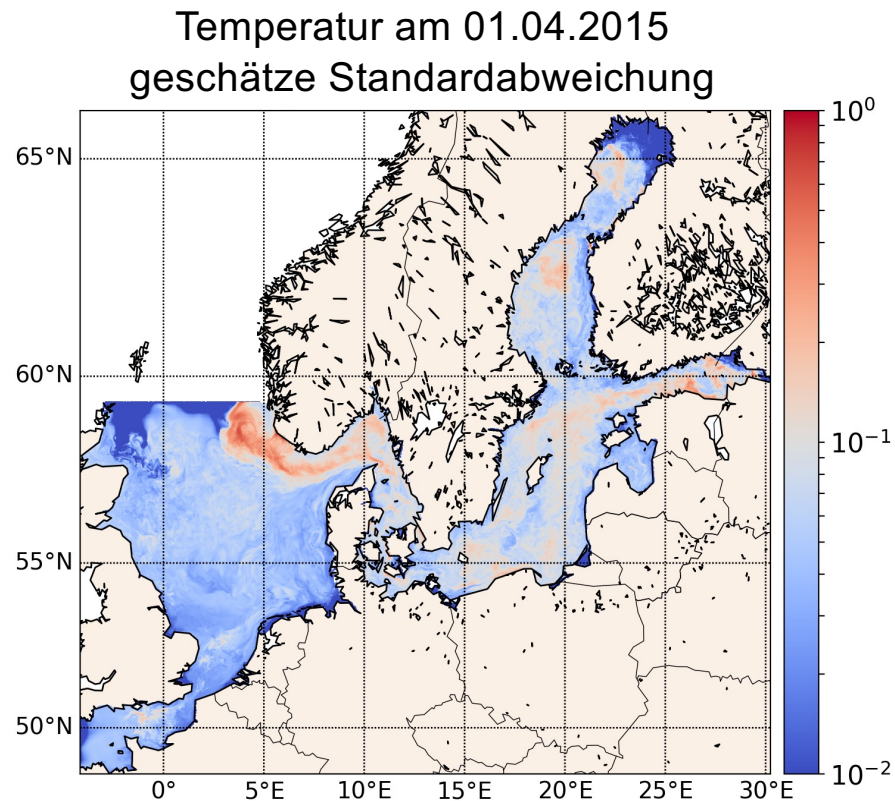
Zum Zeitpunkt wenn Beobachtungen verfügbar sind, werden diese mit der Modellinformation kombiniert.



Unsicherheitsschätzung durch Ensemble



Dynamisches Ensemble liefert Unsicherheiten (und Kovarianzen) für jeden Tag



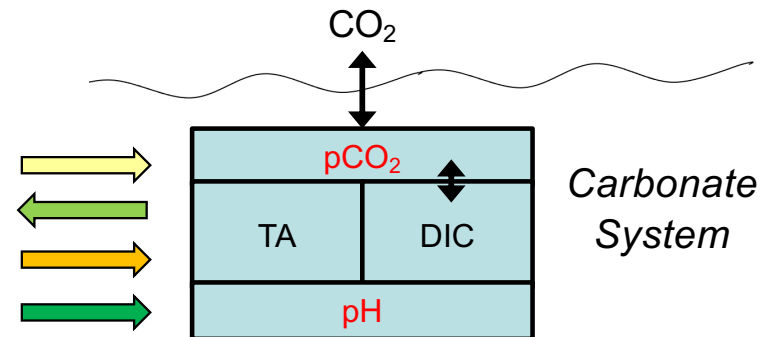
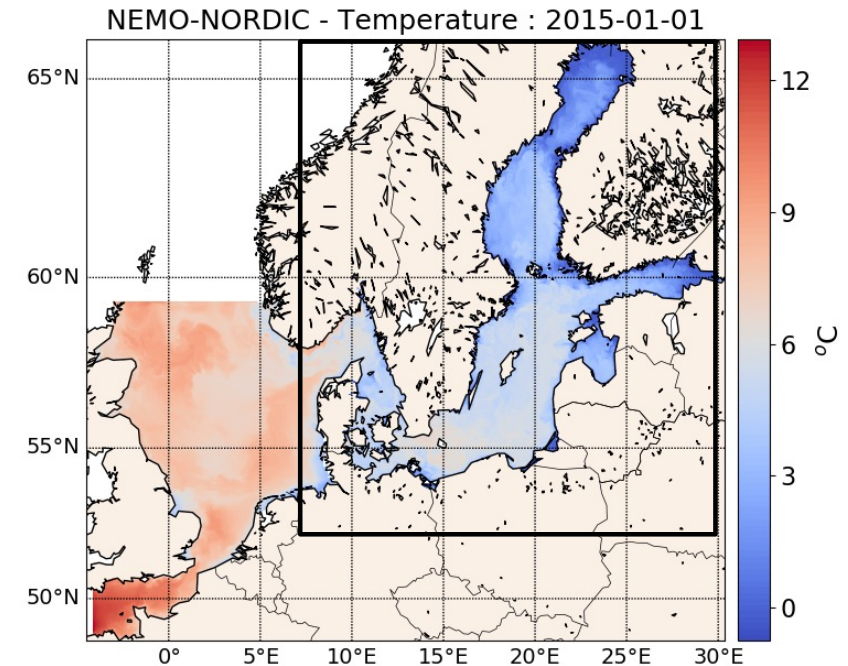
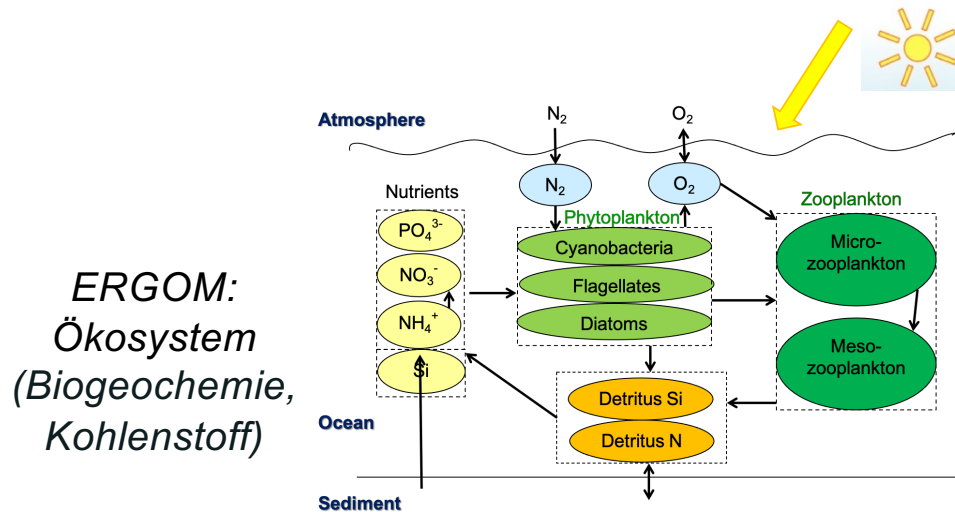
Model: NEMO-Nordic-ERGOM



Operationale Modellkonfiguration des CMEMS Vorsagezentrums für die Ostsee (BAL-MFC)

Modellkonfiguration

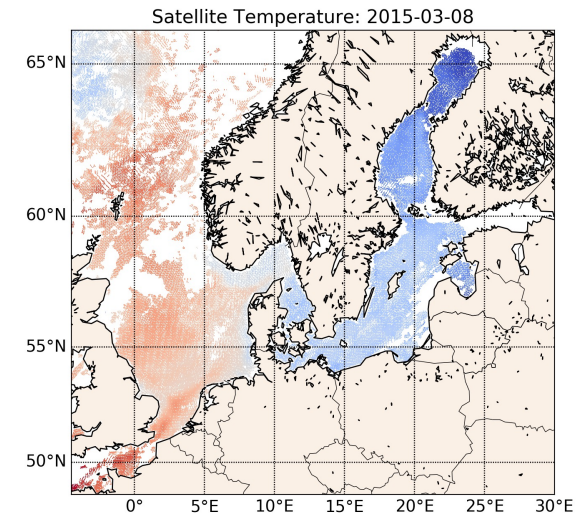
- NEMO-NORDIC
- Auflösung 1 nm (~1.8km, Gitter ~1000x1200)
- 56 Schichten
- Zeitschritt 90 s
- ca. 40 Minuten Laufzeit für 1 Modelltag



Satellitenbeobachtungen

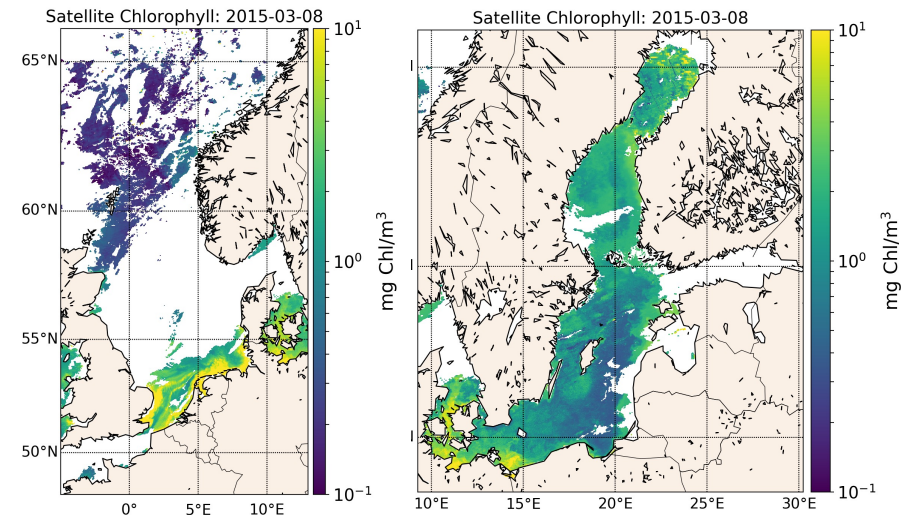
Oberflächentemperatur (SST)

- Level 3 Daten von CMEMS
- Auflösung 0.02°
- täglich verfügbar
- Beobachtungsfehler für Assimilation: 0.8 °C



Chlorophyll (CHL)

- Level 3 Daten von CMEMS (multi-Satellit multi-Jahr)
- Getrennte Datenprodukte für Nordsee und Ostsee
- auflösung 1 km
- Täglich verfügbar
- Beobachtungsfehler: Relativer Fehler von 30%
- Geringere Datenabdeckung als SST



Konfiguration der Datenassimilation

Online gekoppeltes Assimilationssystem

- Erweiterung von NEMO-ERGOM mit Assimilationsfunktionalität
- Keine Neustarts des Modells nötig für Datenassimilation

Beeinflusste Modell-Variablen

- 5 Variablen der Modellphysik
- 16 ERGOM prognostische Variablen + 4 diagnostische Variablen

Assimilations-Konfiguration

- Ensemble-basierter Kalmanfilter LESTKF
- Ensemblegröße: 30
- Tägliche Assimilation ab 1. Februar

Vorhersagen initialisiert durch Datenassimilation: Temperatur

Ensemblesimulation ab 01.01.2025
Datenassimilation ab 01.02.2015

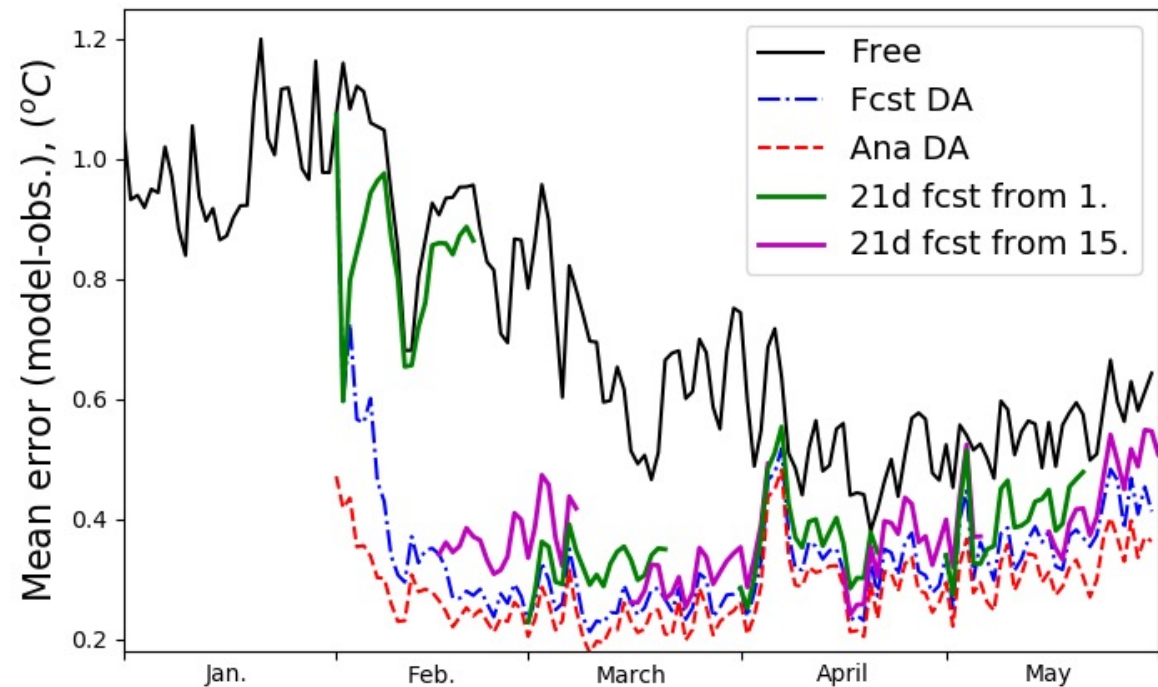
Tägliche Assimilationszyklen

- **Rot:** Direkt nach Kombination mit Beobachtungen
- **Blau:** 24-Stunden Vorhersage des Modells

Vorhersagen über 21 Tage

- **Grün:** Initialisiert am 1. des Monats
- **Magenta:** Initialisiert am 15. des Monats

Temperatur:
RMSe für Ostsee und Nordsee



RMSe: Wurzel des mittleren
quadratischen Fehlers

Effekt der Assimilation auf längere Vorhersagen: SST – 15. März

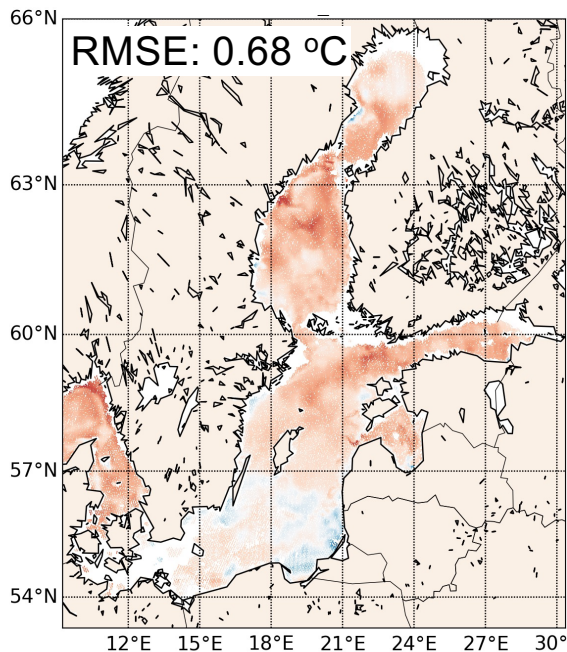
14-Tage Ensemble-Vorhersage initialisiert durch Datenassimilation

- Fehlerreduktion in 1-Tag Vorhersage: 48 %
8-Tage Vorhersage: 43 %
14-Tage Vorhersage: 35 %

Assimilation verbessert
Vorhersagen der
Temperatur

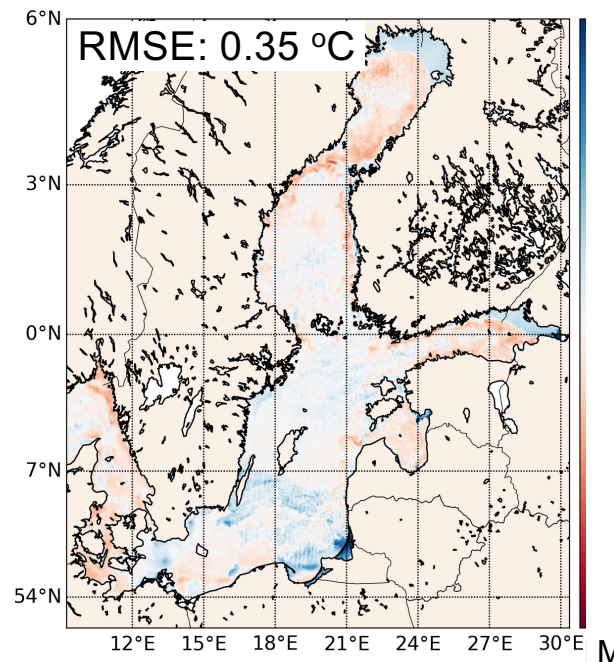
Oberflächentemperatur: Differenz Modell - Beobachtungen

Freier Lauf, 15. März



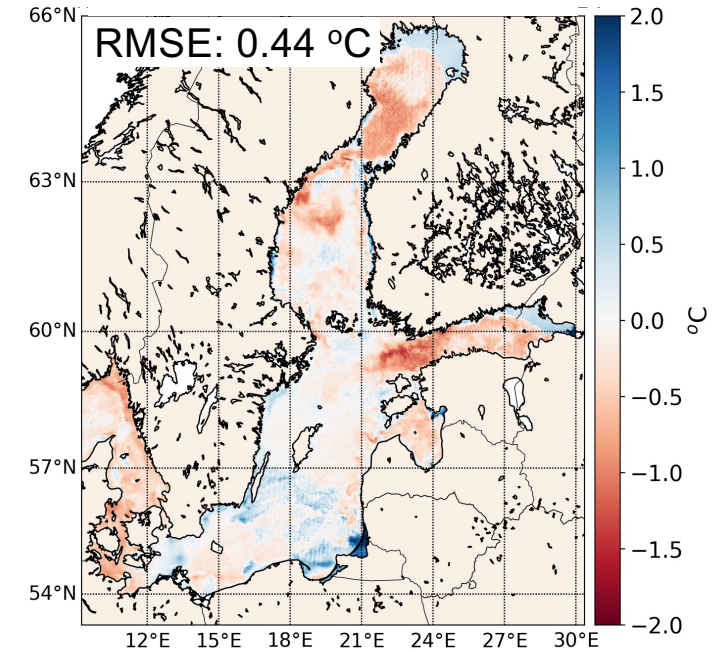
L.

1-Tag Vorhersage (ab 14. März)



M

14-Tage Vorhersage (ab 1. März)



Effekt der Assimilation auf längere Vorhersagen: Chlorophyll – 15. März

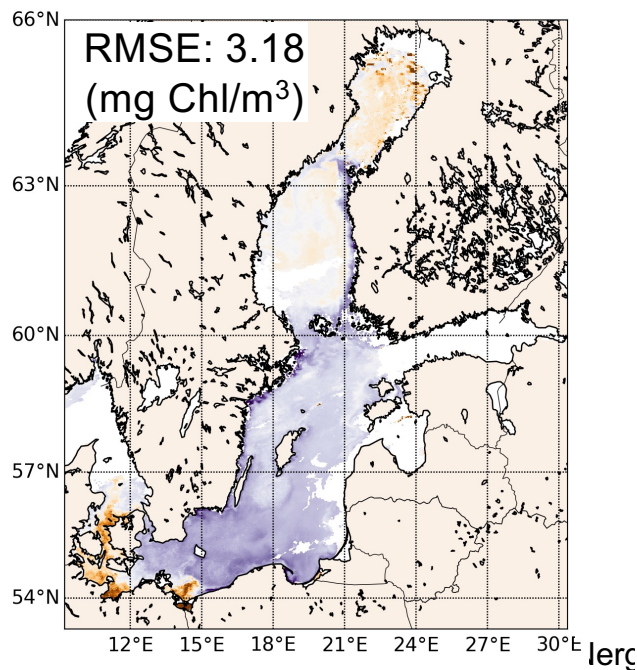
14-Tage Ensemble-Vorhersage initialisiert durch Datenassimilation

- Fehlerreduktion in 1-Tag Vorhersage: 33 %
8-Tage Vorhersage: 20 %
14-Tage Vorhersage: 5 %

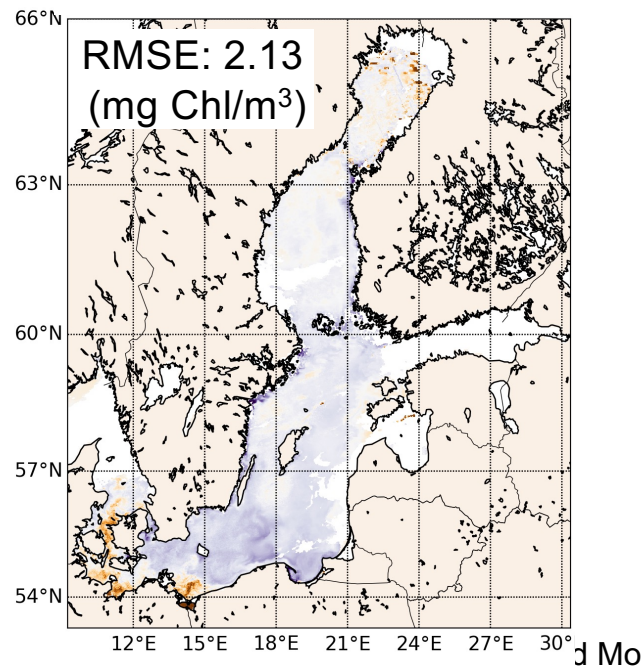
Assimilation verbessert
Vorhersagen der des
Chlorophylls

Chlorophyll-a an Meeresoberfläche: Modell - Beobachtungen

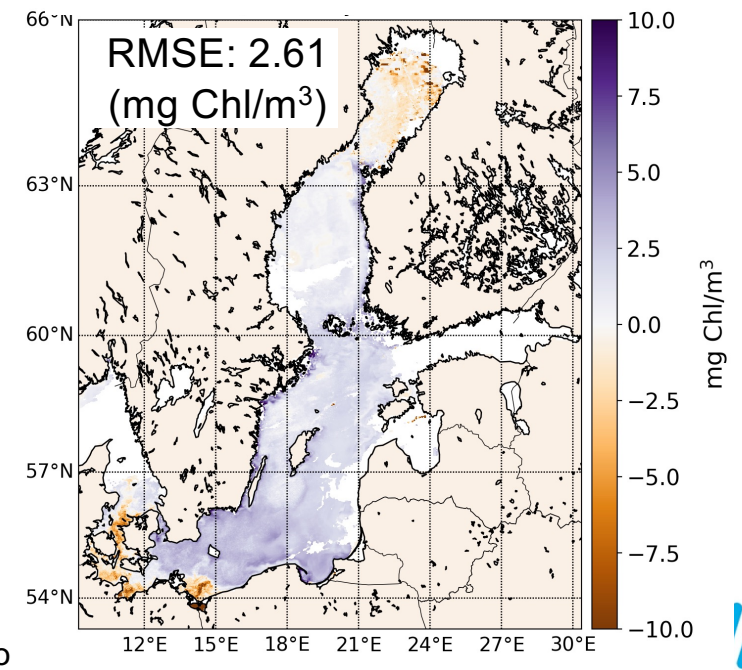
Free run on March 9



24h forecast (init March 8)



8-day forecast (init March 1)



Effekt der Assimilation auf Indikatoren im Ökosystem

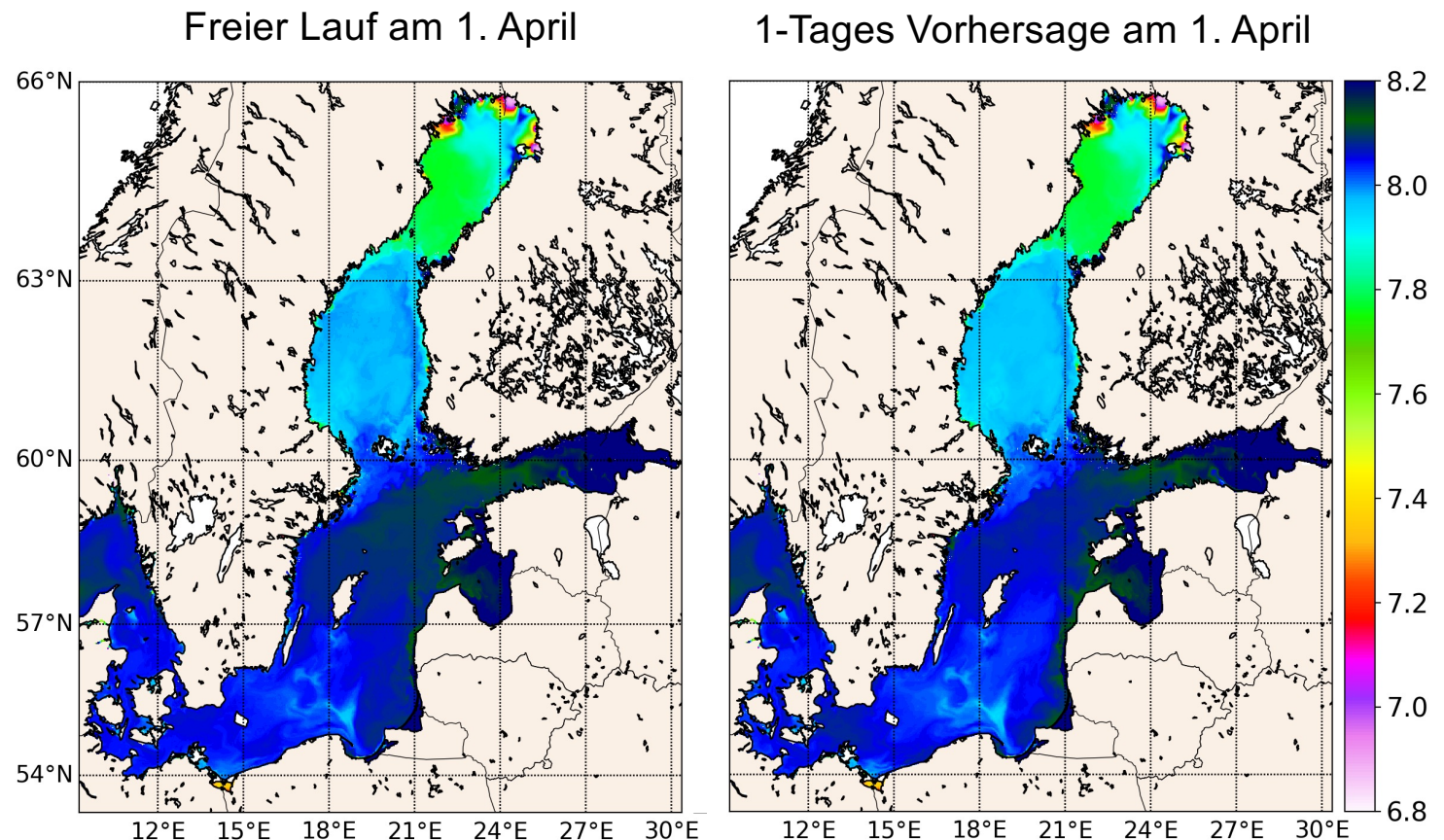
SEAMLESS fokussiert auf einige Ökosystem-Indikatoren, die nicht im CMEMS Portfolioe enthalten waren.

pH

Duetliche Variationen in der Ostsee.

Datenassimilation verringert pH leicht in der zentralen Ostsee und in der Bottensee

Ergebnis nur schwierig zu Verifizieren



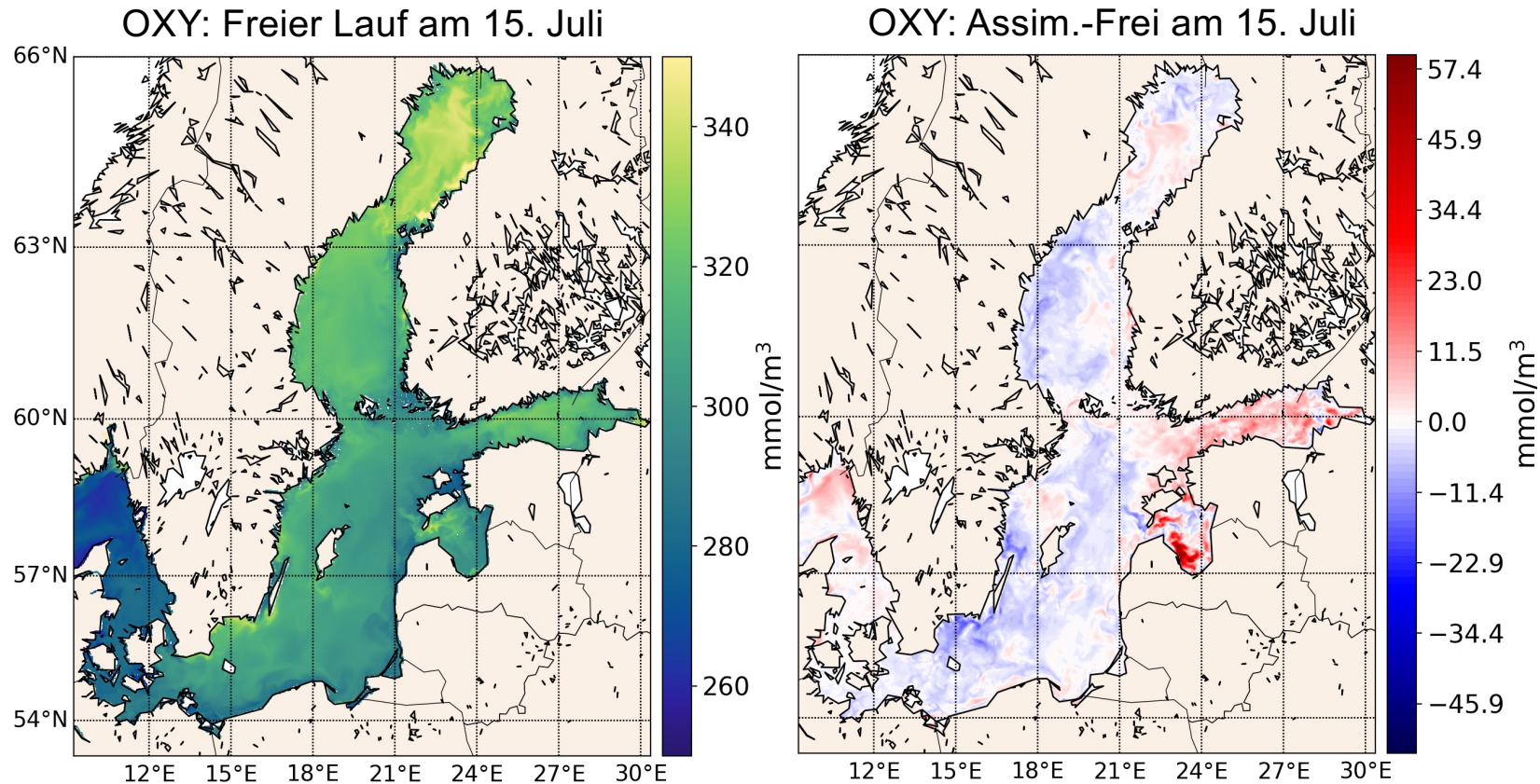
Effekt der Assimilation auf Indikatoren im Ökosystem

Sauerstoff

Assimilation erhöht Konzentrationen im Golf von Finnland und von Riga (östliche Ostsee), ansonsten vorwiegend geringere Konzentration

Daten von Temperatur und Chlorophyll nicht ausreichend um Sauerstoff positive zu beeinflussen

→ in-situ Sauerstoff nötig

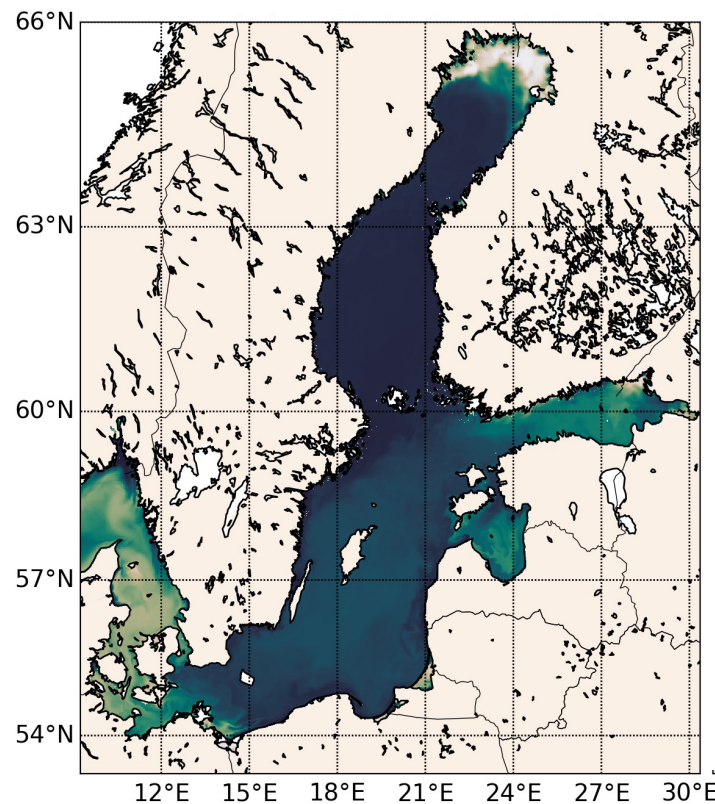


Effekt der Assimilation auf Indikatoren im Ökosystem

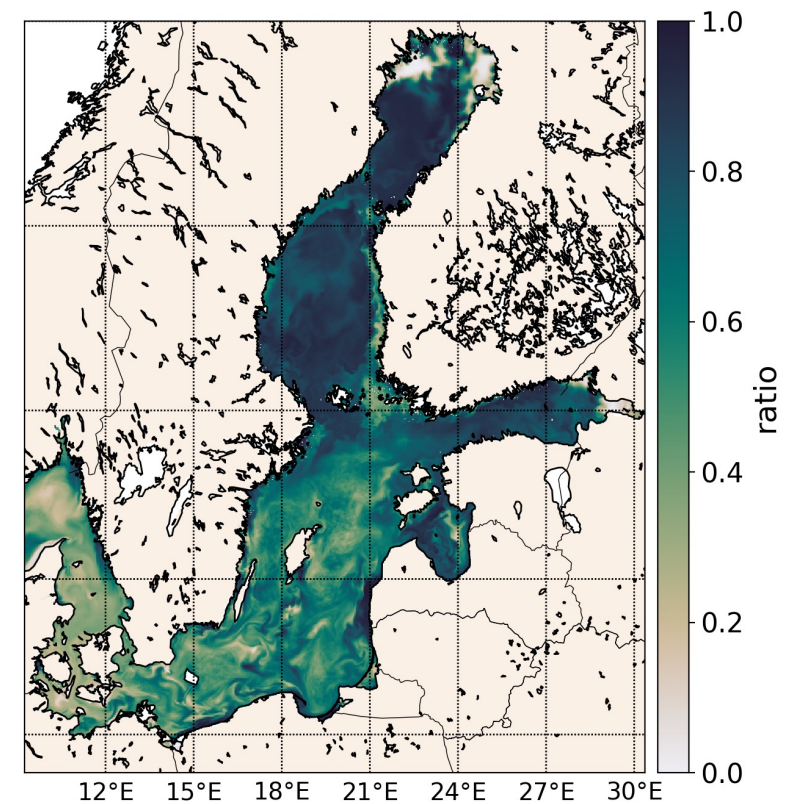
**Zusammensetzung des
Phytoplanktons:
Anteil von Diatomeen
Am gesamten Plankton**

(Schwierig zu Validieren)

Freier Lauf am 1. April



1-Tages Vorhersage am 1. April



SEAMLESS 1D Prototyp

EAT – Ensemble and Assimilation Tool

Flexibles und erweiterbares Software-Paket für Datenassimilation von physikalischen und biogeochemicalischen Variablen in einer 1-dimensionalen Wassersäule

EAT basiert auf etablierter open-source Software:

- **General Ocean Turbulence Model (GOTM)** – Simulation der Physik (Temperatur, Salz, Vermischung) in der Wassersäule
- **Framework for Aquatic Biogeochemical Models (FABM)** – Kombination von GOTM mit weiter Auswahl von biogeochemischen Modellen
- **Parallel Data Assimilation Framework (PDAF)** – Bereitstellung der Datenassimilationsfunktionalität
- Python-basiertes Tool, einfache Installation per Conda:
`conda create -n eat -c bolding-bruggeman -c conda-forge eatpy`

<https://github.com/BoldingBruggeman/eat/>

Zusammenfassung

Datenassimilation kombiniert Modelle mit Beobachtungsdaten

- Korrektur der beobachteten Modellfelder einschließlich Interpolation und Extrapolation, z.B. von der Oberfläche in die Tiefe
- Änderung (oft Korrektur) nicht-beobachteter Modellfelder durch geschätzte Kovarianzen

Anwendung in der Ostsee

- Kombinierte Assimilation von Satellitendaten der Oberflächentemperatur und Chlorophyll verbessert Modellzustand
- Verbesserung der Vorhersagefähigkeit sichtbar auch über 21 Tage
- Modellsystem liefert Ökosystem-Indikatoren als abgeleitete Variablen



This work has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 101004032.

