



Frank Kösters und das MOSSCO - Team

# Makrozoobenthos als Schaltstelle zwischen Geologie, Physik und Biogeochemie der Nord- und Ostsee

Anwendungen des MOSSCO - Modellsystems

KüNO Jahrestagung 2017

Rostock, 11.-12. Oktober 2017

# MOSSCO Team

---

 **Helmholtz-Zentrum  
Geesthacht**

Zentrum für Material- und Küstenforschung

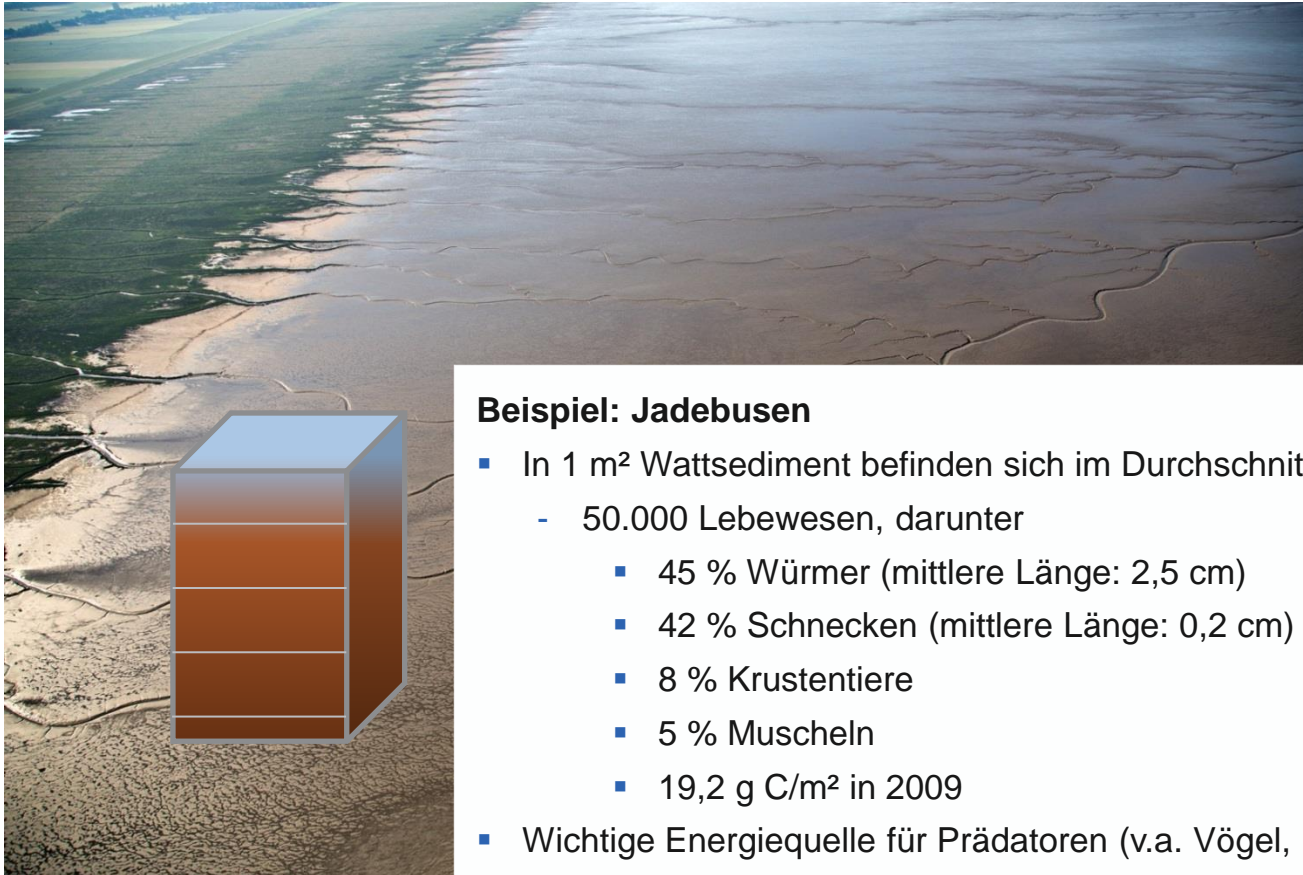
Carsten Lemmen, Onur Kerimoglu, Anja Singer, Kai Wirtz



Peter Holtermann, Knut Klingbeil, Hans Burchard  
Rene Friedland, Gerald Schernewski



Markus Kreuz, Arne Hammrich, Frank Kösters



## Beispiel: Jadebusen

- In 1 m<sup>2</sup> Wattsediment befinden sich im Durchschnitt
  - 50.000 Lebewesen, darunter
    - 45 % Würmer (mittlere Länge: 2,5 cm)
    - 42 % Schnecken (mittlere Länge: 0,2 cm)
    - 8 % Krustentiere
    - 5 % Muscheln
    - 19,2 g C/m<sup>2</sup> in 2009
- Wichtige Energiequelle für Prädatoren (v.a. Vögel, Krustentiere, Fische)
- Veränderung der Biogeochemie und Transporteigenschaften des Sediments (z.B. Bioturbation, Rauheit)

Quellen: Foto des Jadebusens von BAW; Werte für Wattsediment berechnet und gemessen aus Schückel et al. 2015

# Übersicht

---

Die Betrachtung von „*Makrozoobenthos als Schaltstelle zwischen Geologie, Physik und Biogeochemie der Nord- und Ostsee*“ erfolgt als Beispiel für die Arbeiten im Projekt MOSSCO-Synthese

## ■ Werkzeuge

- Rückblick MOSSCO Modellsystem
- Beispielhaftes Modell set-up „Südliche Nordsee“
- Aspekte der Modellvalidierung: Schwebstoff und Chlorophyll

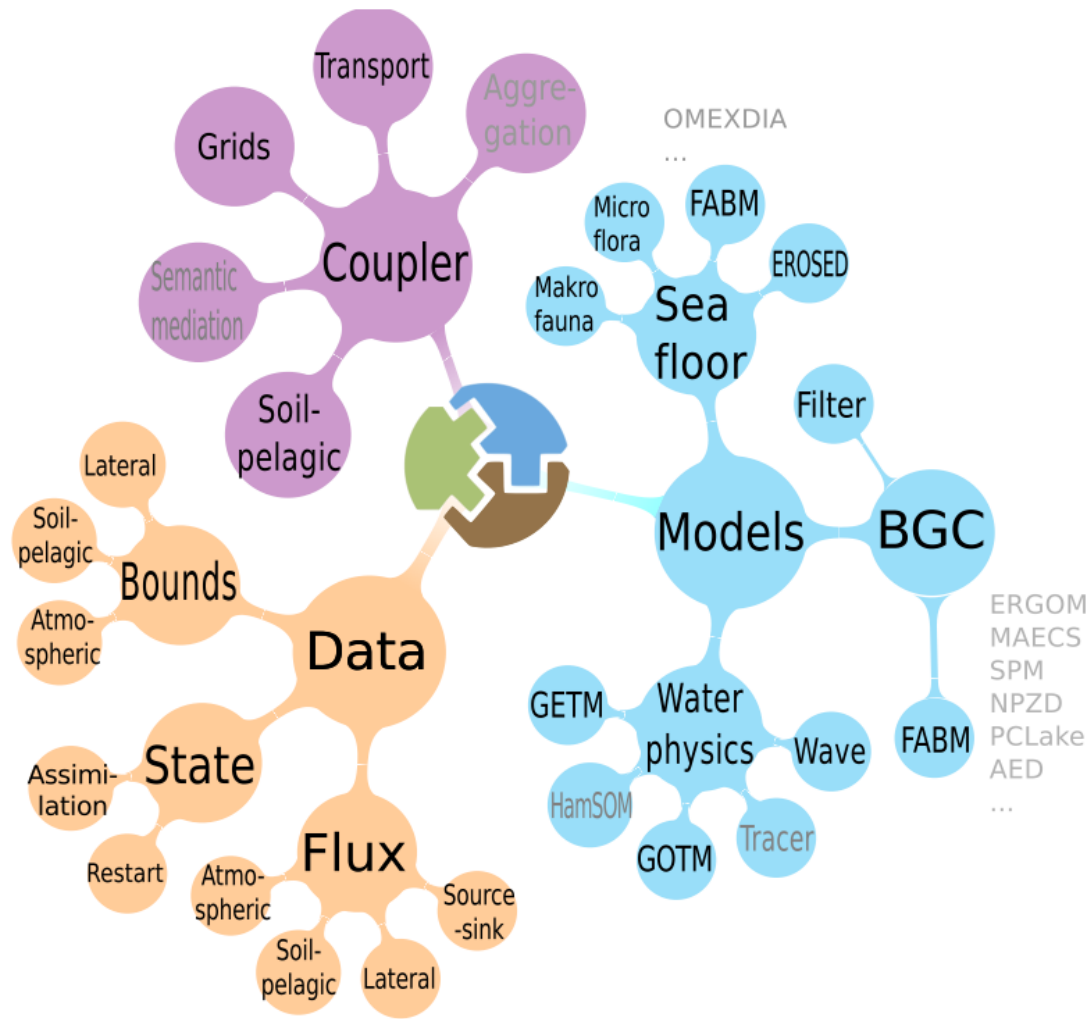
## ■ Kernfragen

- Wirkung von Makrozoobenthos (und Mikrophytobenthos) auf den Sedimenttransport
- Neue Ansätze zur Beschreibung der Verteilung von Makrozoobenthos
- Wirkung von Makrozoobenthos auf die Gewässergüte
- Anwendung auf Gewässergüteparameter

## ■ Nächste Schritte

- Detailliertere Betrachtung, die Deutsche Bucht im Fokus

# Rückblick: Modulares Modellsystem MOSSCO



(aus Lemmen et al., 2017)

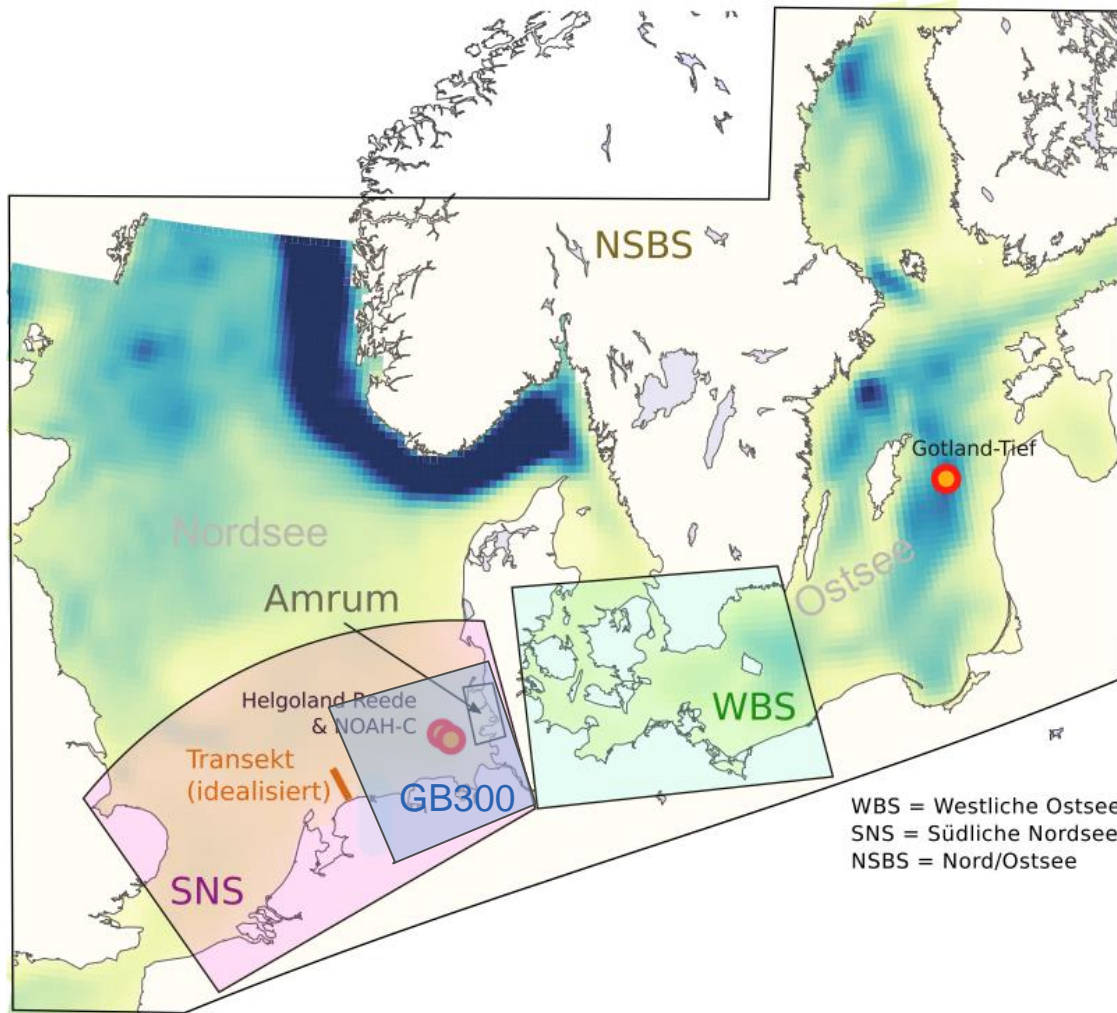
## Modulare Komponenten

- Modellbibliothek (rechter Zweig)
- Ein- und Ausgabewerkzeuge (linker, unterer Zweig)
- Kopplungswerkzeuge (linker, oberer Zweig)

## MOSSCO Synthese

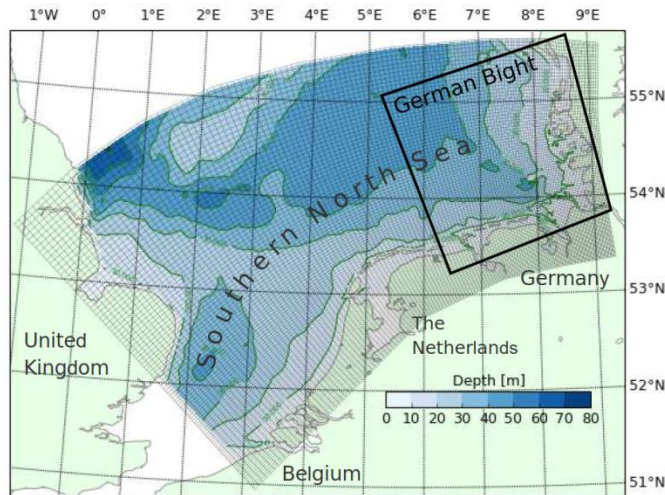
- Anwendung und Konsolidierung der Modellinfrastruktur
- Spezifische Erweiterungen für Makrozoobenthos und Mikrophytobenthos

# MOSSCO Synthese – Übersicht der verfügbaren set-ups

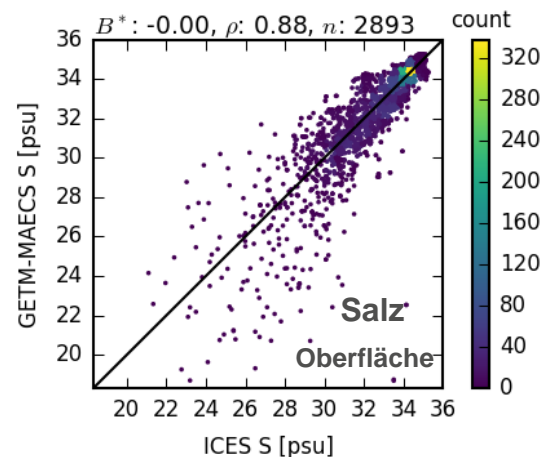
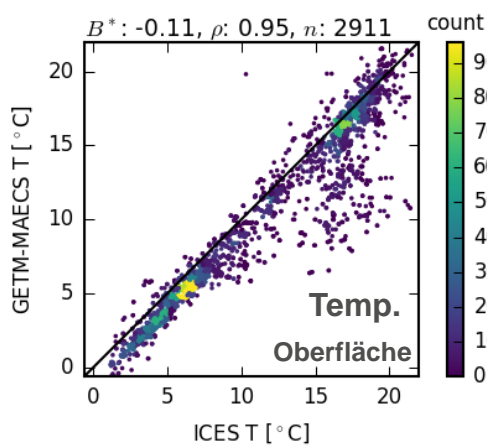


- Fokusgebiete
  - Südliche Nordsee (SNS)
  - Westliche Ostsee (WBS)
  - Deutsche Bucht (GB300)
- Weitere Gebiete
  - Nord-und Ostsee (NSBS)
  - STopP Projektgebiet (Amrum)
- 1D / 2D Modelle
  - Wattenmeer -Transekte
  - Station NOAH-C
  - Station Helgoland-Reede
  - Station Gotland-Tief

# Modellsystem Südliche Nordsee



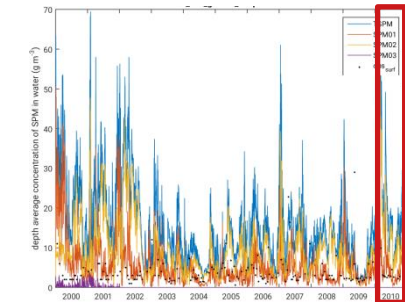
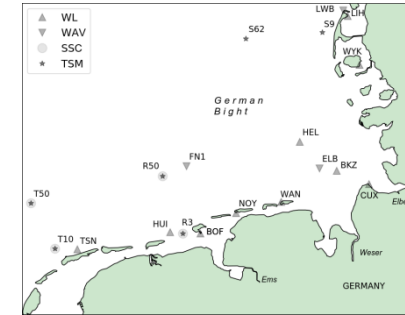
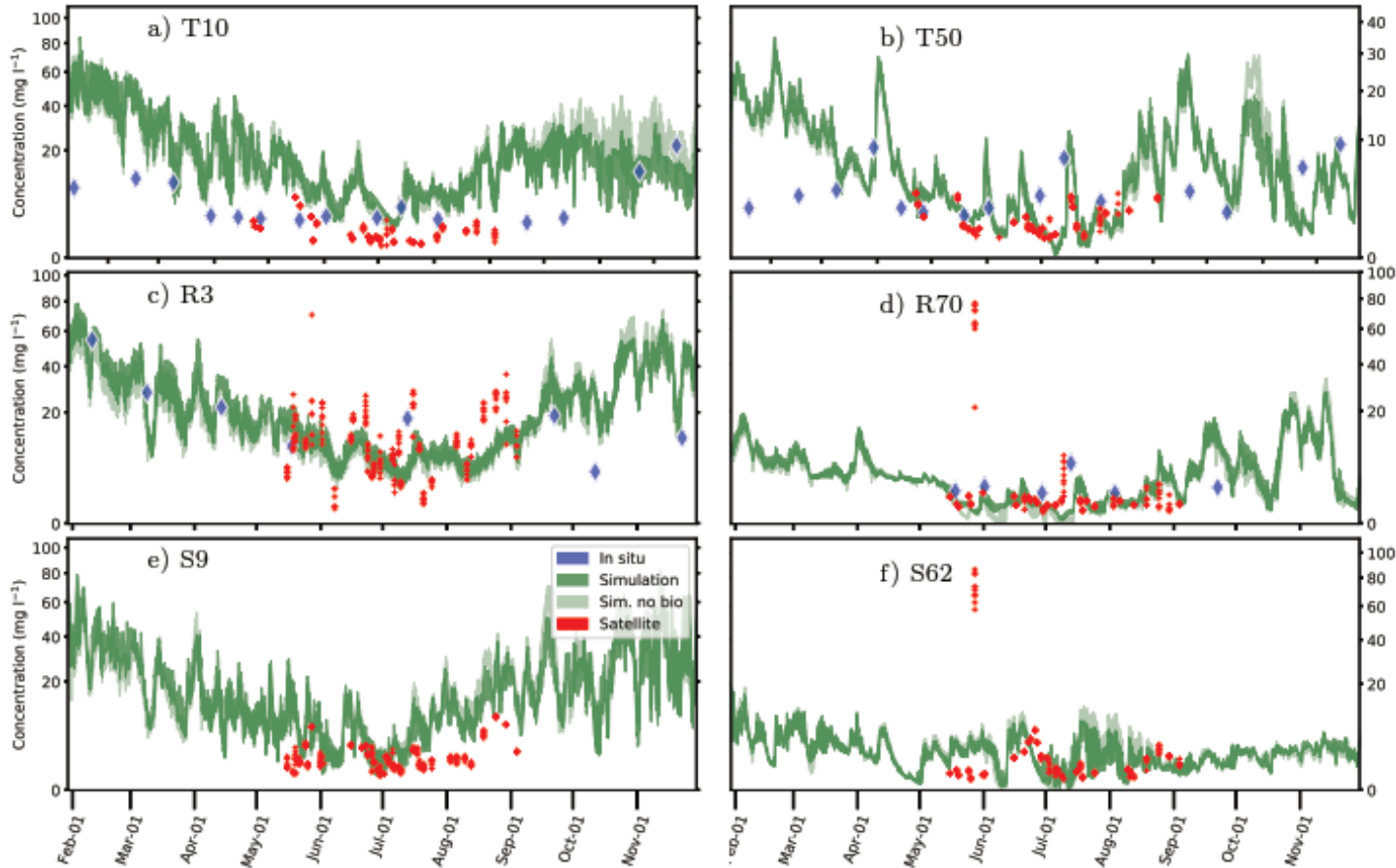
- Gekoppeltes 3D Modellsystem von Atmosphäre, Seegang, Hydrodynamik, Suspensionstransport und Biogeochemie der südlichen Nordsee für Langzeitsimulationen
- Räumliche Auflösung ca. 1,5 - 4,5 km horizontal, 20  $\sigma$ -Schichten vertikal
- Modellvalidierung für 2010 erfolgreich abgeschlossen
  - Wasserstände ausreichend genau
    - $\Delta m_{Thb}$  6% (12 cm)
    - 20 Minuten Phasenverschiebung
    - 40 cm RMSE
  - Seegang bildet lokale Windsee ab, Mittelwerte ausreichend, Maxima werden unterschätzt
  - Temperatur und Salzgehalte bilden Schichtung und Variabilität ab



Details der Modellvalidierung siehe Kerimoglu et al. 2017, Biogeosciences (in press) und Nasermoaddeli et al., in review

# Modellsystem Südliche Nordsee

## SSC – Zeitliche Variabilität



Jahr 2010

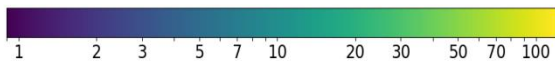
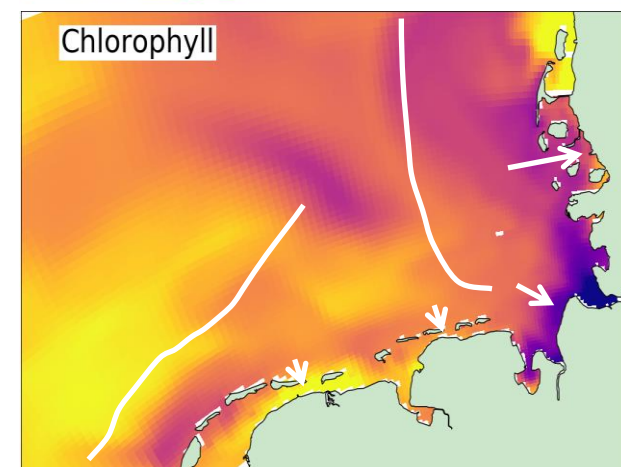
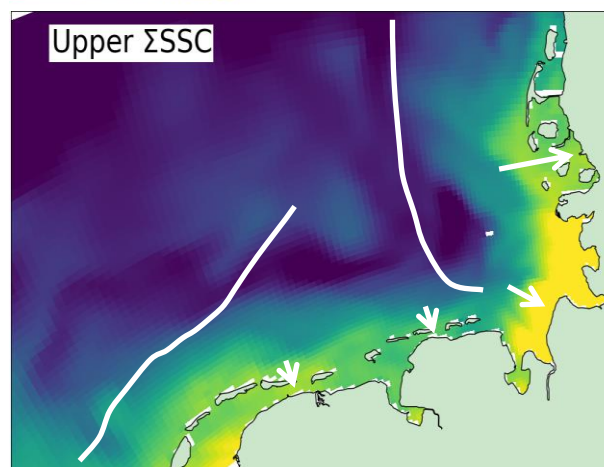
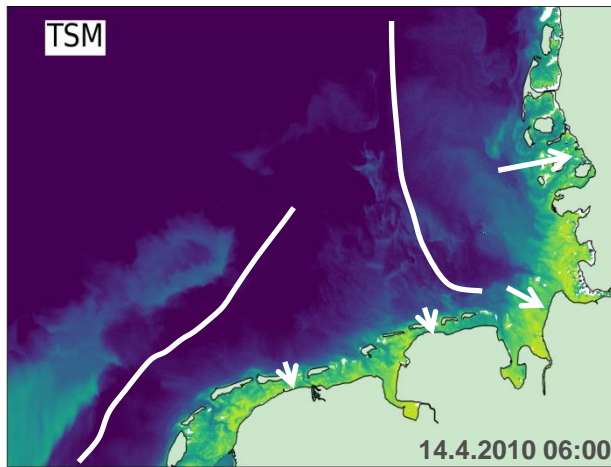
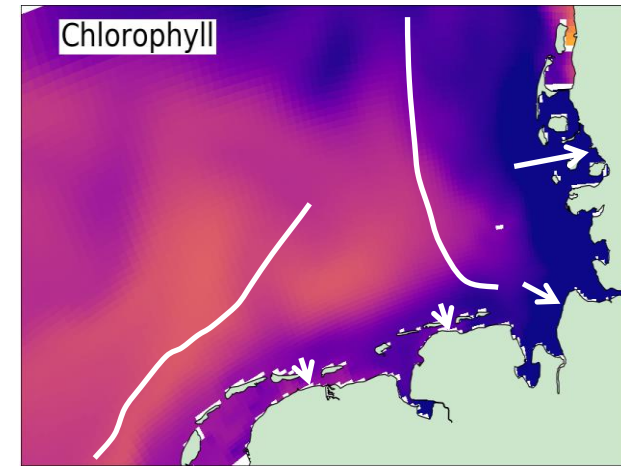
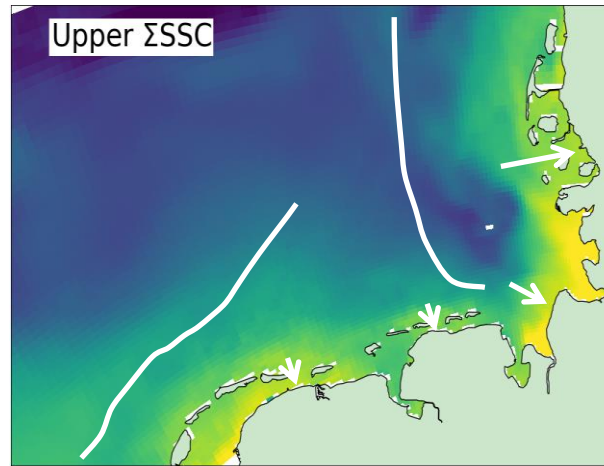
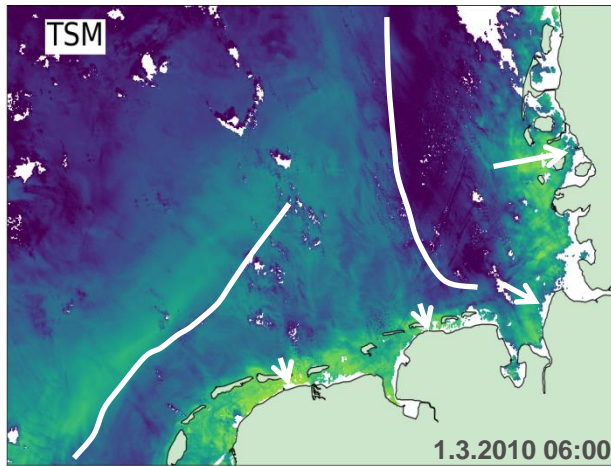
- 11 Jahre Schwebstoffkonzentration (SSC) in der Deutschen Bucht als Basis für weitere Untersuchungen

(Nasermoaddeli et al., in review; Kreuz et al., work in progress)

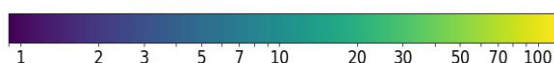


# Modellsystem Südliche Nordsee

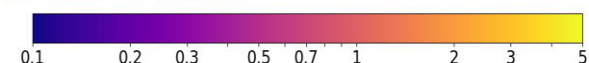
## TSM = SSC + Chlorophyll + ...



Konzentration (g m<sup>-3</sup>)



Konzentration (g m<sup>-3</sup>)

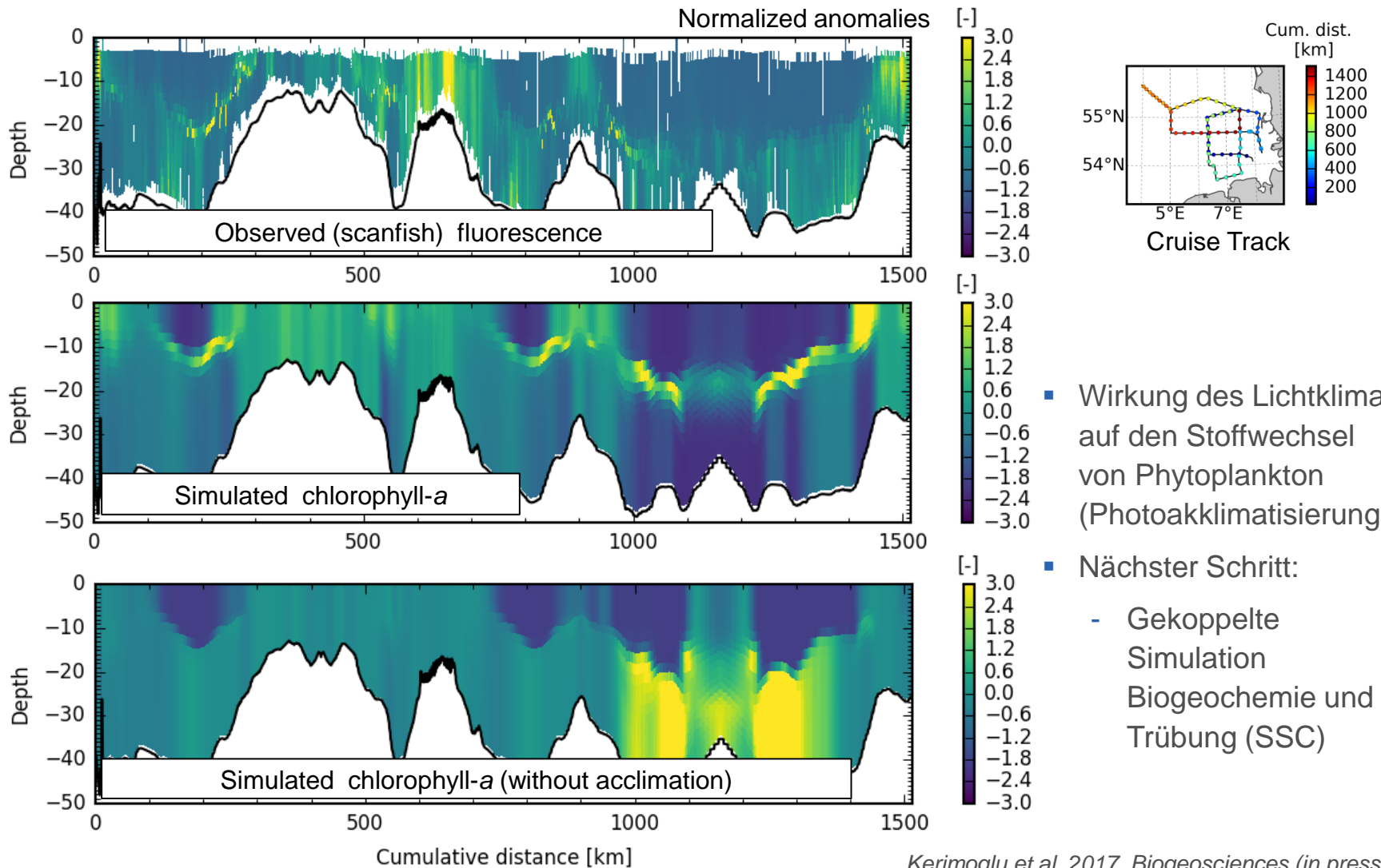


Konzentration (mg Chla m<sup>-3</sup>)

(Kreus et al., work in progress)

# Modellsystem Südliche Nordsee

## Autotrophes Modell mit Photoakklimatisierung

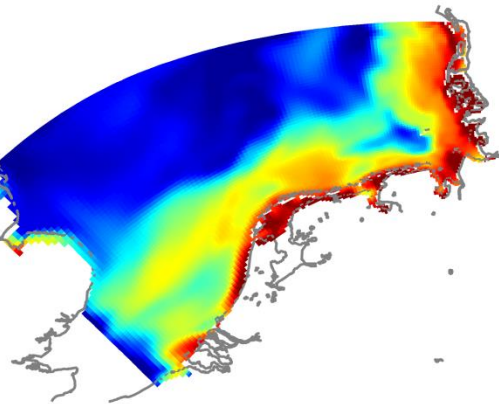
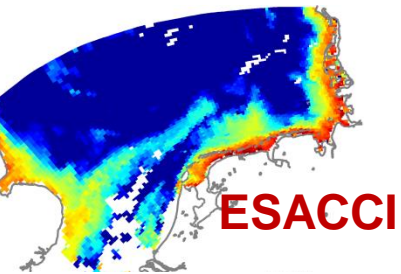


- Wirkung des Lichtklimas auf den Stoffwechsel von Phytoplankton (Photoakklimatisierung)
- Nächster Schritt:
  - Gekoppelte Simulation Biogeochemie und Trübung (SSC)

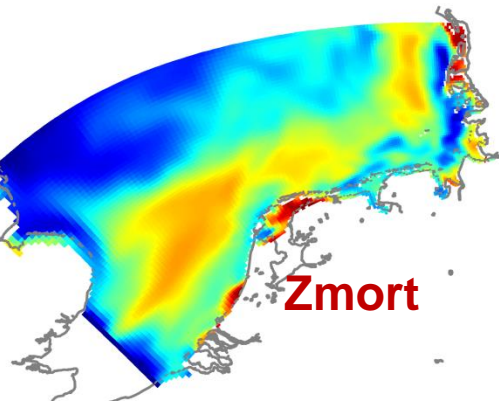
*Kerimoglu et al. 2017, Biogeosciences (in press)*

# Modellsystem Südliche Nordsee

## Chlorophyll Gradienten durch Prädatoren-Effekte



Zunahme der Prädation von Zooplankton durch Fische zur Küste  
(Annahme auf Basis von Beobachtungen)

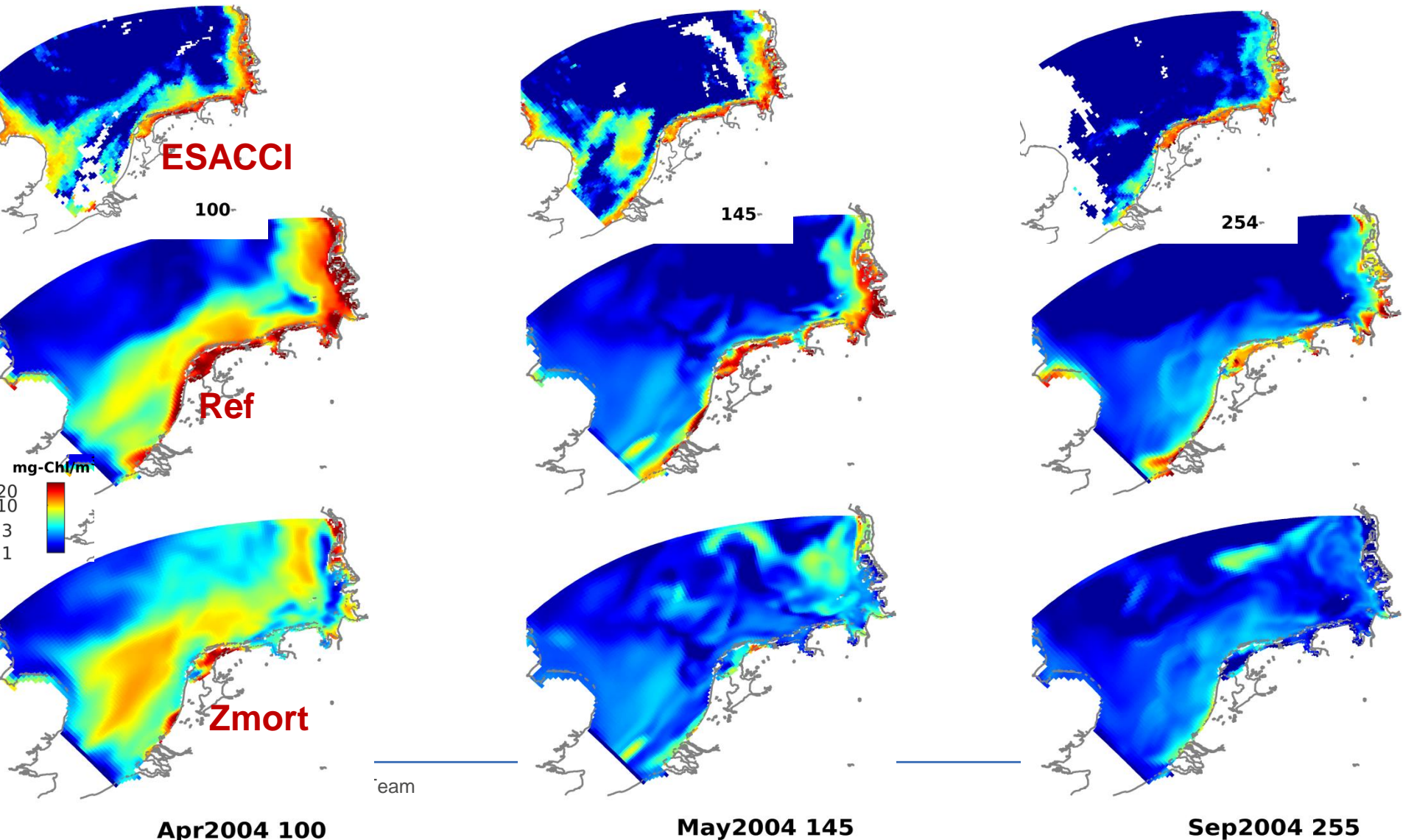


Konstante Prädation von Zooplankton durch Fische  
(Standard)

*(Wirtz et al., in prep.)*

# Modellsystem Südliche Nordsee

## Chlorophyll Gradienten durch Prädatoren-Effekte



# Bedeutung Makrozoobenthos und Mikrophytobenthos für Sedimenttransport

- Sedimenttransport erfolgt durch Strömungs- und Seegangbelastung der Sohle, dazu Bestimmung der Erosionsrate  $E$  wesentlich

$$E = \varepsilon \left( \frac{\tau - \tau_{c0}}{\tau_{c0}} \right) \neq \varepsilon^{bio} \left( \frac{\tau_c^{bio} - \tau_{c0}}{\tau_{c0}} \right)$$

(nach Ariathurai-Partheniades, 1974)

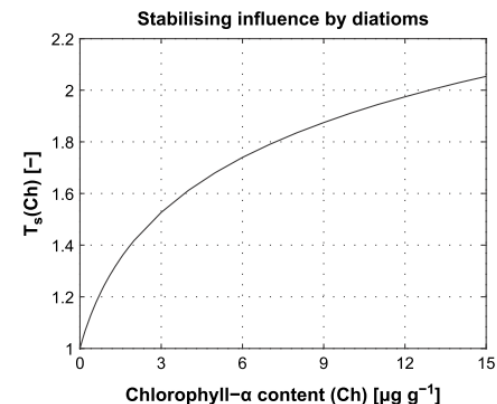
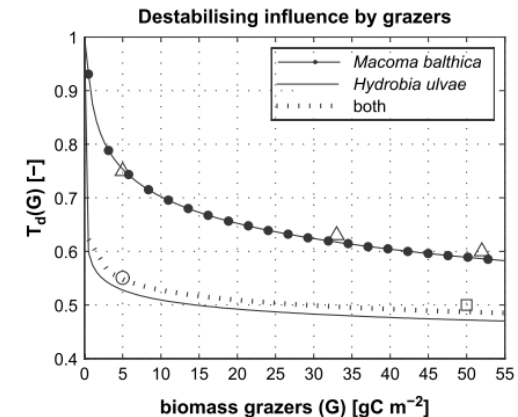
- Kritische Sohlschubspannung

$$\tau_c^{bio} = \tau_{c0} \cdot T_d(M) \cdot T_s(c_p)$$

- Erodierbarkeit

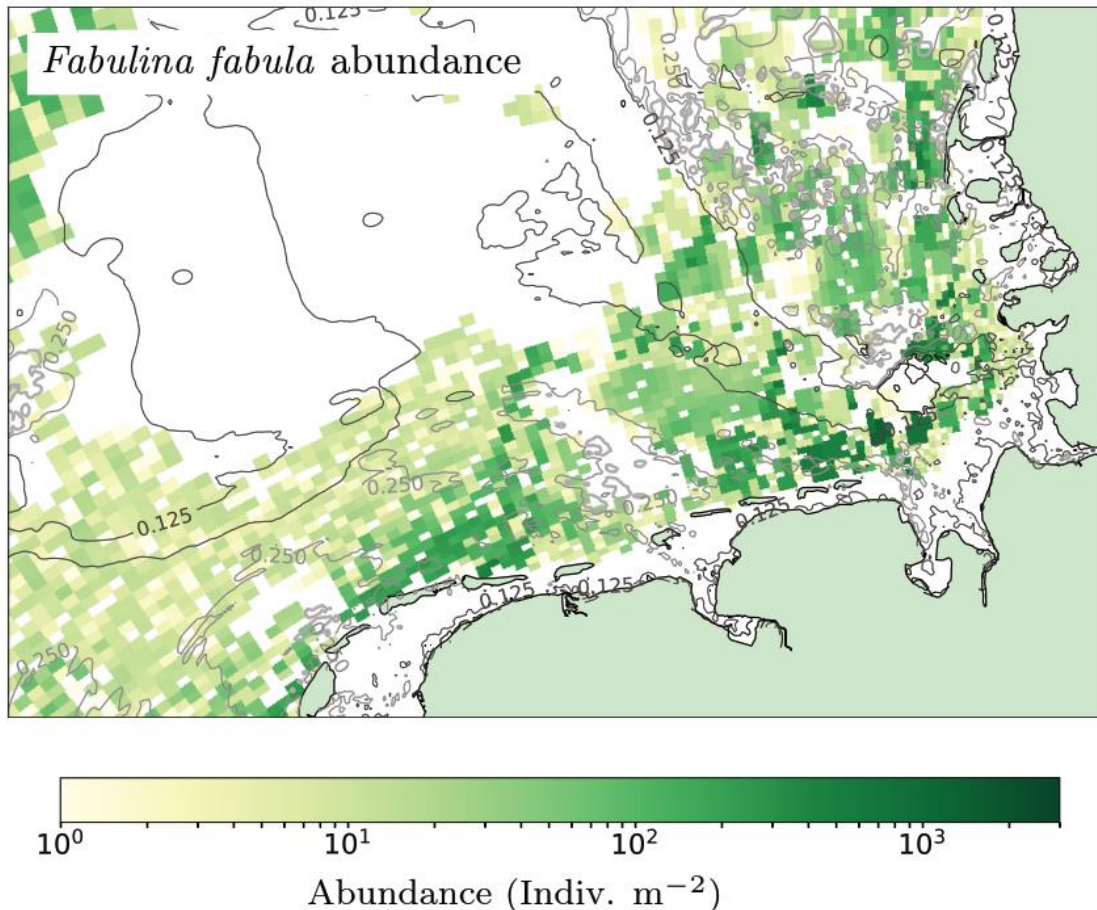
$$\varepsilon^{bio} = \varepsilon^0 \cdot E_d(M) \cdot E_s(c_p)$$

- Die Erosionsrate ist von biologischen Faktoren beeinflusst.



Quellen: Fotos aus Andersen & Pejrup (2002); Grafiken aus Borsje et al. (2008); Parametrisierungen aus Knaapen et al, 2003; Paarlberg et al. (2005)

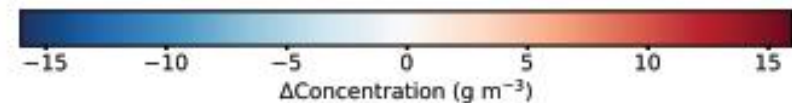
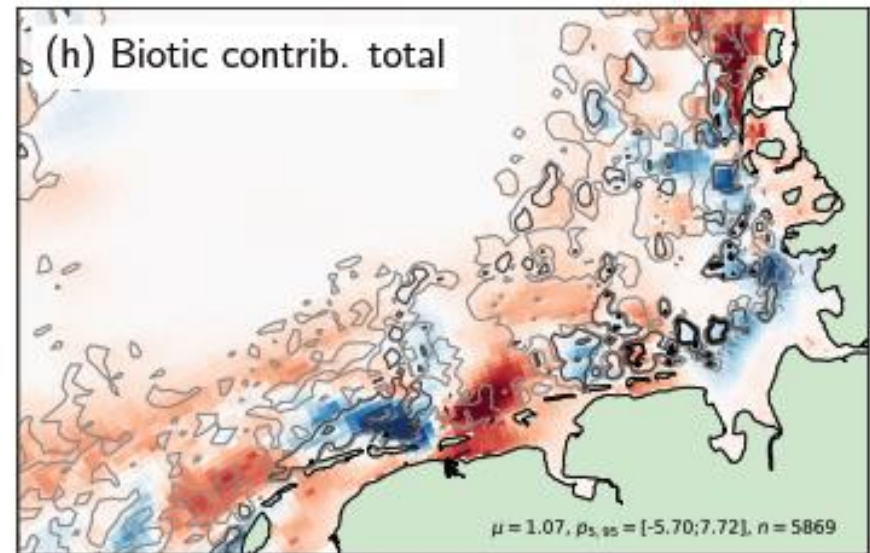
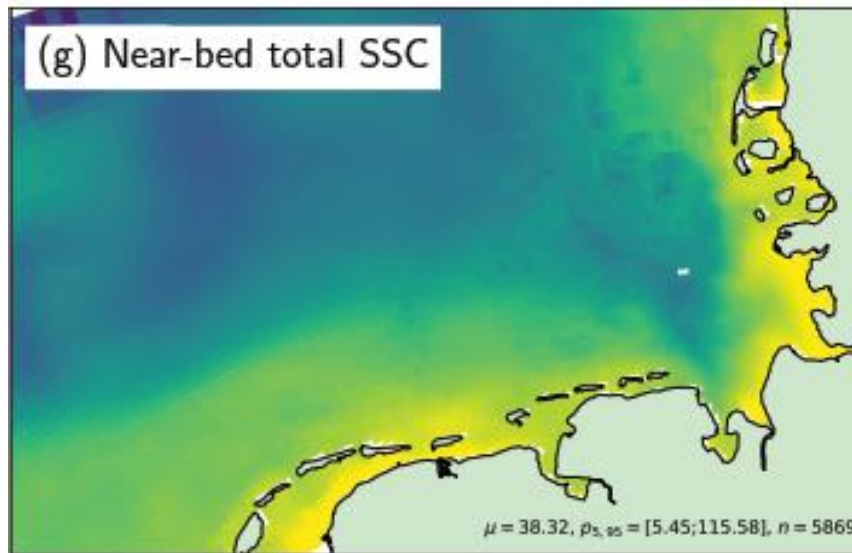
# Bedeutung Makrozoobenthos und Mikrophytobenthos für Sedimenttransport



- Vorgehen Makrozoobenthos
  - Parametrisierung für charakteristische Makrozoobenthos Art
  - Test der Effektstärke im Fokusgebiet Nordsee auf Basis gemessener Artenverteilung
  - Verallgemeinerung des Ansatzes
- Vorgehen Mikrophytobenthos
  - Parametrisierung
  - Test der Effektstärke auf Basis modellierter MPB Konzentration

(Nasermoaddeli et al., in review)

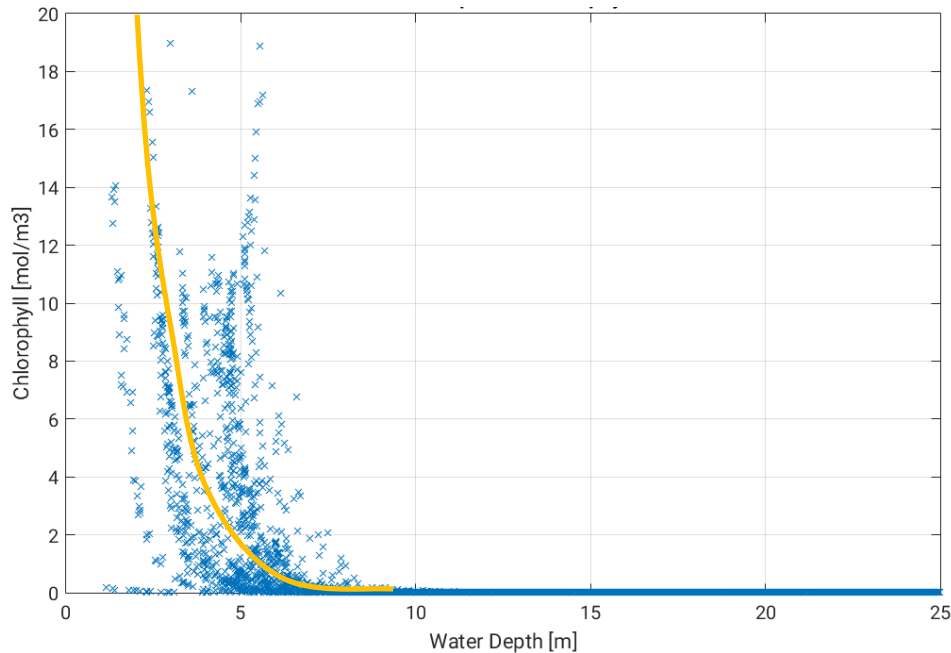
# Wirkung von Makrozoobenthos auf Sedimenttransport



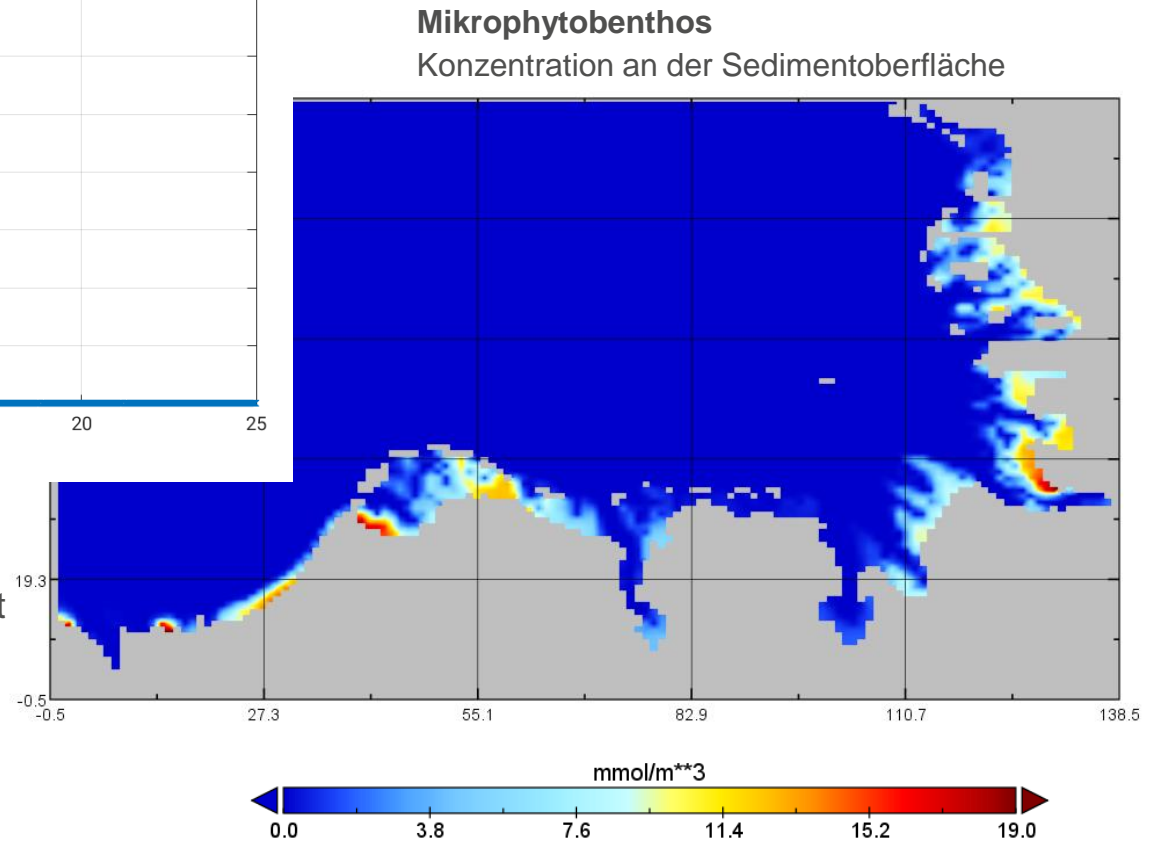
- Änderungen der Schwebstoffkonzentration zeigen vielfältige Muster
  - Lokale Erhöhung durch zusätzliche Sedimentmobilisierung (Zunahme SSC)
  - Lokale Erschöpfung des verfügbaren Sedimentinventars durch zusätzliche Sedimentmobilisierung (Abnahme SSC)
  - Erhöhung durch mit der Strömung transportiertes Material (Erhöhung)

(Nasermoaddeli et al., in review)

# Mikrophytobenthos - Erste Ergebnisse für die südliche Nordsee



- Berechnung der MPB Konzentration auf Basis von verfügbaren Nährstoffen und Licht nach Hochard et al. (2010)
- Erste Modellergebnisse zeigen erwartete exponentielle Abnahme mit der Wassertiefe

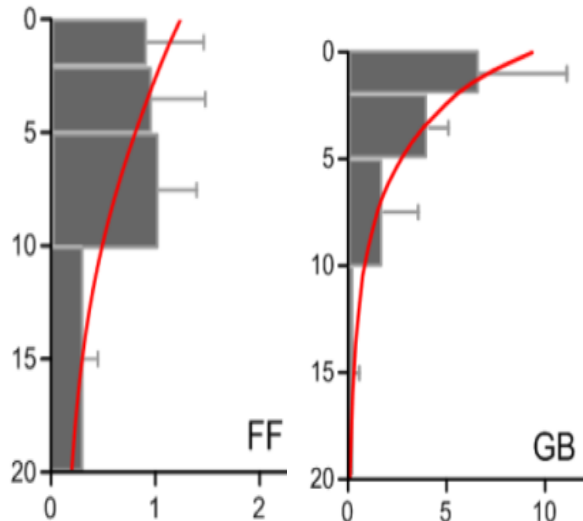


(Hammrich et al., work in progress)

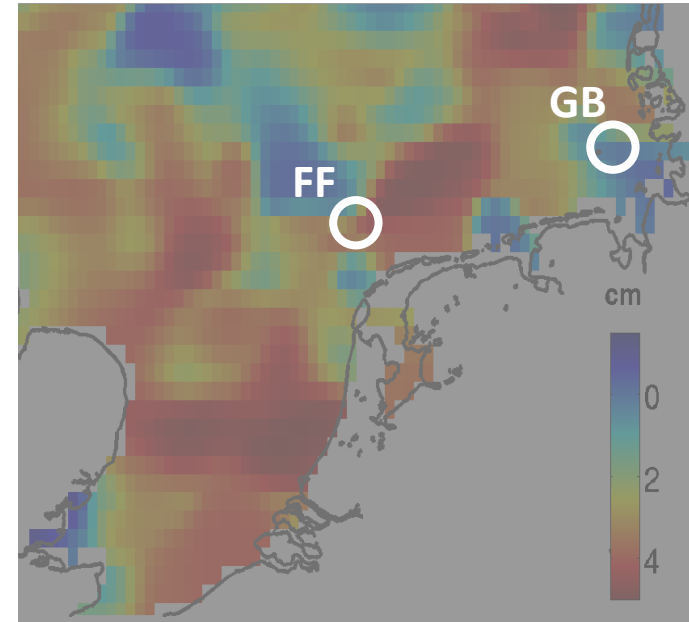
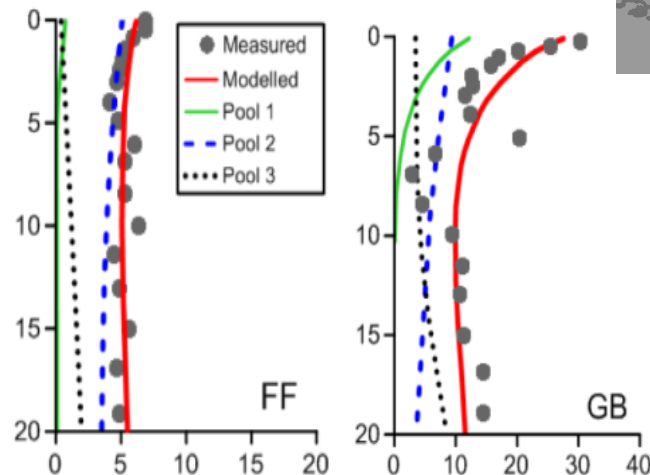


# „Optimale vertikale Position“ als master trait der Makrozoobenthos-Gemeinschaft

## Biomass (100 g m<sup>-3</sup>)



## TOC (mg g<sup>-1</sup>)

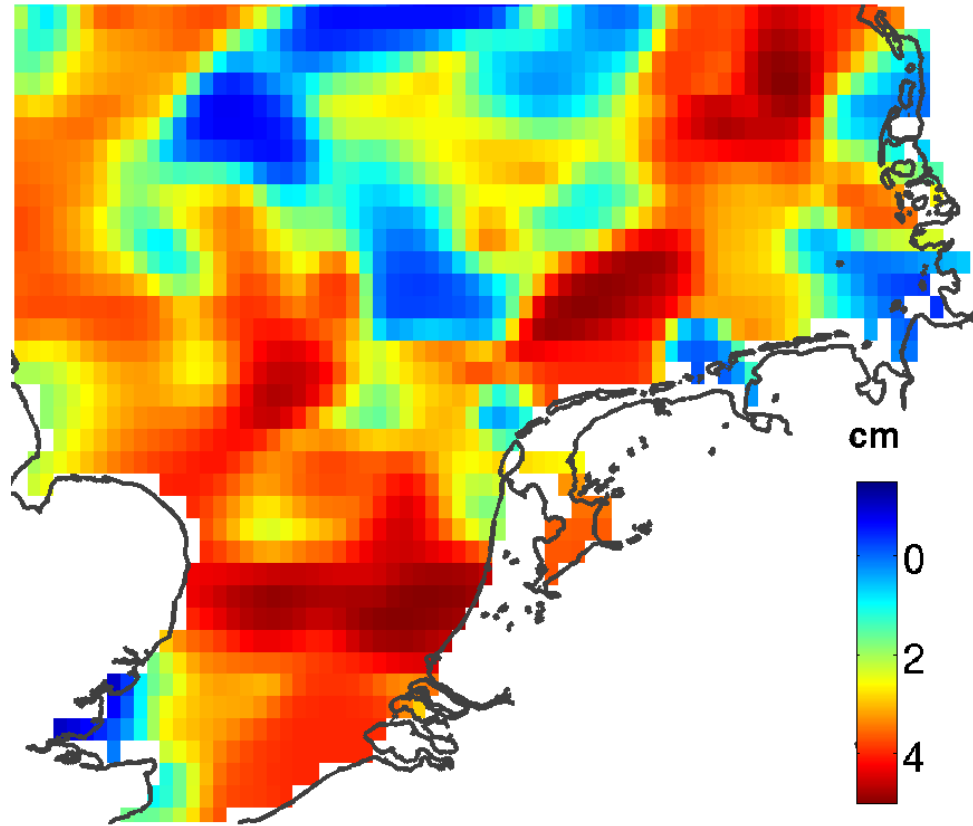


## Gemessene vertikale Position

Rekonstruiert auf Basis des  
North Sea Benthic Survey  
(Rees et al 2007, ICES)

Zhang & Wirtz, sub. (data from Dauwe et al 1996)

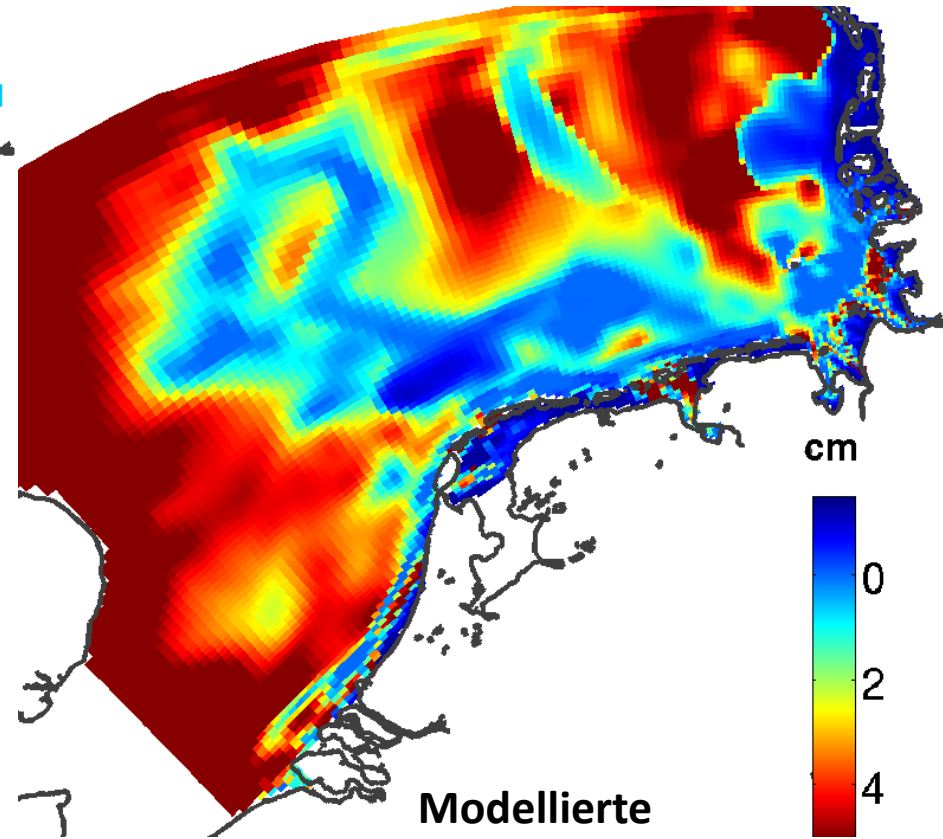
# Optimale vertikale Position“ als master trait der Makrozoobenthos-Gemeinschaft



## Gemessene vertikale Position

Rekonstruiert auf Basis des  
North Sea Benthic Survey  
(Rees et al 2007, ICES)

*Zhang & Wirtz, sub. (data from Dauwe et al 1996)*

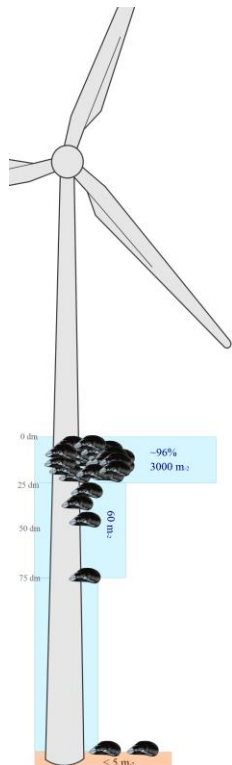


## Modellierte vertikale Position

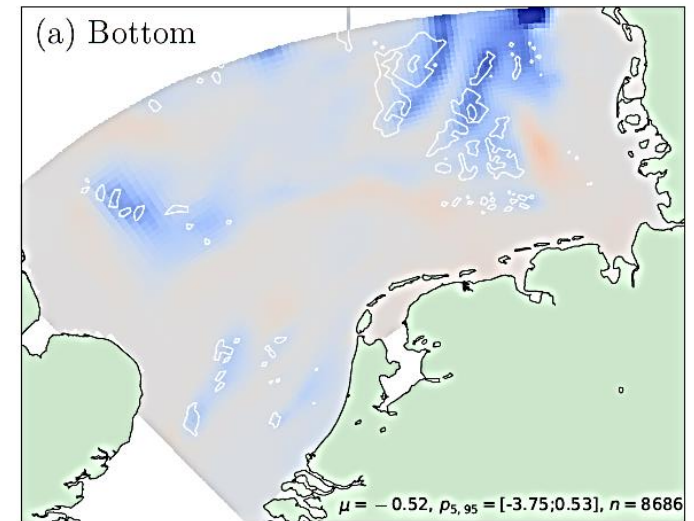
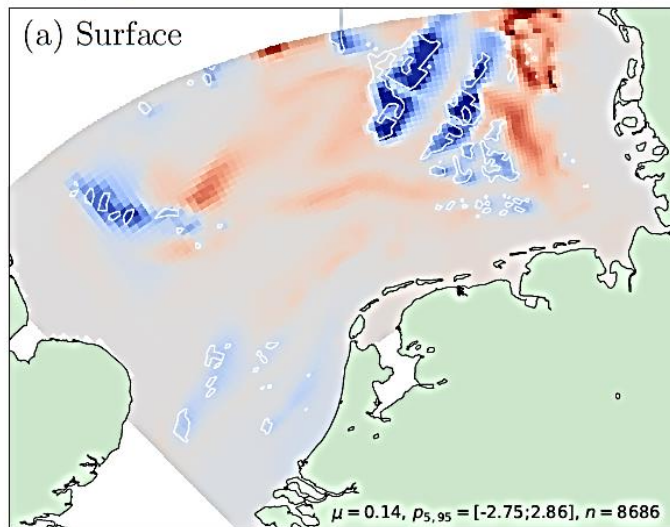
# Makrofauna und Gewässergüte

## Unser Beitrag zu „Building with Nature“

- Besiedlung von Offshore-Windparks durch *Mytilus edulis* in der Nordsee
- Deutliche Effekt auf Phytoplankton & Primärproduktion
- Siehe Poster von Friedland, Lemmen et al.



### Phytoplankton carbon concentration change

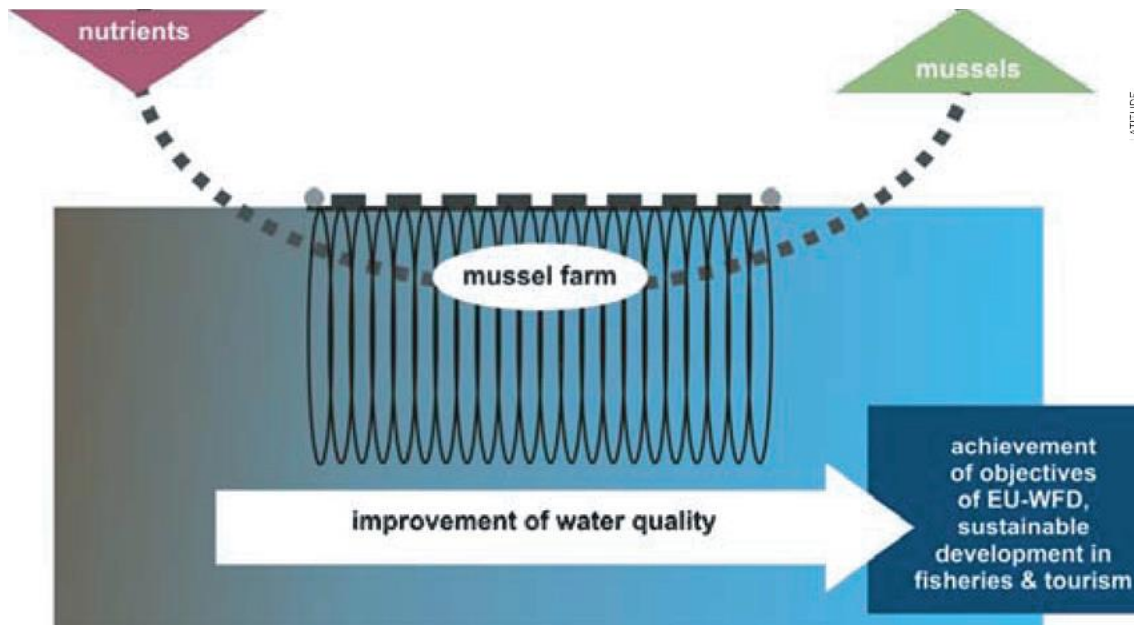


(Slavik et al. subm.)

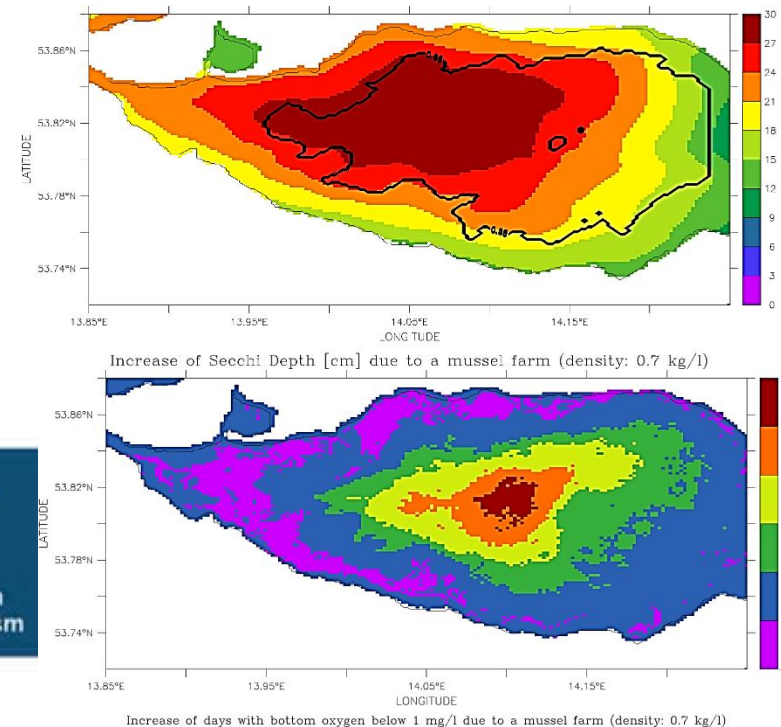
# Makrofauna und Gewässergüte

## Unser Beitrag zu „Building with Nature“

- Nutzung von Muschelfarmen zur lokalen Verbesserung der Wasserqualität im Oderhaff
- Unterstützende Maßnahme zusammen mit Nährstoffeintragsreduzierungen
- Sichttiefezunahme im Kleinen Haff von bis zu 30 cm (= 50%)
- ... aber auch der Tage mit Bodensauerstoff unterhalb 1 mg/l
- Siehe Poster von Friedland, Lemmen et al.



(Klamt & Schernewski, 2012)



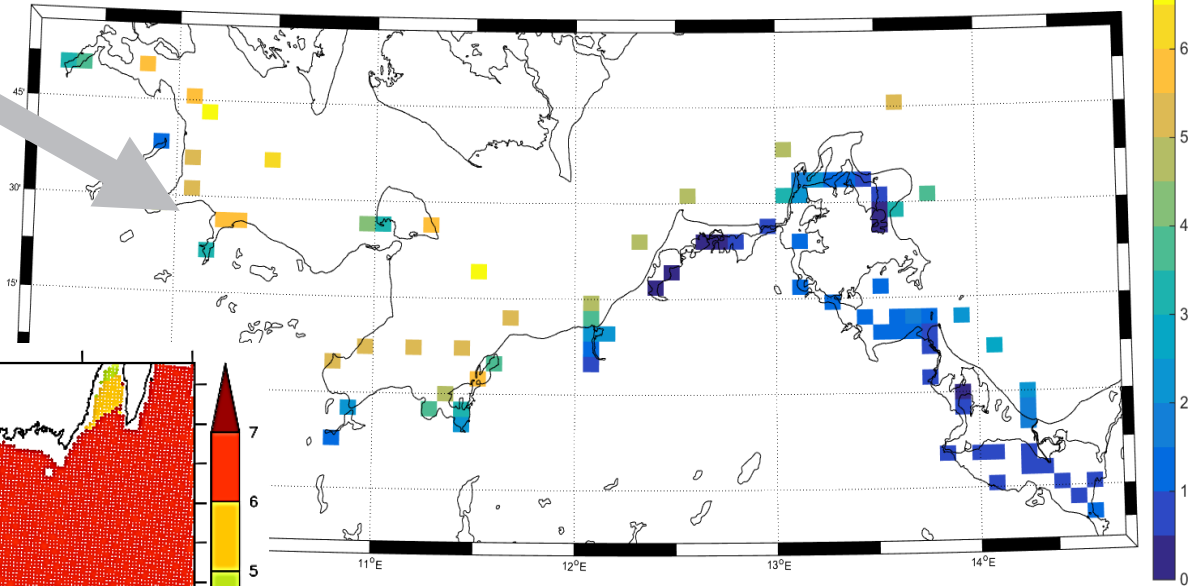
# Anwendung auf Gewässergüteparameter

---

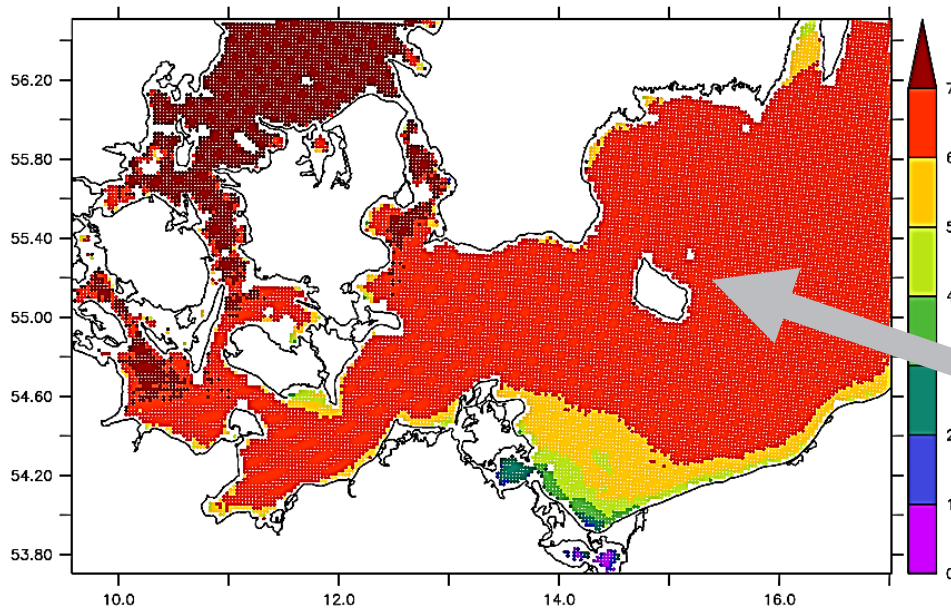
- Weiterentwicklung der bestehenden Wasserqualitätsindikatoren  
(zur Zeit: Sommer-Chlorophyll, Gesamtstickstoff und Gesamtphosphor nur verwendet, vgl. Schernewski et al., 2015)
- Entwicklung eines GES-Vorschlags für die Sichttiefe  
(unter Berücksichtigung der natürlichen Gradienten und harmonisiert mit den existierenden Ansätzen zur GES-Festlegung)
- Übergang zu Multi-Modell-Ansätzen, um robustere Grenzwerte (GES) für Wasserqualitätsindikatoren zu bestimmen
- Bereitstellung von Simulationsergebnissen für Behörden und Projekte zur Bewertung der Ökosystemleistungen
- Simulation verschiedener externer Stressoren (z.B. Nährstoffeintragsszenarien)

# Anwendung auf Gewässergüteparameter

Mean Summer Secchi Depth [m] from observations



Enges Messnetz von LUNG & LLUR  
im Rahmen der WRRL



Ergänzung um Satellitendaten ermöglicht  
Entwicklung eines umfassenden &  
integrierenden WQ-Indikator für die  
südwestliche Ostsee

Mean Secchi Depth (2003-12) from Satellite data  
[provided by A. Stock, Stanford Univ.]

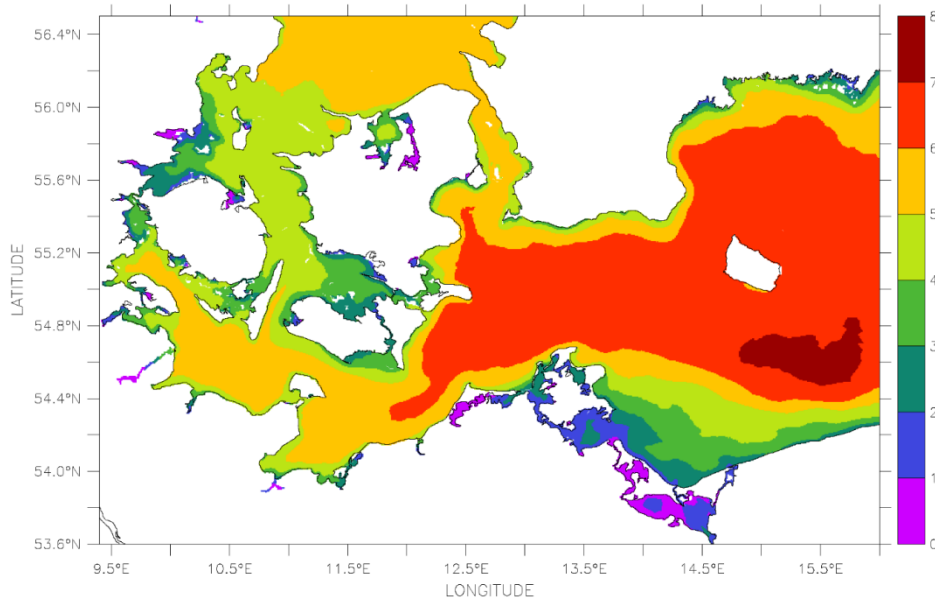
(Friedland et al., in prep.)

# Systemverständnis durch Austausch einzelner Module

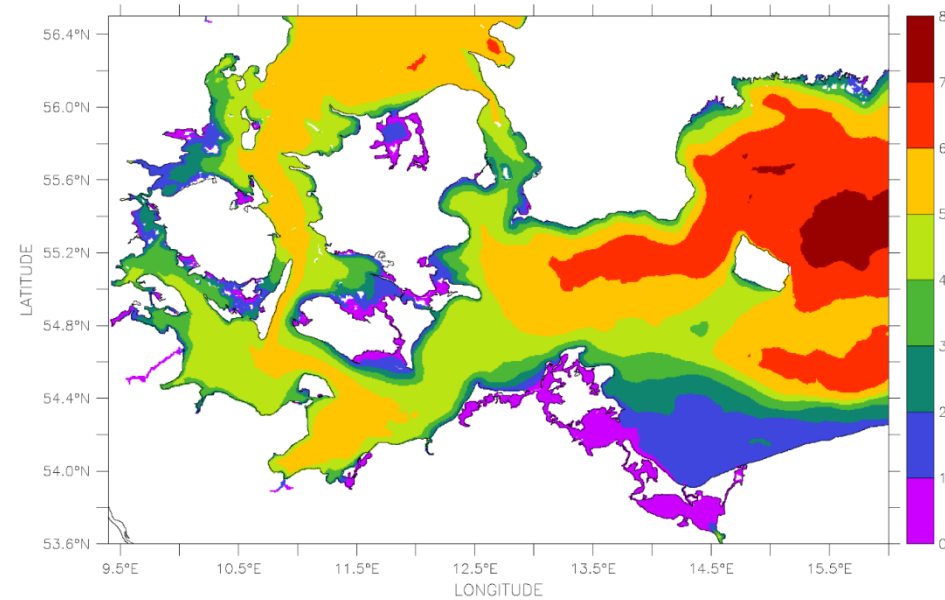
**ERGOM** (validiert & optimiert für Ostseeanwendungen)

vs.

**MAECS** (übernommen von Nordsee-Modell, nur Anpassung der Hintergrundattenuation)



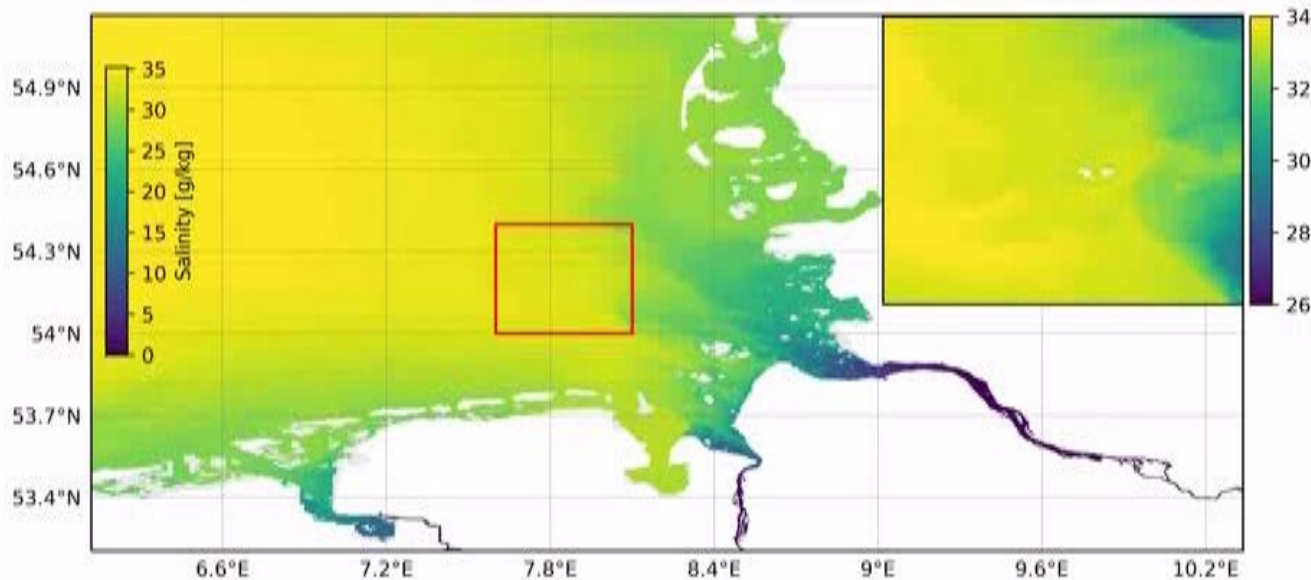
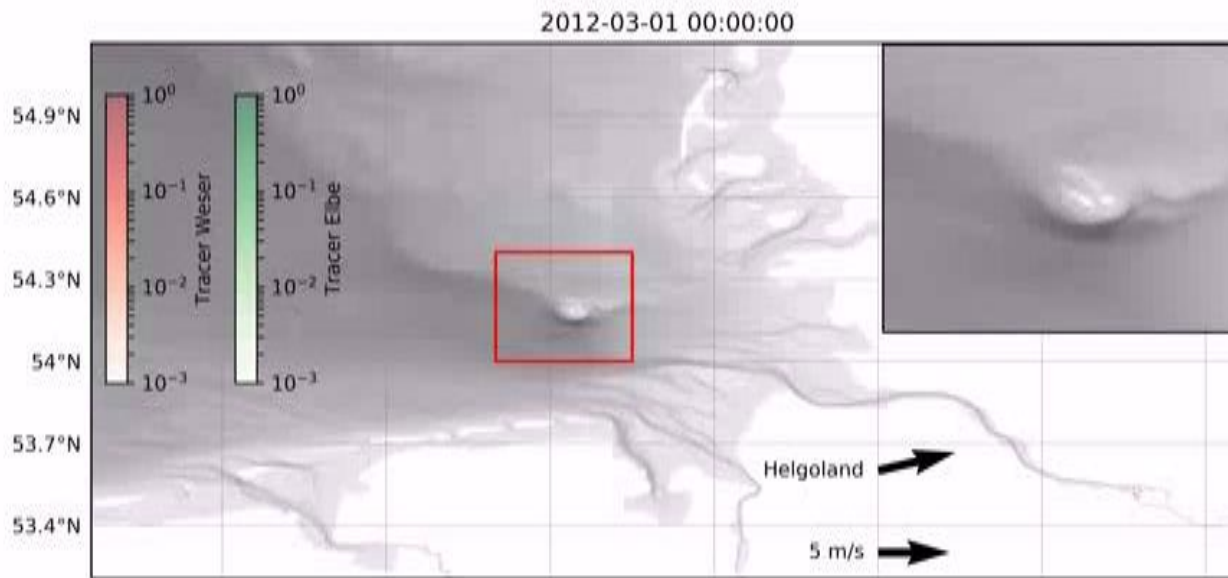
Summer Secchi Depth [m]: modelled with ERGOM



Summer Secchi Depth [m]: modelled with MAECS

MAECS liefert schlechtere Ergebnisse (wie zu erwarten, da nicht speziell für Ostsee-Anwendung optimiert), reproduziert aber die Gradienten

(Friedland et al., in prep.)



- Wirbelauflösendes Modell der Deutschen Bucht
  - 300 m set-up (MOSSCO / GETM)
  - Rolle der Submesoskala für Sedimenttransport und Biogeochemie
- Systemstudie: Elbe / Weser Abflussfahnen
  - Physik der Vermischung und Stratifizierung
- Details siehe Poster von Holtermann et al.



# MOSSCO Synthese - Fazit



- Erfolgreicher Aufbau modularer, gekoppelter Modellsysteme der Nord- und Ostsee
  - Validierte Simulation und Analyse von Hydrodynamik (Tide, T/S, Schichtung), Stofftransport (T/S/SSC/Schadstoffe), Biogeochemie und Biologie (Makrofauna) über eine Dekade
  - Modellfamilie von großskaligen Nord- und Ostseemodellen bis zu wirbelauflösenden Modellen der Fokusgebiete
  - Gelebte Interdisziplinarität im MOSSCO-Team
- Wesentliche Fortschritte bei der Modellgüte u.a. durch
  - Neue Ansätze zur Modellierung von Phytoplankton mit Wachstumsmodell unter Berücksichtigung der Photoakklimatisierung
  - Prädatoren-Effekte erzeugen beobachtete Chlorophyll Gradienten
  - Mechanistisches Modell zur Kopplung von organ. C und Makrobenthos-Tiefenverteilung
  - Einfluss von beobachteter Makrofauna auf modellierte Schwebstoff-Konzentration
- Konkrete Anwendungen für MSRL relevante Themen
  - Weiterentwicklung der Sichttiefe als Wasserqualitätsindikator für die Ostsee
  - Eutrophierung-Szenarios (WRRL) zur Überprüfung der deutschen Managementziele und reduzierten Stickstoffeinträge
- Analyse anthropogener Eingriffe, „Building with Nature“-Ansätze möglich
  - Besiedlung von Offshore-Windparks durch *Mytilus edulis* in der Nordsee
  - Wirkung von Muschelfarmen in der Ostsee

# MOSSCO Synthese – Ergebnisse seit 2016

---

## ▪ MOSSCO Synthese ist wissenschaftlich sichtbar

- 9 Beiträge in reviewten Zeitschriften (8 veröffentlicht, 1 „in review“, „in preparation“ Nicht gelistet)
  - Kerimoglu, O., Hofmeister, R., Maerz, J., Wenzel Wirtz, K., 2017. A novel acclimative biogeochemical model and its implementation to the southern North Sea. Biogeosciences Discuss. 33. doi:10.5194/bg-2017-104
  - Lemmen, C., Hofmeister, R., Klingbeil, K., Nasermoaddeli, M.H., Kerimoglu, O., Burchard, H., Kösters, F., Wirtz, K.W., 2017. Modular System for Shelves and Coasts (MOSSCO v1.0) &ndash; a flexible and multi-component framework for coupled coastal ocean ecosystem modelling. Geosci. Model Dev. Discuss. 138, 1–30. doi:10.5194/gmd-2017-138
  - Wirtz, K.W., Kerimoglu, O., 2016. Autotrophic Stoichiometry Emerging from Optimality and Variable Co-limitation. Front. Ecol. Evol. 4. doi:10.3389/fevo.2016.00131
  - Nasermoaddeli, M.H., Lemmen, C., Kösters, F., Kerimoglu, O., Hofmeister, R., Klingbeil, K., Burchard, H., Wirtz, K.W., 2017. Large scale effect of macrofauna Tellina fabula on suspended sediment transport in the southern Nord See. Estuar. Coast. Shelf Sci. In review
- 15 Konferenzbeiträge (8 Vorträge, 7 Poster)

## ▪ MOSSCO Synthese trägt zur Ausbildung bei

- 2 Abschlussarbeiten
- Beiträge im Rahmen der wissenschaftlichen Ausbildung, z. B. summer school

## ▪ MOSSCO Code ist frei verfügbar und nutzbar

- Die MOSSCO Ergebnisse sind auf <http://www.mossco.de> auch online dokumentiert, darunter auch das „MOSSCO User Guide and Reference Manual“
- Modellcode: <https://sourceforge.net/p/mossco/code/ci/master/tree/>