

Was leisten unsere Sedimente?

Modellierung früh-diagenetischer Prozesse in den Sedimenten der Ostsee

M. Meier, Th. Neumann, H. Radtke, B. Cahill, D. Neumann, Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (Uni Rostock)

Kurzgefasst

- Wir erweitern ein biogeochemisches Modell der Ostsee aus der Wassersäule ins Sediment.
- Viele Prozesse sind dort ähnlich.
- Einige zusätzliche Stoffumsätze müssen jedoch berücksichtigt werden, z.B. die Ausfällung von Eisenmineralien.
- Einige Prozesse, z.B. die Denitrifizierung, die zumeist durch die Flüsse eingetragenen Stickstoff aus dem Ökosystem entfernt, sind für die Gesellschaft sehr nützlich.
- Wir untersuchen den Einfluss externer Faktoren, z.B. Klimawandel oder Nährstoffreduktion, auf diese Prozesse.

- Zwischenspeicherung (Retention) von Nährstoffen
- Sedimenttransport aus dem küstennahen Gebiet heraus in die Tiefenbecken
- Ansammlung und Vergrabung von Stickstoff und Phosphor in den Tiefenbecken

Diese Prozesse können durch verschiedene Methoden experimentell bestimmt werden. Dies ist jedoch nur an einzelnen Stationen möglich. Für eine flächendeckende Abschätzung der Prozesse muss man diese Ergebnisse dann extrapolieren.

Eine Schwierigkeit dabei ist die Inhomogenität der deutschen Hoheitsgewässer. Sie enthalten verschiedene Sedimenttypen (von Sanden bis zu Schlack, siehe Abb. 1), die in verschiedenen Wassertiefen angesiedelt sind, teils in der Nähe von Flussmündungen liegen und teils exponiert sind, etc.

Der Ansatz dieses Projekts ist es nun, diese gesellschaftlich relevanten Prozesse prognostisch zu modellieren, d.h. von unserem Verständnis der Prozesse ausgehend ein Modell zu entwickeln, das diese Prozesse aus den physikalischen und biogeochemischen Randbedingungen abschätzen kann. Dies geschieht in einem sogenannten Frühdiagenesemodell, das die physikalischen und chemischen Prozesse in den oberen 20cm unter dem Meeresboden abbildet. Grundlage ist dabei die Oxidation organischen Kohlenstoffs, der als Detritus (abgestorbenes organisches Material) in das Sediment gelangt. Zunächst wird dieser mit Sauerstoff oxidiert. Sauerstoff gelangt jedoch, je nach Sedimenttyp, nur bis in eine Tiefe von wenigen Zentimetern oder Millimetern. Darunter findet die Oxidation mit verschiedenen anderen Oxidationsmitteln statt, wie Nitrat (Denitrifizierung), Eisen-III und Sulfat. Das Frühdiagenesemodell beschreibt diese biogeochemischen Prozesse, aber auch die physikalischen, wie molekulare Diffusion, Sedimentakkumulation und Resuspension.

Um die gesamte deutsche Ostseeküste abzudecken, wird dieses Frühdiagenesemodell unter ein dreidimensionales Ökosystemmodell gekoppelt. Das Ökosystemmodell liefert dann die Randbedingungen (Sedimentation, Bodenschubspannung, Konzentrationen der gelösten Spezies im Bodenwasser, Temperatur, ...), das Sedimentmodell liefert seinerseits Randbedingungen für das Ökosystemmodell (Sauerstoffzehrung, Flüsse gelöster Substanzen, ...) zurück. Das Ergebnis der Modellrechnungen ist dann eine räumlich aufgelöste Abschätzung der o.g. Sedimentleistungen.

Die Ostsee ist ein Binnenmeer, dessen Einzugsgebiet dicht besiedelt ist. Daher muss sie erhebliche Einträge von Stickstoff und Phosphor verkraften, die zumeist über die Flüsse eingetragen werden. Zu viele Nährstoffe führen zu großen Algenblüten und zur Ausbreitung sauerstofffreier Zonen am Meeresboden.

Die Sedimente tragen dazu bei, die negativen Auswirkungen der zumeist aus der Landwirtschaft stammenden Düngemiteleinträge zu begrenzen. Dies geschieht durch:

- Denitrifizierung, also die Umwandlung von Nitrat in "harmlosen" molekularen (Luft-)Stickstoff

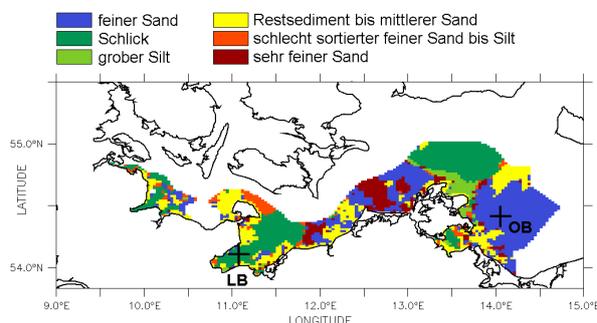


Abbildung 1: Verteilung von Sedimenttypen gemäß Korngrößenanalysen von Oberflächenproben, gemittelt auf das Modellgitter im Untersuchungsgebiet. Daten von Dr. Franz Tauber, IOW. Die Kreuze markieren die Stationen in der Lübecker Bucht und auf der Oderbank.

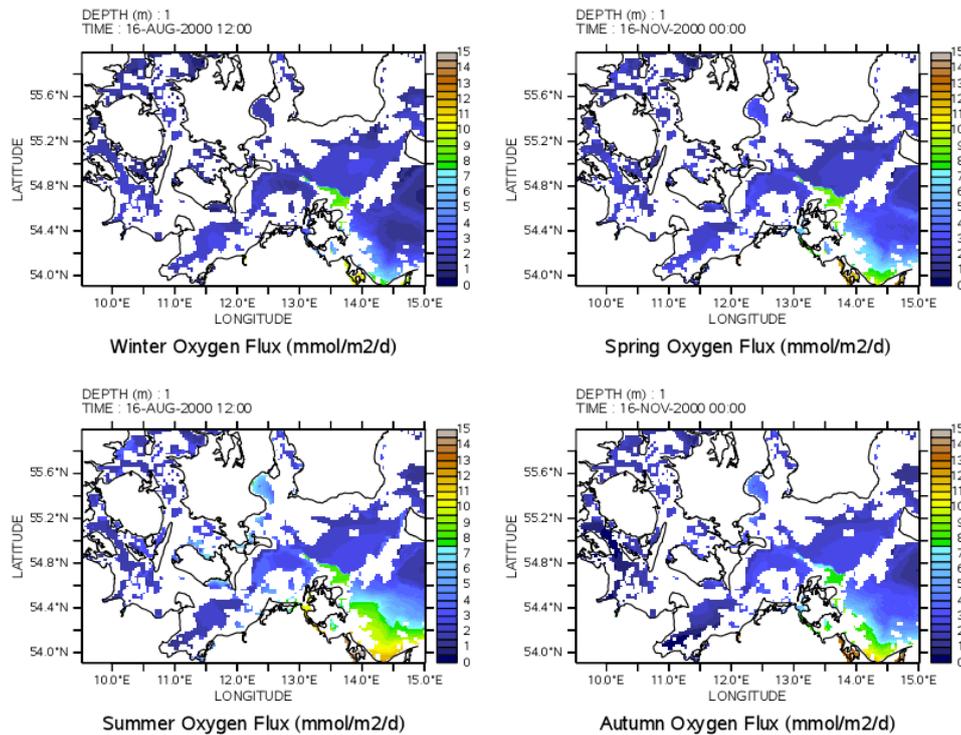


Abbildung 2: Sauerstofffluss ins Sediment [$\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$]. Saisonale Mittelwerte von 1991 bis 1999. Weiße Regionen, die kein Land sind, haben einen felsigen Meeresboden für den keine biogeochemischen Prozesse aktiviert sind.

In der ersten Phase des BMBF-Projektes SECOS wurde das dreidimensionale, gekoppelte Sediment-Wassersäulen-Modell entwickelt. In der zweiten Projektphase soll es angewendet werden um die Sensitivität der Sedimentprozesse auf verschiedene Einflussfaktoren zu testen. Hierbei werden Veränderungen der Nährstoffeinträge, des Klimas und in der Verbreitung von Bodenorganismen, die für eine Durchmischung des Sediments sorgen, als Szenarien formuliert und die Reaktion des Modells auf diese Änderungen untersucht.

Mehrere Faktoren bedingen, dass diese Aufgabe nur auf einem Hochleistungsrechner zu bewältigen ist: Zum einen erfordert die räumliche Variabilität eine entsprechend hohe räumliche Auflösung im Untersuchungsgebiet (etwa 1 n.m.). Zum anderen müssen zeitliche Skalen von Stunden (z.B. Advektion, atmosphärische Variabilität wie Sonneneinstrahlung) bis zu mehreren Jahrzehnten (Aufwachsung des Sediments) abgedeckt werden. Daraus ergibt sich ein hoher Rechenaufwand sowie auch eine große Datenmenge. Ein Hochleistungsrechner wie das HLRN ist für solche Aufgaben sehr gut geeignet, da die entsprechenden Modelle sich sehr effizient räumlich parallelisieren lassen. Dabei wird das Modellgebiet in Rechtecke längs der Längen- und Breitengrade aufgeteilt, und jeder Prozessorkern ist für ein solches Teilgebiet verantwortlich. Das hier verwendete Ökosystemmodell wurde und wird daher schon

vielfach am HLRN verwendet, um verschiedenste wissenschaftliche Fragestellungen wie Klimaprojektionen oder Prozessstudien eingesetzt.

Abbildung 2 zeigt erste Ergebnisse von modellierten diffusiven Sauerstoffflüssen ins Sediment hinein. Die Flüsse sind im Modell in den küstennahen und damit in starker Eutrophierung ausgesetzten Regionen am höchsten und nicht etwa in den tieferen zentralen Becken, die den höchsten Gehalt an organischem Material aufweisen. Eine umfassende Auswertung der Modellergebnisse dauert noch an.

WWW

<http://www.ergom.net/>

Weitere Informationen

- [1] <https://secos.deutsche-kuestenforschung.de/projekt-secos-synthese.html>
- [2] Boudreau, B. P. (2013). Diagenetic Models and Their Implementation: Modelling Transport and Reactions in Aquatic Sediments (1997).

Förderung

BMBF (Förderkennziffer 03F066A)