

Projektbeschreibung zum Projekt mvk00015

Titel:

Ausbreitungswege von Nährstoffen und Zeitskalen von Nährstofftransporten in der Ostsee

Kurzbeschreibung:

Die Primärproduktion in der Ostsee ist im Wesentlichen durch die Verfügbarkeit der Nährsalze Nitrat, Ammonium und Phosphat bestimmt. Wesentliche Quellen dafür sind die eingetragenen Flussfrachten sowie Stickstofffixierung und Resuspension aus dem Sediment. Senken sind die Sedimentationsgebiete in den verschiedenen Becken der Ostsee, sowie Denitrifikation im Fall von Stickstoff

Aus Untersuchungen von Isotopenverhältnissen ist bekannt (siehe Voss, M., K. Emeis, S. Hille, Th. Neumann, J. Dippner, 2005: Nitrogen cycle of the Baltic Sea from an isotopic perspective. *Global Biogeochemical Cycles* 19, doi:10.1029/2004GB002338), dass in küstennahen Sedimenten eher Stickstoff aus Flussfrachten, in zentralen Becken eher durch Cyanobakterien fixierter Stickstoff abgelagert wird. Die genauen Ausbreitungswege und die Zeitskalen jedoch lassen sich mit dieser Methode nicht bestimmen.

Die Transportprozesse von den Quellen zu den Senken sind komplex, da neben dem Transport als passiver Tracer noch ein aktiver Transport stattfindet, sofern die Nährstoffe in Partikeln organischer Materie gebunden sind. Ebenso können Sedimentation und Resuspension die Ausbreitungswege wesentlich beeinflussen.

Mithilfe eines kombinierten Strömungs- und Ökosystemmodells soll das Schicksal der aus verschiedenen Quellen eingetragenen Nährstoffe untersucht werden. Dabei wird ihr Weg sowohl im Raum als auch durch das Nahrungsnetz verfolgt. Als Quellen werden die Flusseinträge von Oder, Vistula, Njemen und Neva sowie die Stickstofffixierung berücksichtigt.

Ziel der Untersuchungen ist:

- die Ausbreitungswege der Nährstoffe von Quellen zu Senken und die Zeitskalen der Transportvorgänge zu bestimmen und die Transporte zu quantifizieren
- Den Einfluss des aktiven Transportes durch das Nahrungsnetz im Vergleich zum passiven Transport abzuschätzen
- Die Sensitivität der Verteilungsmuster auf veränderte Flusseinträge zu bestimmen

Darstellung der Projektzielsetzung:

Die beantragte Rechenzeit dient der Unterstützung des DFG-Projektes BEST (Baltic EcosyStem matter Transport, Förderkennzeichen: NE 617/5-1).

Bedeutende Quellen für Nährstoffe in der Ostsee sind die Flussfrachten, die letztendlich in den Akkumulationsgebieten deponiert werden. Während gelöste Substanzen durch Advektion und Diffusion transportiert werden, können durch das Fixieren von Substanzen in Partikeln die Transportwege modifiziert werden. Der Kreislauf von Nährstoffen zwischen Fixierung in Partikeln, Sinken der Partikel und Mineralisierung in gelöste Nährstoffe ist Teil des Transportes und beeinflusst die charakteristischen Ausbreitungswege.

In flachen, aquatischen Systemen wie der Ostsee können bodennahe Prozesse signifikant zum lateralen Materialtransport beitragen. Direkt über dem Meeresboden wird aus absinkenden, organischen Aggregaten die sogenannte fluffy layer gebildet. Dort werden die Aggregate entweder mit der bodennahen Strömung transportiert oder durch größere Strömungsgeschwindigkeiten infolge von Windereignissen und Wellen aufgewirbelt und in der Wassersäule verteilt.

Diese Prozesse transportieren Material in die Depositionsgebiete. Es ist jedoch wenig über die Transportwege und die Zeitskalen bekannt. Generelle Verteilungsmuster von gemessenen

Isotopenverhältnissen, z. B. $\delta^{15}\text{N}$, können Aufschluss über den Ursprung verschiedener Stoffe aufgrund ihrer isotopischen Signatur geben. Mit Hilfe eines Ökosystemmodells können Transportpfade, Zeitskalen und Schicksal von Nährstoffen aus verschiedenen Quellen in der Ostsee untersucht werden. Dazu werden mit einer numerischen Technik Substanzen, insbesondere Nährstoffe aus bestimmten Quellen, markiert und können sowohl im physikalischen Raum als auch im Nahrungsnetz verfolgt werden.

In diesem Projekt wird das Schicksal von Nährstoffen aus verschiedenen Flüssen als auch von Stickstoff, der durch Fixierung durch Cyanobakterien in das Nahrungsnetz gelangt, untersucht. Die Konsistenz der modellierten Muster kann mit beobachteten Verteilungen von Isotopenverhältnissen bewertet werden. Die Modellergebnisse ihrerseits können stimulierend auf neue experimentelle Ansätze wirken.

Numerische Simulationen auf dem HLRN:

Auf dem HLRN sollen Simulationen mit einem gekoppelten Strömungs- und Ökosystemmodell der Ostsee durchgeführt werden. Die Simulationen umfassen einen Zeitraum von 1962 bis 2001. Geplant sind ein Referenzlauf und zwei Kontrollläufe mit veränderten Flussfrachten.

Mathematische und informationstechnische Aspekte, Lösungsverfahren:

Die Berechnungen sollen mit einem MOM3-Zirkulationsmodell durchgeführt werden. Es beruht auf der Navier-Stokes Gleichung in Boussinesq Näherung. Subgrid Prozesse werden durch geeignete Parametrisierung beschrieben. Der meteorologische Antrieb wird durch Oberflächenflüsse bereitgestellt. Der Eintrag von Flusswasser erfolgt ebenfalls über die Oberflächenrandbedingung.

An das Zirkulationsmodell gekoppelt ist ein biogeochemisches Modell, ERGOM. Dieses umfasst 10 dreidimensionale Zustandsvariablen: Sauerstoff, die Nährsalze Ammonium, Nitrat und Phosphat, die funktionalen Phytoplankton-Gruppen Diatomeen, Flagellaten und Cyanobakterien, eine Zooplankton-Variable, Detritus und Eisen(III)-Phosphat. Zweidimensionale Variablen sind Nitrat und Phosphat in der Bodenschicht. Diese Variablen sind mittels partieller Differentialgleichungen gekoppelt, die Raten von Umwandlungsprozessen beschreiben. Diese werden im Euler-Vorwärts-Verfahren diskretisiert.

Über Advektions-Diffusions-Gleichungen ist das biogeochemische Modell in das Zirkulationsmodell integriert.

Die Markierung der Nährstoffe je nach Quelle erfordert weitere biologische Zustandsvariablen. So werden für jedes markierte Element (z.B. Phosphor aus der Oder) alle es potentiell enthaltenden Zustandsvariablen dupliziert. Darüber hinaus ist je ein weiterer Tracer nötig, um das Alter des Elements, also den Zeitraum seit seinem Eintritt in das Modell, zu verfolgen. Mit 9 markierten Elementen (Stickstoff und Phosphor aus Oder, Vistula, Njemen und Neva sowie Stickstoff aus Fixierung) ergeben sich so insgesamt 82 Zustandsvariablen.

Die Parallelisierung erfolgt durch Aufteilung des Modellgebietes auf die Prozessoren (Gebietszerlegung). Der notwendige Austausch der Werte an den Rändern der einzelnen Domänen wird mit der MPI Bibliothek realisiert. Alle verwendeten Algorithmen können im parallelen Mode arbeiten. Experimente auf dem HLRN2 haben gezeigt, dass die verwendete Modellkonfiguration bis zu 120 Prozessoren sehr gut skaliert. Bei Nutzung jedes zweiten Prozessors, also insgesamt 240 Prozessoren, sowie bei entsprechender Zuordnung der L2 caches können die Berechnungen um ca. Faktor 2 beschleunigt werden.

Aufgrund der Auflösung von 3 Seemeilen und der hohen Zahl an Zustandsvariablen ist der Rechenaufwand sinnvollerweise nur mit Hochleistungsrechnern zu bewältigen.

Vorarbeiten:

Das Projekt schließt sich an das Projekt "IKZMODER" (Simulation von Eutrophierungsszenarien in der Ostsee, mvk00010) an, in dem die geplante Vorgehensweise an einem einzelnen Nährstoff (Stickstoff aus der Oder) getestet wurde. Daher kann ein existierendes und validiertes Modellsystem für die Rechnungen verwendet werden. Aus dem Projekt liegen bereits Flussfrachten als Antriebsdaten vor. Auch die restlichen Antriebsdaten sind bereits aufbereitet und wurden bereits erfolgreich für Langzeitsimulationen verwendet. So werden als atmosphärische Antriebe die ERA40-Reanalysedaten des ECMWF verwendet.

Ergebnisse zur Studie über die Ausbreitung von Nährstoffen sind im folgenden Artikel nachzulesen:

Neumann, T., 2007: The fate of river-borne nitrogen in the Baltic Sea - an example for the River Oder, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 73, 1-7, DOI:10.1016/j.ecss.2006.12.005

Diese Studie hat gezeigt, dass sich über Flüsse eingetragene Nährstoffe (in diesem Fall Stickstoff) vor allem mit dem Tiefenwasser der Ostsee ausbreiten. Das bedeutet, dass entsprechende Simulationen die typischen Zeitskalen des Tiefenwassers abdecken müssen. Diese sind in der Größenordnung bis einige Dekaden.

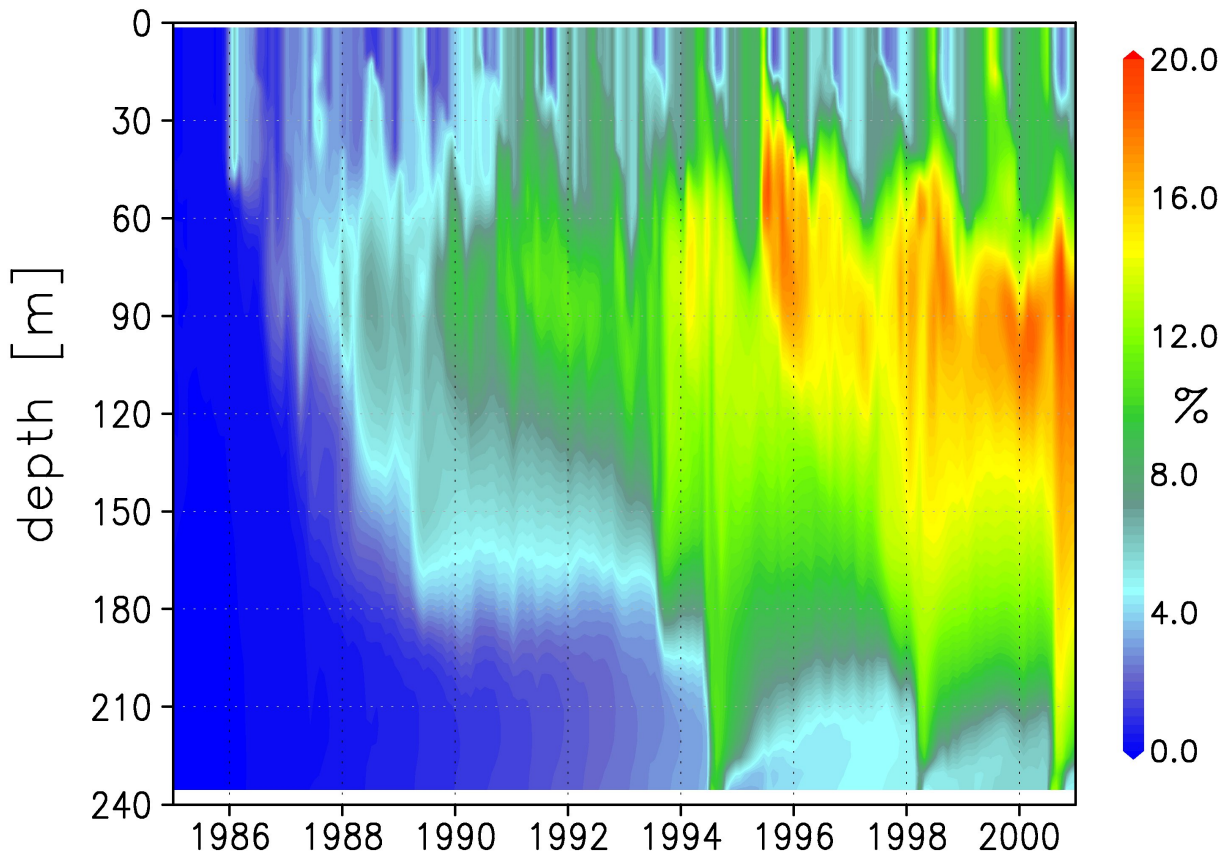


Abbildung 1: Zeitreihe des Anteils von Stickstoff aus der Oder am Gesamtstickstoff in der östlichen Gotlandsee.

Die Abbildung 1 zeigt eine Zeitreihe des Anteils von Stickstoff, der über die Oder eingetragen wird, in der östlichen Gotlandsee. Deutlich ist erkennbar, dass die Ausbreitung des Stickstoffs aus der Oder insbesondere mit der Ausbreitung des Zwischenwassers und den Einströmen von Tiefenwasser erfolgt.