Abschlussbericht BMBF-Projekt 03F0473D

Simulation der Hydrodynamik und der Schadstoffausbreitung in den Gewässern von Ostsumatra

Teilprojekt 4 im BMBF-Verbundprojekt Indonesien:
Cluster 3.2: Beeinflussung eines Küstenökosystems durch Flussfrachten

Laufzeit des Projektes: 01.09.2007 – 30.09.2010

Projektleiter: **Dr. Thomas Pohlmann**
Mitarbeiter: **Dr. Bernhard Mayer**

Institut für Meereskunde der Universität Hamburg
Zentrum für Meeres- und Klimawissenschaften

Das diesem Bericht zugrundeliegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03F0473D gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autoren.

I. Kurzdarstellung

I.1. Aufgabenstellung

Es sollen die steuernden Prozesse und die Variabilität der Küstengewässer mit Hilfe von Messkampagnen und Modellstudien untersucht werden. Es werden mehrere lokale Ästuar-Kampagnen sowie eine Küstenkampagne in der Malacca-Straße und westlichen Java-See in verschiedenen Saisons und Jahren durchgeführt, wobei auch der minimale und maximale Abfluss berücksichtigt wird. Zusätzlich werden Modellstudien durchgeführt, die die Anwendung des hydrodynamischen Modells HAMSOM auf zwei verschiedenen Skalen umfassen. Das mesoskalige Modell überdeckt die gesamte Malacca-Straße sowie die angrenzenden Meeresgebiete, während das feinskalige Modell nur die Küstenbereiche in der Umgebung der wichtigsten Flüsse Ost-Sumatras umfasst. Zuerst werden die hydrodynamischen Modelle für einen Zeitraum von 50 Jahren betrieben, um das Modell zu validieren aber auch um die natürliche Variabilität abschätzen zu können. Anschließend werden die Jahre 2008 und 2009, also die Zeiträume der Messkampagnen, noch einmal mit verbesserten Rand- und Antriebsdaten simuliert, die aus verfügbaren Messdaten gewonnen werden (u.a. QuickSCAT für Windantriebe und Tropical Microwave Imager (TMI) für SST-Daten).

Die hydrodynamischen Modellergebnisse werden nachfolgend verwendet, um die Ausbreitung von Schadstoffen zu beschreiben. In dem einzusetzenden Ausbreitungsmodell FAMTOM werden die Schadstoffe nicht wie konservative Stoffe behandelt, sondern das Modell ist an Schadstoffe angepasst, die als aktive Tracer behandelt werden. Das bedeutet, dass neben dem passiven Transport mit dem Strömungen auch Transformationsprozesse der chemischen Substanzen im marinen System berücksichtigt werden. FANTOM soll dazu benutzt werden, die Transportwege von Schadstoffen zu identifizieren, die aus den Flüssen stammen. Diese Ausbreitungsstudien stehen im engen Zusammenhang mit den chemischen Untersuchungen der Teilprojekte 1 und 2 sowie mit dem Fernerkundungs-Teilprojekt 5. Während im Teilprojekt 1 die Quellfunktionen für ausgewählt Flüsse und Ästuare erarbeitet werden, können die Ergebnisse des Teilprojektes 5 verwendet werden, um Parametrisierungen für das Schwebstoffmodul abzuleiten. Die Untersuchungen der Dynamik und Schadstoffausbreitung in den Gewässern um Ost-Sumatra werden dazu beitragen, die Vorhersagbarkeit dieses hochdynamischen Küstensystems und des angrenzenden Schelfbereichs besser zu verstehen. Auf diese Weise können die hier erarbeiteten Modellergebnisse die Planungsstrategien im Küstenzonen-Management in Hinblick auf eine nachhaltige Entwicklung hilfreich unterstützen.

I.2.Voraussetzungen unter denen das Projekt durchgeführt wurde

Für die numerische Modellierung standen das globale Zirkulationsmodell MPI-OM ohne Anpassungsbedarf, das regionale Zirkulationsmodell HAMSOM und das POP-Transportmodell FANTOM mit Bedarf zur Anpassung an die neue Region zur Verfügung. Das Deutsche Klimarechenzentrum, an dessen Großrechner alle Modelle laufen sollten, erhielt im laufenden Projekt einen neuen Großrechner, der völlig anders strukturiert ist als sein Vorgänger. Dies führte zu teilweise erheblichem Änderungsbedarf des Programm-Codes zumindest für HAMSOM: Der alte Großrechner war ein Vektor-Parallel-Rechner, auf den

HAMSOM optimiert war. Der neue Großrechner ist ein reiner Parallel-Rechner mit ganz anderer Arbeitsspeicherstruktur, auf den die interne HAMSOM-Modellstruktur neu optimiert werden musste. Das Schadstoff-Modell FANTOM hätte eigentlich ebenfalls angepasst werden müssen. Davon wurde abgesehen, weil es ohnehin noch nicht parallelisiert ist.

Wegen der geplanten Einführung eines neuen Großrechners mit weitaus größeren Kapazitäten wurde von der Strategie, ein mesoskaliges regionales Modell und ein feinskaliges regionales Modell zu nesten, abgewichen und direkt ein feinauflösendes regionales Modell aufgesetzt (horizontale Auflösung: ca. 1,8 km).

Große Sorgfalt wurde auf die Erstellung der Topografie des Modellgebietes angewandt, denn eine realisitsche Topografie ist Grundvoraussetzung für realistische Simulationsergebnisse. Die Modelltopografie wurde aus globalen Topografie-Datensätzen (GEBCO, ETOPO2) mit manuellen Korrekturen auf der Basis von Seekarten und von Satellitenbildern erstellt.

I.3. Planung und Ablauf des Projektes

a) Teilnahme an Messkampagnen (hydrographische Messungen)

Das Projekt hat sich an der Messkampagne im Oktober 2009 beteiligt. Während dieser Messkampagne war das Projekt für die Messungen der Hydrographie verantwortlich. Hierzu wurde eine selbstregistrierende SeaCat-CTD aus der Grundausstattung des Instituts für Meereskunde eingesetzt.

b) Numerische Modellierung der Hydrodynamik

Die hydrodynamische Modellierung des Untersuchungsgebietes geschah in zwei Abschnitten, um ein genestetes Modellsystem anzuwenden. Als Basis erzeugte das globale Ozeanzirkulationsmodell MPI-OM, das mit meteorologischen NCEP-Daten angetrieben wurde, einen konsistenten globalen Datensatz, allerdings nur mit einer horizontalen Auflösung von ca. 45 km.

Für die feine Auflösung (1’ entsprechend ca. 1,8 km) wurde anschließend das regionale Zirkulationsmodell HAMSOM auf das Gebiet der Malacca-Straße inklusive der vorgelagerten westlichen Java-See und des südwestlichen Südchinesischen Meeres (Gebiet: ca. 97° bis 109° östlicher Länge, 5° südlicher bis 5° nördlicher Breite). Dieses regionale Modell wurde mit den gleichen meteorologischen NCEP-Daten wie das globale Modell angetrieben und erhielt an seinen offenen Rändern die Informationen (Wasserstand, vertikal aufgelöste Temperatur- und Salzgehaltsverteilungen) als Tagesmittelwerte vom globalen Modell. Zusätzlich wurden an den offenen Rändern Gezeiten (13 Partialtiden) vorgegeben, die mit Hilfe des Gezeitenvorhersagemodells OTPS der Universität von Oregon, USA, erzeugt wurden.

Die auf diese Weise erzeugten fein aufgelösten Strömungsdaten und Verteilungen von Temperaturen und Salzgehalten decken den Zeitraum 1980 bis 2006 ab.

c) Numerische Modellierung der Schadstoffausbreitung

Die detaillierten Strömungsdaten wurden verwendet, um das Ausbreitungsmodell FANTOM anzutreiben, das für den Zeitraum 2000 bis 2006 die Ausbreitung der nur durch Flüsse eingetragenen POPs γ-HCH und PCB 153 simulierte. Da keinerlei Daten zu Konzentrationen dieser persistenten organischen Schadstoffe vorliegen, wurde die Simulation nur mit Flusswassereintrag durchgeführt, und zwar mit konstanter Konzentration von 1 ng/l im Flusswasser. Allerdings waren die Wasserfrachten der Flüsse selber nicht konstant, da für

den simulierten Zeitraum aus klimatologischen Niederschlagsmengen Oberwasserraten erzeugt werden konnten.

I.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand

In Abschnitt I.2 wurden bereits die technischen Voraussetzungen und damit der Stand beschrieben.

Bisher sind die ozeanographischen Bedingungen der Gewässer vor Ost-Sumatra nicht besonders gut erforscht. Das trifft insbesondere auf die saisonale, inter-annuale und andere Variabilitäten zu, die sowohl vom Monsun als auch von weiter entfernten Schwankungen (ENSO-Signal, IOD) wahrscheinlich massiv beeinflusst werden.

Nur sehr wenige numerische Studien wurden für diese Region angefertigt, wobei dann zumeist die Gezeiten im Mittelpunkt der Untersuchungen standen (Rizal, 1994). Aus diesem Grund stammen die meisten Informationen zur Zirkulation der Malacca Straße entweder aus Beobachtungen (Wyrtki, 1961) oder von numerischen Modellen, die ursprünglich weit größere Regionen abdecken und damit die Malacca Straße nur unzureichend auflösen (Pohlmann, 1985, 1987, Mihardja, 1990). Außerdem wurden frühere Modelle meistens nur mit klimatologischen Daten angetrieben, weshalb sie keine Informationen zu inter-annualen Variabilitäten liefern konnten. Ein weiteres Problem bisheriger Simulationen war außerdem die unzureichende Verfügbarkeit von Beobachtungsdaten zur Validation der Modelle. Allerdings hat sich dieser Punkt bislang nicht geändert.

In dieser Studie wurde auf NCEP-Reanalyse-Daten zurückgegriffen, aus denen sich für die zu simulierenden Jahre meteorologische Antriebsdaten für die Untersuchungsregion extrahieren lassen. Diese Daten enthalten eine große Bandbreite unterschiedlicher räumlicher und zeitlicher Variabilitäten, mit denen das Modell forciert wurde.

Die Kombination der hydrodynamischen Modellergebnisse mit chemisch-biologisch ausgerichteten Untersuchungen, insbesondere auch zur Schadstoffdynamik, wurde nicht nur für die Nordsee erfolgreich durch geführt (Pohlmann et al., 1999, Ilyina et al., 2006, Ilyina et al., 2008), sondern auch für andere Meeresgebiete wie den Nordatlantik (TASC; ICOS) und die Bohai See (Jiang et al., 2002). Von daher war bereits zu Beginn des Projektes davon auszugehen, dass diese erprobten Strategien auch in den indonesischen Gewässern erfolgreich sein werden.

Es wurde zuvor schon erwähnt, dass für dieses Gebiet keine Daten zu POP-Konzentrationen zur Verfügung stehen. Da es auch nicht Gegenstand dieses Projektes war, entsprechende Daten zu sammeln, wurde zur Ausbreitungsmodellierung eine Fallstudie durchgeführt, die aber auch schon sehr interessante Ergebnisse lieferte.

I.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Projekt wurde intensiv mit den anderen Teilprojekten des Clusters 3.2 zusammengearbeitet. Das bezieht sich zum einen auf die gemeinsam durchgeführte Messkampagne, bei der das IfM-Projekt für die chemisch und biologisch orientierten Projekte die physikalischen Parameter gemessen hat. Diese sind notwendig, um die chemischen und biologischen Messungen mithilfe des physikalischen Hintergrundsignals interpretieren zu können. Außerdem wurde mit den indonesischen Kollegen der Universität von Riau

zusammengearbeitet. Auf der Messkampagne wurden die Studenten mit den gängigen ozeanographischen Messmethoden vertraut gemacht.

II. Detaillierte Darstellung

II.1. Erzielte Ergebnisse

a) Messkampagne (hydrographische Messungen)

Das Projekt war während der Messkampagne im Oktober 2009 für die Messungen der Hydrographie verantwortlich. Hierzu wurde eine selbstregistrierende SeaCat-CTD aus der Grundausstattung des Instituts für Meereskunde eingesetzt.

Abb. 1 zeigt eine Karte der Malacca-Straße mit allen Stationen, die die Messkampagne abgefahren hat. Mit roten Punkten sind die küstennahen Stationen dargestellt, mit blauen Punkten die küstenfernen Stationen.

Als Beispiel für die Messungen sind in Abb. 2 die CTD-Messungen der Salzgehalts-profile an allen Stationen dargestellt. Deutlich zu erkennen sind die Frischwasserbereiche der Flüsse, die auf der küstennahen Route lagen. Es ist auch erkennbar, dass das Wasser nahezu überall, auch in den Mündungsbereichen der Flüsse, vertikal gut durchmischt ist, dass es also keine Schichtung gibt.

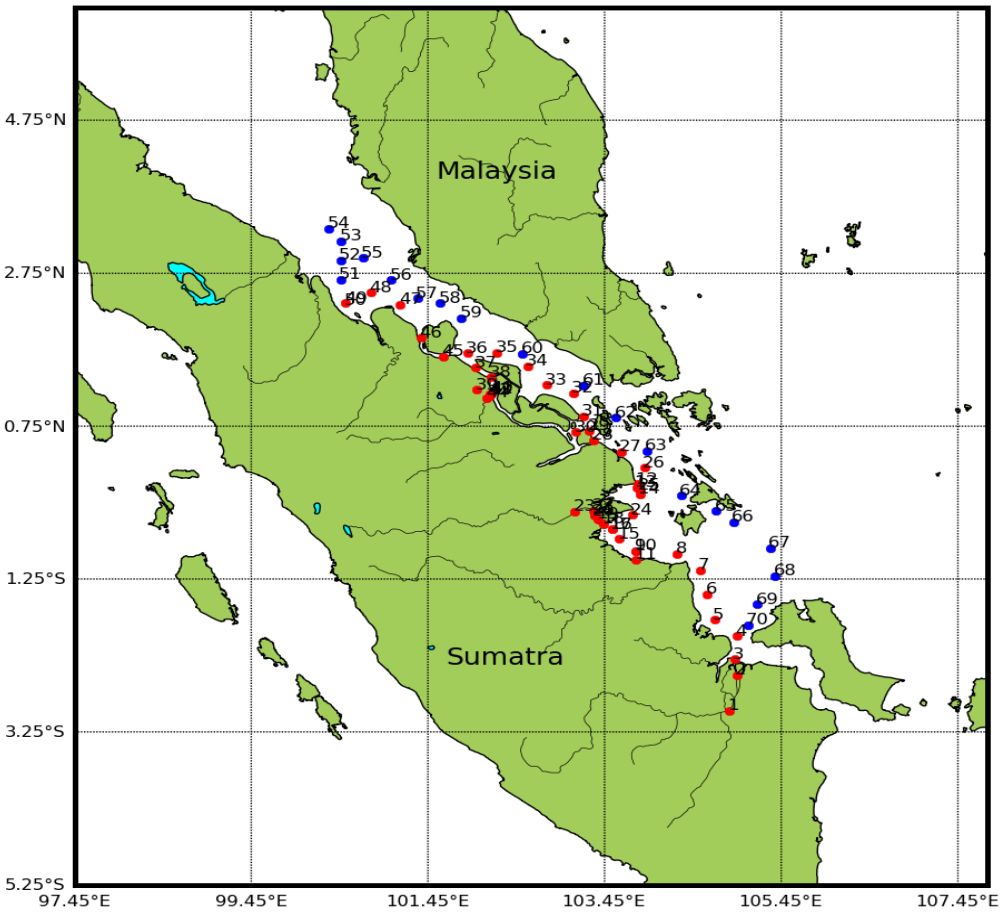

Abbildung 1: Stationen der Messkampagne 3.-16. Oktober 2009 mit der „Aliikai“. Rote Punkte stellen die küstennahen, blaue Punkte die küstenfernen Stationen dar.

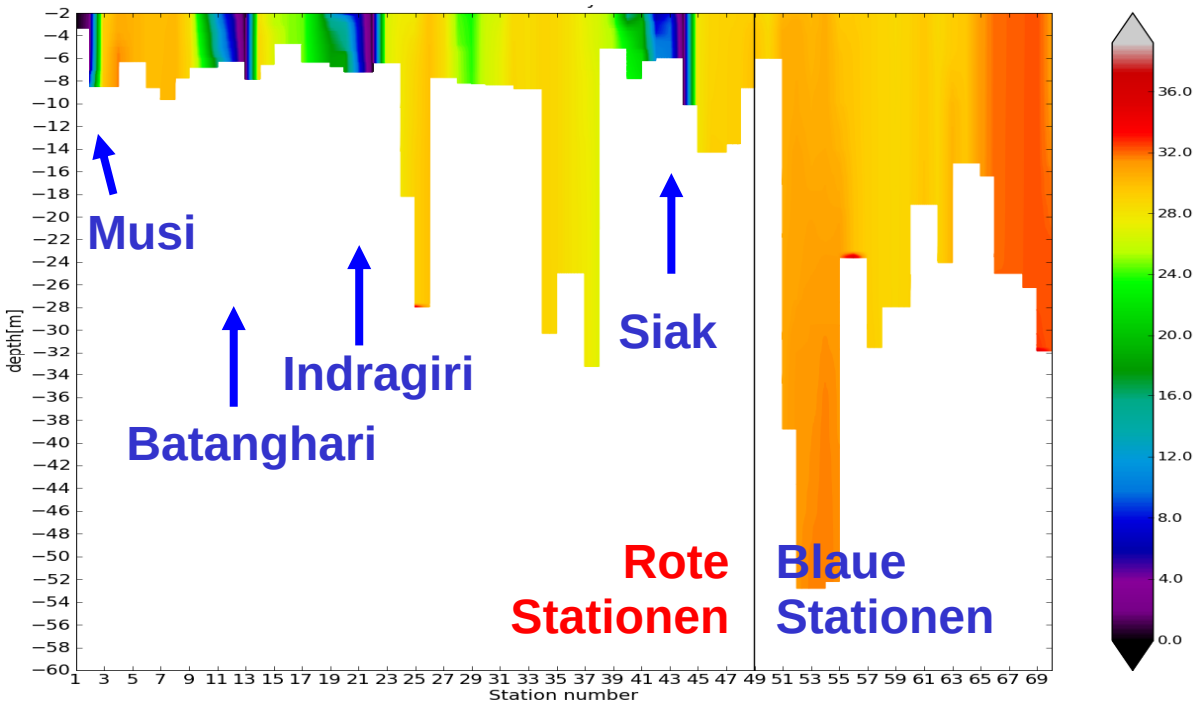

Abbildung 2: Darstellung aller CTD-Profile (Salinität in PSU) entlang der Route, wie sie in Abb. 1 dargestellt ist.

b) Numerische Zirkulationsmodellierung

Mit der numerischen Modellierung der Hydrodynamik im Gebiet von Interesse wurde der Zeitraum von 1980 bis 2006 abgedeckt. Auf eine Validation wurde verzichtet, weil das regionale Modell HAMSOM bereits früher erfolgreich auf dieses Gebiet angewendet wurde.

Die Malacca Straße verbindet den Indischen Ozean und die Java See, die bereits zum Pazifik zählt. Damit sind die dynamischen Verhältnisse in dieser Straße von beiden Regimen bestimmt.

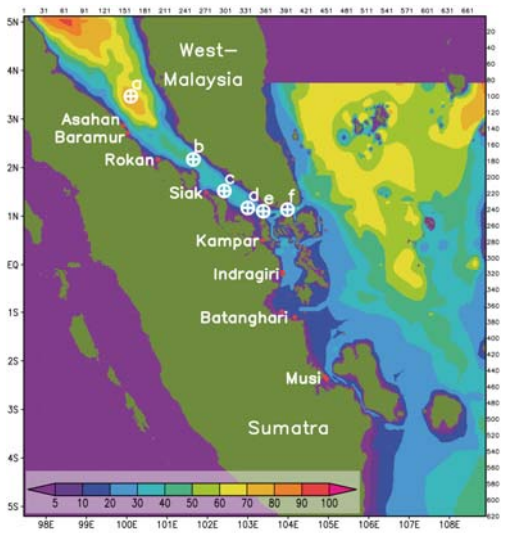

Abbildung 3: Modellgebiet für das regionale Modell HAMSOM. Tiefen sind in Metern. Die roten Punkte zeigen die Inputpunkte für die berücksichtigten Flüsse an, die weißen Marker stellen die Orte für die in Abb. 8 dargestellten Hovmöller-Diagramme.

Im borealen Winter, also während des Nordostmonsuns, strömt das Wasser im Südchinesischen Meer windbedingt Richtung Süden und dann weiter ostwärts in die Java See (Abb. 4, rechts). Ein kleiner Teil der Wassermassen schwenkt nach Nordwesten und strömt durch die Singapur-Straße in die Malacca Straße und dann in Richtung Andaman See. Der Grund ist der erhöhte Wasserstand in der Java See gegenüber der Andaman See. Auf diese Weise wird warmes, salzarmes Wasser in die Malacca Straße transportiert.

Während des Südwestmonsuns, der in Abb. 4 (links) durch die Verhältnisse im Juni 2006 repräsentiert wird, hat sich der Gradient des Wasserstandes abgeschwächt. Die Oberflächenströmung in der Malakka Straße weiterhin nach Nordwesten gerichtet, was durch die vorherrschenden südwestlichen Winde in dieser Monsunphase zu erklären ist. Der darunter liegende Wasserkörper stagniert aber nun in seiner Bewegung.

Um die interannuale und saisonale Variabilität in diesem Gebiet zu zeigen, stellt Abb. 5 den über das gesamte Modellgebiet gemittelten Salzgehalt und die entsprechende Temperatur als Monatsmittelwerte über den gesamten simulierten Zeitraum dar. Es ist zu sehen, dass es deutliche saisonale Signale, aber keine regelmäßigen interannualen Schwankungen gibt. Am Anfang eines jeden Jahres weist die Salzgehaltskurve ein Minimum und die Temperaturkurve ein Maximum auf. Die Schwankungen, die von Jahr zu Jahr in den Kurven zu sehen sind, müssen noch weiter untersucht werden.

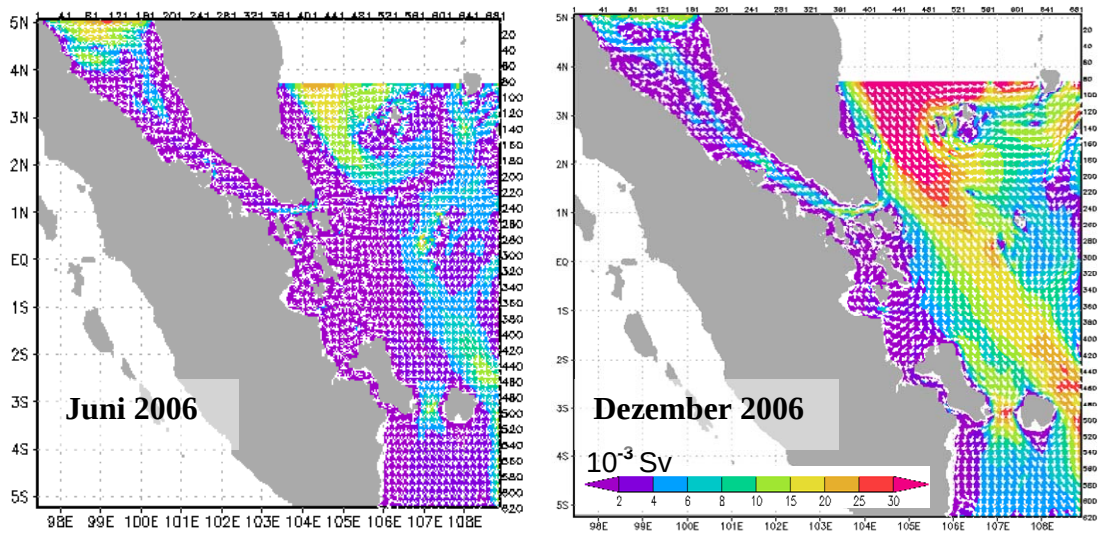

Abbildung 4: Simulierte Transporte in 10^{-3} Sverdrup (= 1.000 m^3/s), gemittelt für Juni (links) und Dezember (rechts) 2006. Die Farben geben den Betrag des Transports wider, die Pfeile zeigen die Richtung des Transports an. Die Skala im rechten Bild gilt für beide Grafiken.

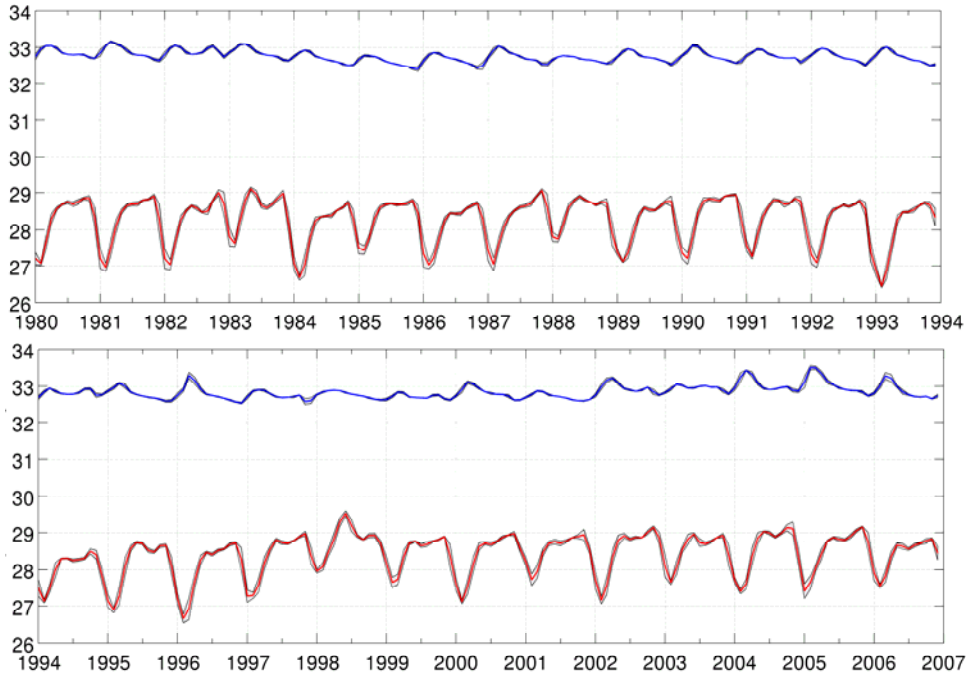

Abbildung 5: Zeitreihen der Monatsmittelwerte des über das gesamte Modellgebiet gemittlelte Salzgehaltes (blaue Linie) und der Temperatur (rote Linie) für den Zeitraum 1980-1993 (oben) und 1994-2006 (unten). Der graue Bereich, der die Kurven begleitet, stellt die Standard-Abweichung für die in den Monatsmittelwert eingegangenen Tageswerte dar.

c) Numerische Schadstoffausbreitungsmodellierung

Die oben beschriebenen Strömungsdaten wurden verwendet, um das POP-Transport-modell FANTOM anzutreiben. Aufgrund des Mangels an Inputdaten, der im Rahmen dieses Projektes auch nicht behoben werden konnte, wurde eine Fallstudie vorgenommen, die aber auch schon sehr interessante Ergebnisse liefert: Es wurden nur POP-Einträge durch die wichtigsten Flüsse von Ostsumatra, die auch das hydrodynamische Modell berücksichtigt, zugelassen. Weder Einträge durch die Atmosphäre noch durch offen Seeränder des Modells oder Austausch mit dem Sediment war Gegenstand dieser Simulation. Für alle Flüsse wurde eine konstante Konzentration von 1 ng/l vorgegeben, so dass die Flusseinträge nur aufgrund der zeitabhängigen Abflussmengen variierten.

Die Ausbreitungssimulation wurde mit zwei verschiedenen POPs durchgeführt (γ-HCH und PCB 153), die sich vor allem durch ihre unterschiedliche hydrophobe bzw. hydrophile Eigenschaft und durch ihre Halbwertszeit.

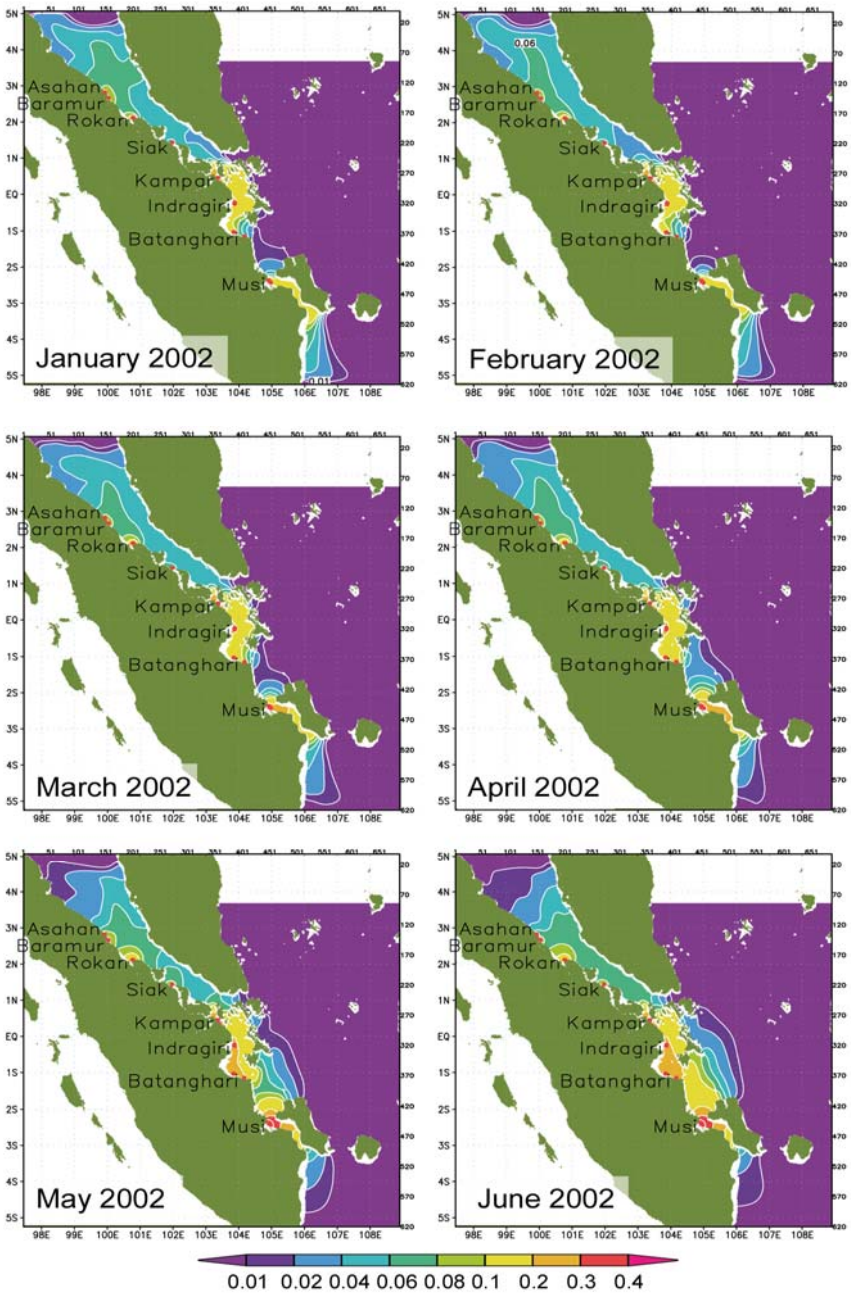

Abbildung 6a: Konzentration von γ-HCH in ng/l im Jahr 2002 (Januar bis Juni) als vertikales und zeitliches Mittel im jeweiligen Monat. Quellen für γ-HCH waren in dieser Simulation nur die Flüsse, die auch in den Grafiken eingezeichnet und benannt sind.

Abb. 6a und 6b zeigen beispielhaft die Ergebnisse der γ-HCH-Simulation als horizontale Verteilung der vertikal und monatlich gemittelten Konzentrationen für alle Monate des Jahres 2002. Diese Verteilung sieht prinzipiell jedes Jahr gleich aus. Die Verteilungsmuster bestätigen, was im oberen Abschnitt bereits zur Zirkulation beschrieben wurde. Die aus den Flussmündungen stammenden POP-Fahnen halten sich vorwiegend an der Ostküste Sumatras auf, reichen in der Malacca Straße im borealen Winter wesentlich weiter nach Norden als im borealen Sommer, wenn die POPs von der Strömung sogar östlich von Singapur in das Südchinesische Meer hinein verteilt werden.

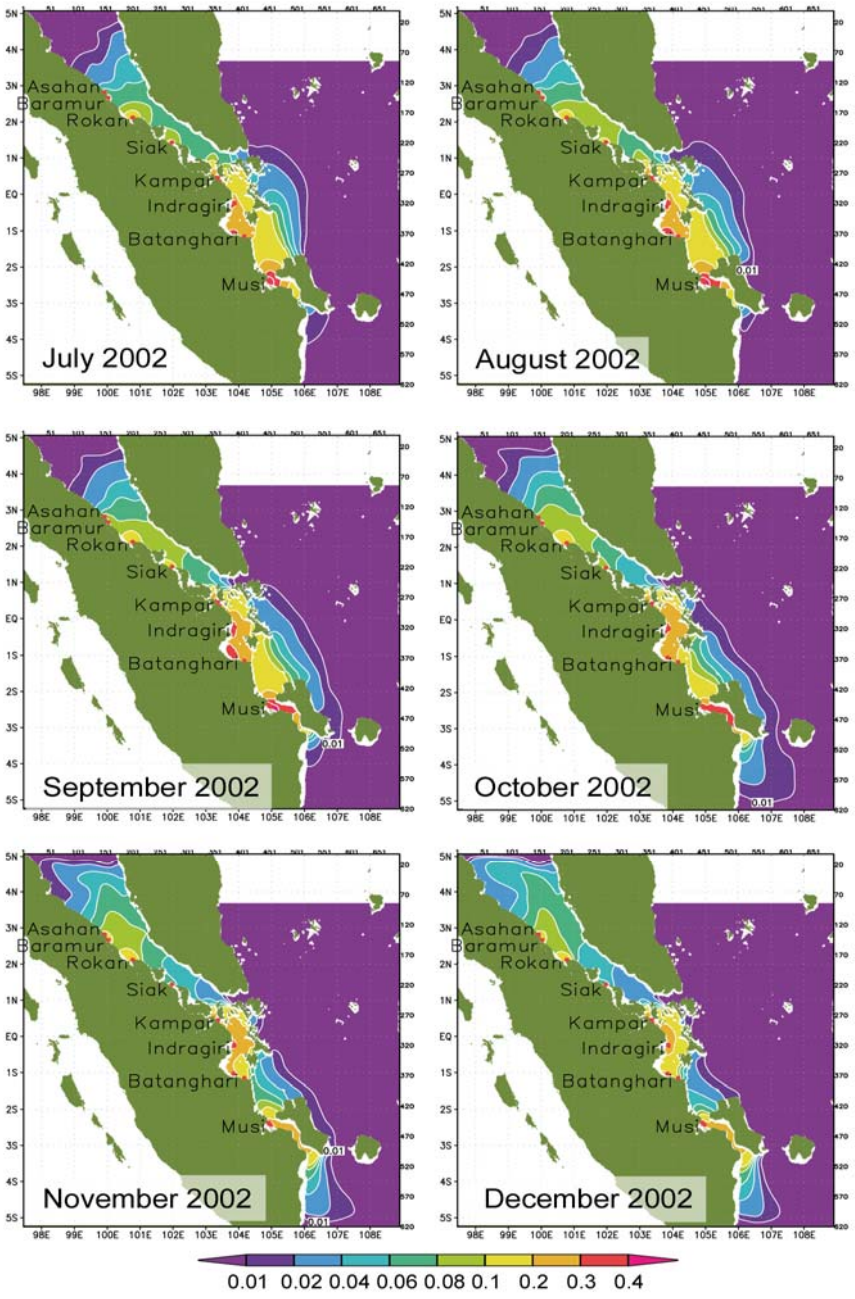

Abbildung 6b: Konzentration von γ-HCH in ng/l im Jahr 2002 (Juli bis Dezember) als vertikales und zeitliches Mittel im jeweiligen Monat. Quellen für γ-HCH waren in dieser Simulation nur die Flüsse, die auch in den Grafiken eingezeichnet und benannt sind.

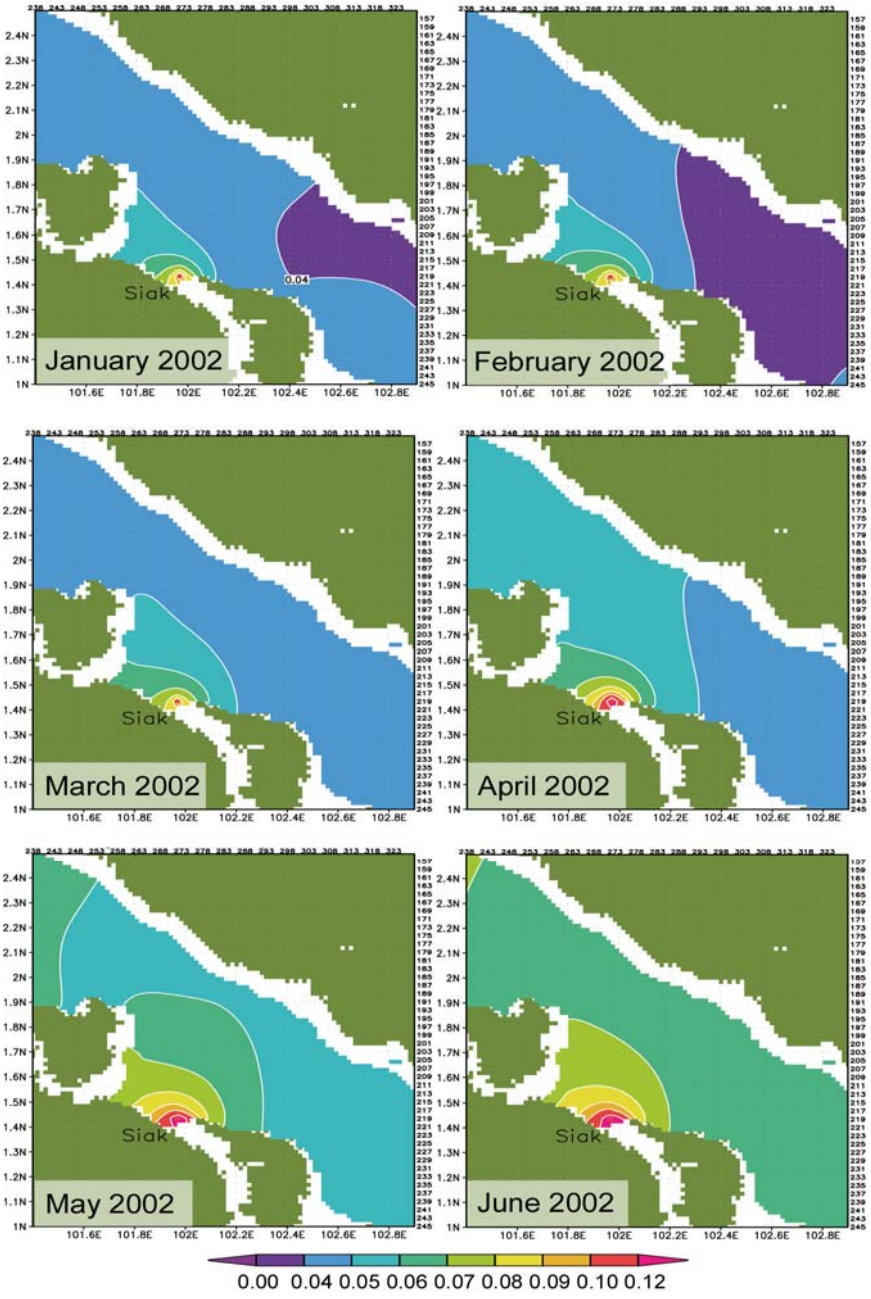

Abbildung 7a: Konzentration von γ-HCH in ng/l im Jahr 2002 (Januar bis Juni) als vertikales und zeitliches Mittel im jeweiligen Monat. (Ausschnitt aus Abb. 6a)

Abb. 7a und 7b zeigen das Gebiet um die Flussmündung des Siak als Vergrößerung der Abb. 5a und 5b. Auch hier ist deutlich zu sehen, dass sich im borealen Sommerhalbjahr die POP-Konzentrationen in der Malacca Straße vor der Siak-Mündung erhöhen, weil der Abtransport wesentlich geringer ist als im Winter.

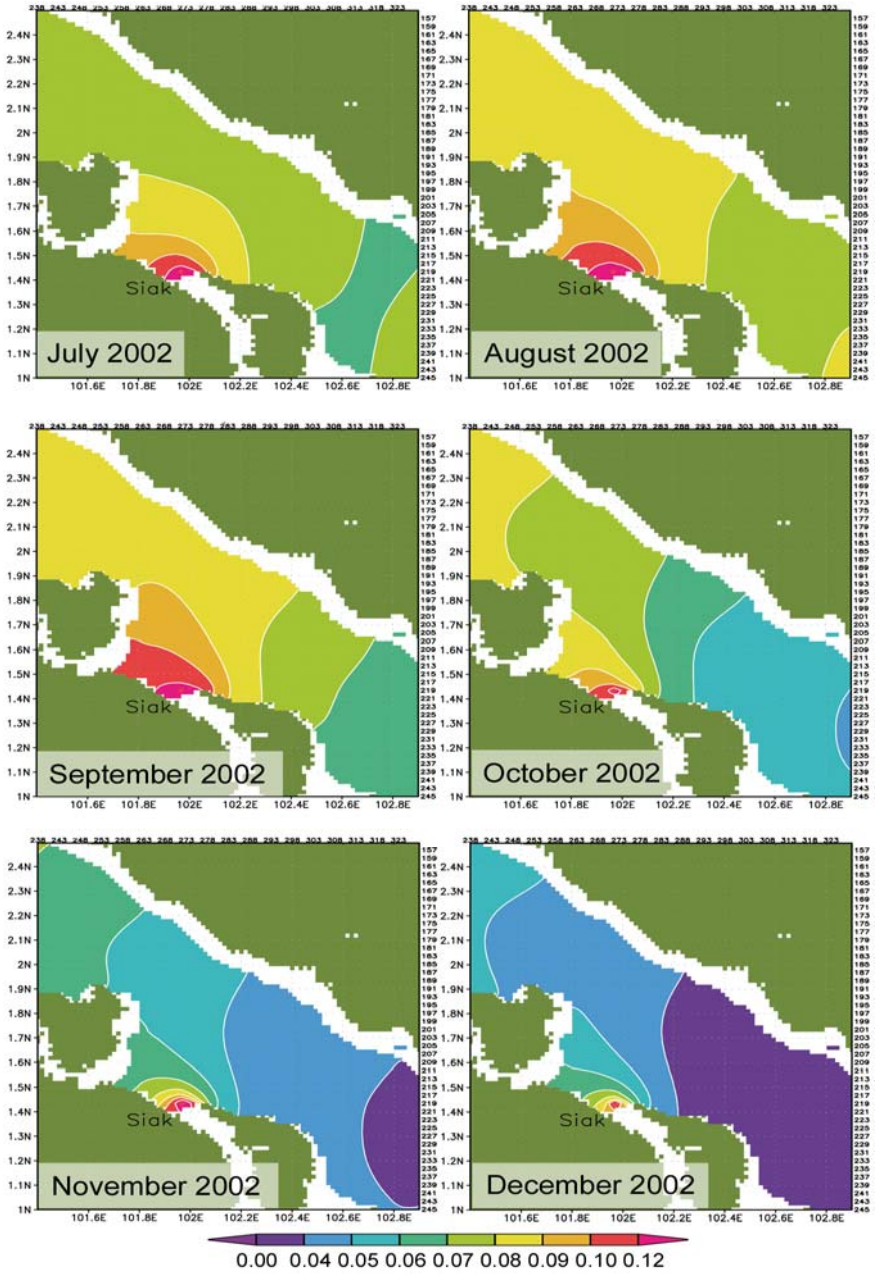

Abbildung 7b: Konzentration von γ-HCH in ng/l im Jahr 2002 (Juli bis Dezember) als vertikales und zeitliches Mittel im jeweiligen Monat. (Ausschnitt aus Abb. 6b)

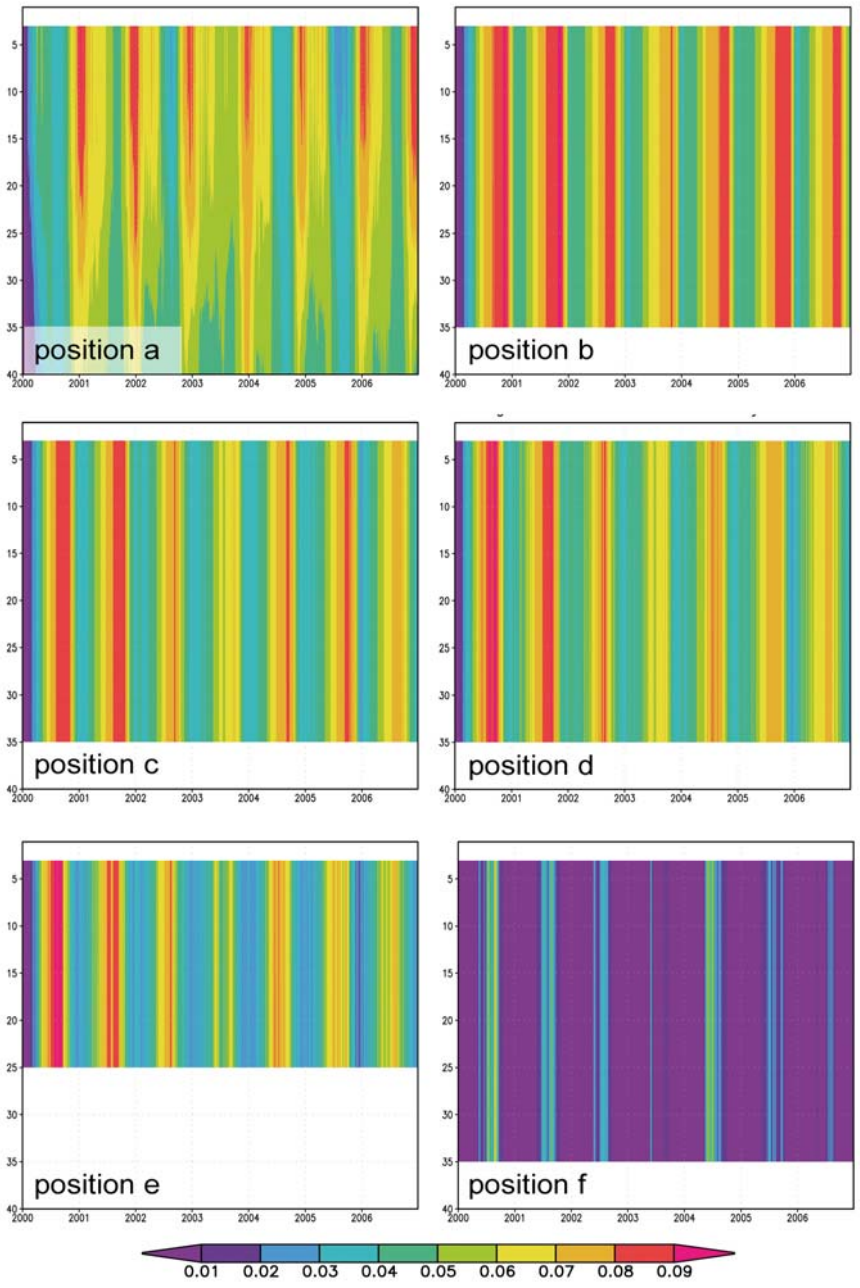

Abbildung 8: Vertikal aufgelöste γ-HCH-Konzentrationen in ng/l für den Zeitraum 2000 bis 2006 an den in Abb. 3 dargestellten Positionen a bis f. Tiefenskala zeigt Meter an.

Abb. 8 stellt in Hovmöller-Diagrammen die vertikal aufgelöste γ-HCH-Konzentration für die Positionen dar, die in Abb. 3 durch weiße eingekreiste Kreuze markiert wurden. Auch hier zeigt sich ein ganz klares saisonales Signal in den Konzentrationen aller Stationen. Außerdem lässt sich gut erkennen, wie gut das Gebiet vertikal durchmischt ist, denn es gibt mit Ausnahme der Position a, die zugleich die tiefste derhier dargestellten Stationen ist, keine vertikalen Konzentrationsgradienten.

II.2. Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Indonesien ist ein sehr schnell wachsendes Schwellenland. Dies betrifft sowohl die Bevölkerungszahlen mit entsprechend höherer Produktion von Abwässern als auch die Industrie und die Landwirtschaft, die beide ebenfalls höhere Umweltbelastungen mit sich bringen. Dies betrifft gerade auch die beiden POPs, deren Verteilung im Rahmen dieses Projektes in einer Fallstudie untersucht wurden.

Der große Bevölkerungsdruck sowie die wirtschaftliche Entwicklung führen dazu, dass die küstennahen Gewässer über die Flüsse, aber auch direkt über die Küstenorte einer zunehmenden anthropogenen Belastung ausgesetzt sind. Die Projektergebnisse können deshalb einen Beitrag leisten für ein notwendiges „Coastal Zone Management" der Gewässer, bei dem die einzelnen Nutzungsarten sinnvoll gegeneinander abgewogen werden. Die Kenntnis der Zirkulationsverhältnisse in den verschiedenen Monsunphasen sowie die damit verbundenen Variabilitäten, wie sie in diesem Projekt erarbeitet wurden, sind Grundvoraussetzung für jegliches tiefere Verständnis der Region. Die außerdem durchgeführten Ausbreitungsszenarien können erste Hinweise darauf liefern, welche Regionen durch die Schadstoffeinträge besonders gefährdet sind.

II.3. Fortschritte von anderen Stellen

Soweit den Projektteilnehmern und den indonesischen Projektpartnern bekannt, wurden während der Laufzeit des Projektes keine weiteren hydrodynamischen oder Schadstoffuntersuchungen in den Gewässern durchgeführt. Von daher wurden bezüglich der hier dargestellten Untersuchungen keine Fortschritte von anderen Stellen erzielt.

II.4. Veröffentlichungen

Im Projekt entstandene Publikationen

Mayer B., T. Pohlmann (2011): Simulation of organic pollutants: first step towards an adaptation to the Malacca Strait. In prep. for: The Siak, a blackwater river in Sumatra, Indonesia, Coastal Research Library Series.

Mayer, B. (2011): Variability and climatology of the circulation in the Malacca Strait from long-term numerical simulation results. In prep.

Putri, M. R., T. Pohlmann, (2009): ,Hydrodynamic and Transport Model of the Siak Estuary. Asian Journal of Water, Environment and Pollution 6, 76-80.

Putri M. R., Thomas Pohlmann (2011): Lagrangian model simulation of passive tracer dispersion in the Siak Estuary and Malacca Strait. In prep. for: The Siak, a blackwater river in Sumatra, Indonesia, Coastal Research Library Series.

Rixen T., Baum, A., Sepryani, H., Pohlmann, T., Jose C, Samiaji,J. (2010): Dissolved oxygen and its response to eutrophication in a tropical black water river. J. of Environmental Management 91, 1730-1737.

Rixen, T., A. Baum, T. Pohlmann, W. Balzer, J. Samiaji, C. Jose, (2008): The Siak, a tropical black water river in central Sumatra on the verge of anoxia. Biogeochemistry 90, 129-140.

Siegel, H, I. Stottmeister, M. Gerth, T. Ohde, T. Pohlmann, B. Mayer (2011): Hydrographic conditions and bio-optical characterisation of the Siak water. In prep. for: The Siak, a blackwater river in Sumatra, Indonesia, Coastal Research Library Series**.**

Relevante Publikationen der Projektmitarbeiter

Carbajal, N., T. Pohlmann (2004): Comparison between measured and calculated tidal ellipses in the German Bight, Ocean Dynamics, 54, 520-530.

Hainbucher, D., H. Wei, Th. Pohlmann, J. Sündermann, S. Feng (2003): Variability of the Bohai Sea circulation based on model calculations. Journal of Marine Systems 44, 153-174

Ilyina, T., T. Pohlmann, G. Lammel, J. Sündermann, (2006): A fate and transport ocean model for persistent organic pollutants and its application to the North Sea. Journal of Marine Systems 63, 1-19.

Ilyina, T., T. Pohlmann, G. Lammel, (2008): Mass Budgets and Contribution of Individual Sources and Sinks to the Abundance of gamma-HCH, alpha-HCH and PCB-153 in the North Sea. Chemosphere 72, 1132-1137.

Mayer, B., P. Damm, T. Pohlmann, S. Rizal (2010): What is driving the ITF? An illumination of the Indonesian throughflow with a numerical nested model system. Dynamics of Atmopheres and Oceans 50, 301-312.

Pohlmann, T., (1987): A Three Dimensional Circulation Model of the South China Sea. In: Three Dimensional Models of Marine and Estuarine Dynamics, Editor: J. Nihoul und B. Jamart, Elsevier Scientific Publishers, 245-268.

Pohlmann, T., W. Puls (1994): Currents and transport in water. In: Circulation and Contaminant Fluxes in the North Sea. New York, Springer Verlag, 345-402.

Pohlmann, Th., S. Beddig, U. Brockmann, S. Dick, R. Doerffer, M. Engel, Hesse, K.-J., P. König, B. Mayer, A. Moll, D. Murphy, W. Puls, Th. Raabe, H.-J. Rick, R. Schmidt-Nia, W. Schönfeld, J. Sündermann (1999): Combined analysis of field and model data: A case study of the phosphate dynamics in the German Bight in summer 1994. Deutsche Hydrographische Zeitschrift, Vol 51, Heft 3/4, 331-354.

Pohlmann, T., (2006): A meso-scale model of the central and southern North Sea: consequences of an improved resolution. Continental Shelf Research 26, 2367 - 2385

Puls, W., J. van Beusekom, U. Brockmann, R. Doerffer, U. Hentschke, P. König, D. Murphy, B. Mayer, A.Müller, Th. Pohlmann, A. Reimer, R. Schmidt-Nia, J. Sündermann (1999): Suspended matter regimes in the German Bight and the German Wadden Sea. Deutsche Hydrographische Zeitschrift, Vol 51, Heft 3/4, 221-244.

Su, J., T. Pohlmann, (2009): Wind-topography interaction in an upwelling system in the eastern Hainan coast, in press, Journal of Geophysical Research, doi:10.1029/2008JC005018.

Su, J., J. Wang, T. Pohlmann, D. Xu (2011): The response of eastern Hainan shelf to the upwelling events during summer 2007-08. Accepted: to Ocean Dynamics.

Wensheng J., T. Pohlmann, J. Sun, A. Starke (2003): SPM transport in the Bohai Sea: field experiments and numerical modelling. Journal of Marine Systems 44, 175-188.

.**Wei, H., D. Hainbucher, Th. Pohlmann, S. Feng, J. Sündermann (2003):** Tidal-induced Lagrangian and Eulerian mean circulation in the Bohai Sea. Journal of Marine Systems 44, 141-152

Andere zitierte Publikationen

Sündermann, J. and D.K. Mihardja, (1990): Tides in the Asian-Australian waters and their momentum and energy budgets. In: McCarthy, D.D. and W.E. Carter (eds.). Variations in Earth rotation. Geoph. Monogr., 59, AGU 1990.

Rizal, S. (1994): Numerical Study of the Malacca Strait (Southeast Asia) with a three-dimensional numerical model. Ber. Zentr. f. Meeres- und Klimaforschung Reihe B, Hamburg.

Wyrtki, K., (1961): Physical Oceanography of the Southeast Asian Waters.-California, Univ. California, NAGA Report, Sci. Res. Mar. Invest. South China Sea Gulf of Thailand, vol.2,195p. CNA/I.