

An das

Aug. 2011

Forschungszentrum Jülich, Projektträger

Seestr.15, 19119 Rostock

z. Hd. Frau Dr. S. Fretzdorff, Frau P. Huber, Herrn Dr. J. Harms

## Abschlussbericht

zum Verbundprojekt SPICE-Cluster 4 (03F0473 A bis E):

### "Indonesien - Beeinflussung der Küstenökosysteme Ost-Sumatras durch Flussfrachten: Schadstoffmengen, deren Transport und Verbleib"

(Impact of land-sea fluxes from major rivers of East-Sumatra on coastal ecosystem health: pollutant loads, transport and fate)

**Laufzeit des Vorhabens: 1. Sept. 2007 bis 31. Dez. 2010**

**Koordinator: Prof. Dr. W. Balzer, Univ. Bremen**

#### **Einzelberichte der deutschen Institutionen mit den verantwortlichen Wissenschaftlern**

- 03F0473A Beeinflussung der Küstenökosysteme Ost-Sumatras durch anthropogene und natürliche Flussfrachten von Schwermetallen und PAH's sowie Koordination des Gesamtprojekts" (**Prof. Dr. W. Balzer**, FB 2 – Meereschemie, Universität Bremen)
- 03F0473B Industrielle und städtische Einleitungen von natürlichem und anthropogenem partikulärem organischem Material in Ostsumatra, Indonesien (**Prof. Dr. G. Liebezeit**, Forschungszentrum Terramare, Wilhelmshaven)
- 03F0473C Untersuchung der Prozesse, die den Eintrag von gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) aus den Mooren Sumatras (Indonesien) in den Ozean kontrollieren sowie der Auswirkung des DOC-Eintrags auf aquatische Ökosysteme (**Dr. T. Rixen**, Leibniz-Zentrum für Marine Tropenökologie, Bremen)
- 03F0473D Simulation der Hydrodynamik und der Schadstoffausbreitung in den Gewässern von Ostsumatra (**Dr. T. Pohlmann**, Institut für Meereskunde, Universität Hamburg)
- 03F0473E Untersuchung des Küstenabflusses im Südost-Sumatra mit Satellitendaten der Wasserfarbe und *in situ* Messungen (**Dr. H. Siegel**, Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde, Rostock)

Das diesem Bericht zugrundeliegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03F0473 A-E gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

## **Beteiligte Institutionen:**

### **Indonesien**

BRKP (Dr. Ali Suman, Research Institute for Openwater Fisheries), Palembang  
University of Riau (Dr. J. Samiaji, UNRI, Fisheries and Marine Sciences), Pekanbaru  
University of Riau (Dr. C. Jose, UNRI, Dept. of Chemistry), Pekanbaru  
BPPT (Dr. N. Hendiarti, Agency for Assessment and Applic. of Technology), Jakarta  
BPPT (Dr. Seno Adi, Agency for Assessment and Applic. of Technology), Jakarta  
Andalas University (Prof. Dr. A. Arbain, Fac. of Math. and Nat. Sciences), Padang

### **Deutschland**

Universität Bremen (Prof. Dr. W. Balzer, FB 2 - Meereschemie), Bremen  
Forschungszentrum Terramare (Prof. Dr. G. Liebezeit, FTM), Wilhelmshaven  
Leibniz-Zentrum für Marine Tropenökologie (Dr. T. Rixen, ZMT), Bremen  
Universität Hamburg (Dr. T. Pohlmann, Institut für Meereskunde), Hamburg  
Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (Dr. H. Siegel, IOW), Rostock

## Abschlussbericht

Zuwendungsempfänger:

**Prof. Dr. Wolfgang Balzer**  
FB2 – Meereschemie  
Universität Bremen  
Leobener Straße  
D-28359 Bremen

Förderkennzeichen:

**03F0473 A**

Vorhabenbezeichnung:

**SPICE II Cluster 4: TP 1 und Cluster-Koordination: Beeinflussung der Küstenökosysteme Ost-Sumatras durch anthropogene und natürliche Flussfrachten von Schwermetallen und PAH's**

(TP1 and Coordination of cluster 4: Anthropogenic impacts by heavy metals and polynuclear aromatic hydrocarbons on the health of East Sumatran coastal environments)

Laufzeit des Vorhabens:

**01. Sept. 2007 – 31. Aug. 2010, verlängert bis 31. Dez. 2010**

Autoren:

**Prof. Dr. Wolfgang Balzer (Projektkoordinator)**  
unter Mitwirkung von B. Bach, I. Becker, Dr. M. Lukman, M. Müller

**Das diesem Bericht zugrundeliegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03F0473A gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.**

## **I. Kurzdarstellung**

### **I.1 Aufgabenstellung**

Für die sechs Hauptflüsse Ost-Sumatras Rokan, Siak, Kampar, Indragiri, Batang Hari und Musi (Provinzen: Riau, Jambi, Süd-Sumatra), die in unterschiedlichem Umfang Moor- und Torfgebiete (peatland) entwässern, gibt es weder Kenntnisse über anthropogene und natürliche Inhaltsstoffe noch über deren Relation zum Grad ihrer Umweltbelastung. Anorganische (Schwermetalle) und organische Schadstoffe (hier: PAH, polynuclear aromatic hydrocarbons) stellen eine Bedrohung für die Indonesische Ästuar- und Küstenumwelt dar. Diese Schadstoffe stammen aus kommunalen Abwässern, von industriellen Aktivitäten, aus der intensiven Landwirtschaft und von zusätzlichen Quellen wie Verbrennung von Biomasse (PAH's) und Automobil-Abgasen.

Die Studie der Ästuar- und Küstensysteme der peatland-entwässernden Flüsse Ost-Sumatras befasste sich mit der Quantifizierung der Konzentrationen von Schwermetallen in Sedimenten, in Partikeln, in Kolloiden und in Lösung auf Transekts von den Fluss-Endgliedern über die Ästuar bis in die Küstengebiete (Malakka Straße, Karimata Straße). Um die Effekte der hohen Huminstoffgehalte in diesen Wässern besser zu verstehen, wurden zu Vergleichszwecken einige nicht-peatland-drainierende Flüsse West-Sumatras untersucht. Dabei sollte insbesondere die Assoziation der Schadstoffe mit verschiedenen Trägermaterialien, d.h. der anthropogen erhöhten Flusslast an natürlichen Partikeln und der verschiedenen Größenklassen an kolloidalen Huminstoff-Makromolekülen, die hauptsächlich den drainierten peatlands entstammen, ermittelt werden. Zudem sollte ein Beitrag zur Gesamtabstimmung der Schadstoffwirkungen geleistet werden. Das Konzept des Clusters 4 von SPICE-II sah – ebenso wie beim Vorläuferprojekt - vor, dass die Bestimmung verschiedener Schadstoffklassen sowie Untersuchungen zu Quellen und Transport von natürlicher organischer Substanz (in TP 1, TP 2, TP 3) mit Modellen und Satellitenbeobachtungen (in TP4, TP5) zu Ausbreitung und Verbleib in den angrenzenden Küstengebieten kombiniert werden. Die PAH's als bedeutende organische Schadstoffklasse wurden in Schwebstoffen und in Lösung untersucht.

### **I.2 Voraussetzungen, unter denen das Projekt durchgeführt wurde**

Im Zusammenhang mit der rasch wachsenden Industrialisierung, Ökonomie und verkehrsmäßigen Erschließung leiden die ästuarinen und Küstenökosysteme Ost-Sumatras unter verschiedenen Formen der Umweltbelastung. Die vielfältigen anthropogenen Einwirkungen wirken vor dem Hintergrund der natürlich bedingten spezifischen Flusswasser-Zusammensetzung, die wesentlich durch das Drainieren der ausgedehnten Moor- und Torfgebiete bestimmt wird. Allerdings zeigte sich im Verlauf der Studie, dass die sechs untersuchten Flüsse Ost-Sumatras recht unterschiedlich von Huminstoffen geprägt waren und diesbezüglich einen fließenden Übergang bildeten zu den huminstoff-armen Flüssen auf der Westseite Sumatras, die am Ende des Projekts zu Vergleichszwecken beprobt wurden. Bis auf die Ergebnisse der Vorläuferstudie im Siak-Fluss gab es zu Beginn der gemeinsamen Arbeiten keinerlei Erkenntnisse in der wissenschaftlichen Literatur über die Zusammensetzung und die Wasserchemie der Flüsse Ost-Sumatras. Bei der Zusammenarbeit mit den indonesischen Institutionen standen die Fachbereiche „Fischerei und Meereswissenschaften“ sowie der Fachbereich „Chemie“ der Universität von Riau (UNRI) in Pekanbaru und das "Research Institute for Openwater Fisheries (BRKP) in Palembang im Vordergrund.

### **I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens**

Wegen der Großräumigkeit des Forschungsgebiets mit über 1000 km zwischen den Flüssen und jeweils 30-100 km flussaufwärts mussten sehr unterschiedliche Strategien für

Probengewinnung und -Aufarbeitung zum Einsatz kommen. Soweit es logistisch möglich war, wurde ein Labor in der Universität von Riau bzw. im Research Institute for Openwater Fisheries (BRKP) in Palembang genutzt, um Geräte aufzubauen, Ausfahrten vorzubereiten und notwendige Probenaufarbeitungsschritte nach den Ausfahrten durchzuführen. Da eine projektadäquate Geräte-Grundausstattung vor Ort nicht zur Verfügung stand, mussten alle Geräte und wissenschaftlichen Ausrüstungsgegenstände für jede Kampagne erneut mitgebracht werden.

Bei den ersten beiden Expeditionen (s.u.), die sich auf die Flüsse Rokan, Siak, Kampar, Indragiri und Musi konzentrierten, erfolgte die Probenahme auf Tagesfahrten mit gemieteten "speed-boats" gemeinsam mit den anderen Teilprojekten, mit indonesischen Kollegen und Studenten. Dabei lag der Schwerpunkt auf der Beprobung der Süßwasserbereiche sowie der oberen Ästuargebiete und, um die potentielle Variabilität im Verlauf der Jahreszeiten bzw. zwischen den Monsunphasen abzudecken, wurden zwei Messkampagnen im März und im November 2008 durchgeführt, an denen jeweils alle TP's teilnahmen. Die unteren Ästuar- und insbesondere die ausgedehnten Küstenbereiche konnten nur mit Hilfe eines seegängigen "Forschungsschiffes" beprobt werden. Zu diesem Zweck wurde im Okt. 2009 das Segel/Motorschiff "Aliikai" gechartert, das normalerweise für touristische Tauch-Einsätze betrieben wird. An Bord dieses (schlichten) Schiffes wurden Probenahme und die Aufarbeitung bewerkstelligt. Die Bearbeitung der kleinen Flüsse auf der Westseite Sumatras am Ende des Projektes erfolgte wieder mit kleinen Schiffen von Padang aus.

Insgesamt fanden vier Expeditionen statt:

1. Im März 2008 zu den oberen Ästuarbereichen von Rokan, Siak, Kampar, Indragiri und Musi,
2. Im November 2008 zu den oberen Ästuarbereichen von Rokan, Siak, Kampar, Indragiri und Musi,
3. Im Oktober 2009 zu den unteren Ästuar- und Küstenbereichen von Rokan, Siak, Kampar, Indragiri, Batang Hari und Musi sowie der Malakka- und der Karimata-Straße,
4. Im Juli 2010 zu den Ästuaren der Flüsse Arau, Kuranji und Anai auf der Westseite Sumatras nahe Padang.

Sedimente wurden mit Hilfe eines van-Veen-Greifers gemeinsam für alle TP's und für die indonesischen Studenten entnommen. Als unmöglich erwies es sich, die geplanten Sedimentkerne zu bekommen, mit deren Hilfe sich unter der Voraussetzung von Partikelsedimentation ohne anschließende Umlagerungsprozesse die Geschichte der Umweltverschmutzung hätte rekonstruieren lassen. Ebenso wie die filtrierte Schwebstoffe wurden auch die erhaltenen Sedimentfraktionen einem Totalaufschluss unterworfen, bevor die Spurenelemente mit ICP-MS bestimmt wurden. Für das hiesige TP wurden Oberflächenwässer direkt vom Schiff aus in säuregereinigte PE-Flaschen abgefüllt, um potentielle Kontaminationsprobleme einzuschränken. So schnell wie möglich wurden nach der Probenahme das suspendierte partikuläre Material (SPM, Schwebstoffe) durch Membranfiltration abgetrennt und die Lösungsphase zur Stabilisierung der Lösungionen angesäuert. Im Heimatlabor wurden die gelösten Spurenelemente aus den Süßwasser-Proben direkt mit ICP-MS vermessen, nachdem sie einem vorherigen UV-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Aufschluss unterworfen wurden. In den ästuarinen und den Küstenwasserproben wurden die Spurenmetalle vor der Vermessung durch Flüssig-Flüssig-Extraktion vorangereichert und von der Salzwassermatrix separiert.

#### **I.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde**

Wie bereits ausgeführt – gab es zu Beginn des Vorhabens außer einigen wenigen, in der "grauen Literatur" beschriebenen Untersuchungen sowie fischereibiologischen Bestandsaufnahmen keinerlei Ergebnisse zur geochemischen Zusammensetzung von

Wässern und Partikeln in den aquatischen Systemen Sumatras. Die einzige Erkenntnisquelle, an die angeknüpft werden konnte, bildeten die eigenen Untersuchungen in dem Vorläuferprojekt SPICE I, das in der Zeit von August 2003 bis Februar 2007 die natürlichen und anthropogen beeinflussten Eigenschaften des Siak-Flusses von der Küste bis über 350 km ins Inland hinein bearbeitet hatte. Dadurch waren wir auf die allgemeinen und spurenchemischen Besonderheiten von huminstoffreichen Flüssen gut vorbereitet. Die im TP1 untersuchten Spuren- bzw. Schwermetalle werden in erheblichem Umfang in Assoziation mit Kolloid- und Schwebstoff-Partikeln in den Küstenraum transportiert. Die peatland-drainierenden Flüsse Ost-Sumatras weisen hohe kolloidale Huminstoff-Konzentrationen auf, wobei durch menschliche Tätigkeiten, die seit Langem zur Destabilisierung der peatland-Gebiete und der Flussufer führen, die Kolloid- und Schwebstoff-Frachten beträchtlich angewachsen sind. Für das Verständnis der natürlichen Vorgänge und die Abschätzung möglicher Umweltfolgen sollte untersucht werden, in welchem Umfang sich die Kolloid-Assoziation der Spurenmetalle unter dem Einfluss zunehmender Ionenstärke in den Ästuaren ändert, was Konsequenzen hat für die Frage, inwieweit etwaige Schadstoffe nach Koagulation sedimentieren oder mit den Kolloiden über weite Strecken transportiert werden und evtl. erneut Eingang in biologische Kreisläufe finden.

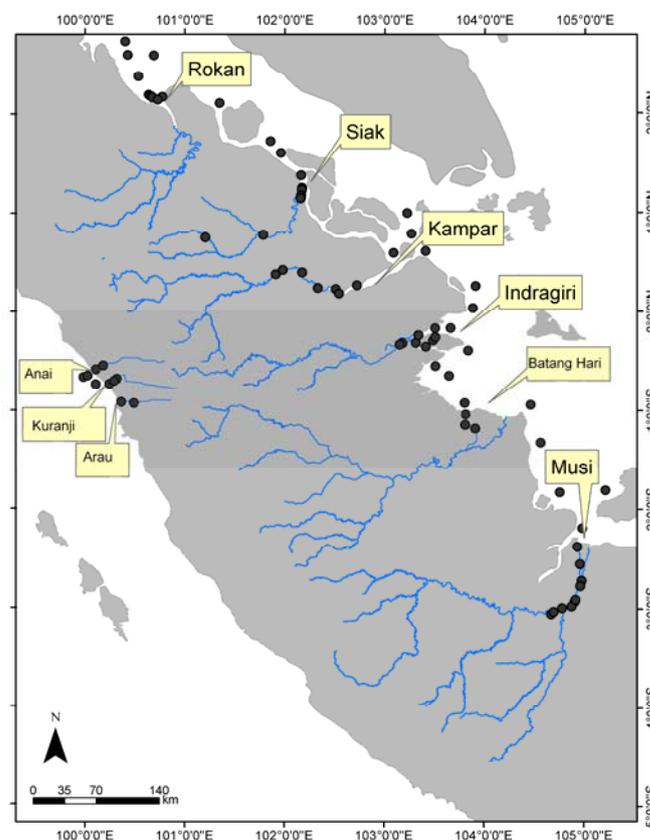
## **1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Während der vier gemeinsam durchgeführten Messkampagnen fand eine intensive Zusammenarbeit sowohl mit den anderen deutschen Teilprojekten als auch mit den Indonesischen Kollegen statt. Insbesondere bei den Beprobungen mit den speedboats in den außerordentlich unübersichtlichen Flachwasser- und Ästuargebieten war die Hilfe durch die erfahrenen Kollegen aus Pekanbaru und Palembang sehr hilfreich. Auf der anderen Seite wurde es den indonesischen Wissenschaftlern ermöglicht, ihre Arbeiten – insbesondere zu ausgewählten biologischen Themen - durchzuführen und die unsererseits erhobenen Randparameter für die Interpretation der Ergebnisse zu nutzen. So wurden bei den gemeinsamen Ausfahrten die Standardparameter ( $O_2$ -Sättigung, pH, Salzgehalt) zwischen allen Beteiligten direkt ausgetauscht. Das Konzept des Clusters war zudem, dass in der Auswertephase die direkt erhobenen Schadstoff-Daten der wasseranalytisch arbeitenden Teilprojekte mit den Ergebnissen der zwei Teilprojekte verknüpft werden, die sich mit der Modellierung bzw. Satelliten-Beobachtung von Transport und Dispersion befassen, um dann gemeinsam das weitere Schicksal der aus den Ästuaren stammenden Stoffe abzuschätzen. Die Sicht von verschiedenen Projektseiten auf die in unterschiedlichem Maße peatland-drainierenden Flüsse sollte somit ein verbessertes Bild der natürlichen und verschmutzungs-relevanten Prozesse ergeben.

## II. Eingehende Darstellung

### II.1 Erzielte Ergebnisse im Einzelnen

Im Rahmen des SPICE II - Projekts wurden im Frühjahr und im Herbst 2008 - saisonal abgestimmt - zwei Beprobungs-Kampagnen im Osten Sumatras in die Frischwasserbereiche und oberen Ästuar der Flüsse Rokan, Siak, Kampar, Indragiri und Musi durchgeführt. Eine dritte Beprobungskampagne fand im Oktober 2009 statt, in deren Rahmen die Salzwasserbereiche der Ästuar dieser Flüsse und erstmalig das Ästuar des Batang Hari sowie angrenzende Teile der Malakka- und der Karimata Straße beprobt wurden. Um die Besonderheiten der durch Flachland bei niedriger Steigung fließenden und Torfgebiete drainierenden Flüsse Ost-Sumatras herauszuarbeiten, wurde im Juli 2009 eine vierte Beprobungs-Expedition auf West-Sumatra zu den kurzen, steilen, vulkanisches Gestein drainierenden Flüssen Arau, Kuranji und Anai mit ihren Ästuaren durchgeführt (Abb. 1).



**Abb.1:** Das Haupt-Arbeitsgebiet mit den sechs Flüssen an der Ostküste Sumatras und den Probenstationen der ersten drei SPICE- Fahrten. Während der 4. Messkampagne wurden zu Vergleichszwecken auch drei Flüsse an der Westküste Sumatras beprobt. (Zeichnung: A. Baum)

Bei den Beprobungen während der vier Messkampagnen wurden folgende **Ziele** verfolgt:

- die Konzentration von verschmutzungsrelevanten Spurenmetallen in Lösung und suspendierten Partikeln der sechs Flüsse mit ihren Ästuaren und Küstengebieten sowie deren Modifikation in den Ästuargebieten zu ermitteln,
- die Assoziation dieser Spurenmetalle mit verschiedenen kolloidalen Größenfraktionen, die wesentlich durch Huminstoff-Makromoleküle geprägt sind, zu analysieren, und

c) die Verteilung der polynuklearen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAHs; in diesem Gebiet eine bedeutende organische Verschmutzungs-kategorie) zu bestimmen.

d) Als Endergebnis dieser Untersuchungen sollte der Verschmutzungszustand dieses Gebietes bewertet werden, um eine Grundlage für etwaige Managementmaßnahmen von Regierungsbehörden und Industrie bereitzustellen.

Die Flüsse auf der Ostseite Sumatras mit ihren generell großen Einzugsbereichen unterscheiden sich in Hinblick auf den jeweiligen Anteil von Torfflächen an den Einzugsgebieten: im Vergleich zu den nördlicheren Flüsse Rokan, Siak, Kampar und Indragiri weisen die südlicheren Flüsse Batang Hari und Musi deutlich geringere Torfflächen auf (Laumonier, 1997). Durch den Zufluss aus den Torfgebieten sind die Flüsse besonders reich an gelösten Huminstoffen, welche die Schwermetalle komplexieren und als Träger für ihren Lösungs-transport fungieren können. Dies ist wichtig für die Frage, ob die Spuren- und Schwermetalle in gelöster Form in die angrenzenden Meeresgebiete gelangen können oder ob sie in Partikel umgewandelt oder an diese adsorbiert evtl. zum Boden sedimentieren und die Küste nie erreichen. Die Flüsse auf der Westseite hingegen weisen vergleichsweise kleine Einzugsbereiche auf, da sie durch den Barisan Gebirgszug im Osten begrenzt sind (Laumonier, 1997).

Die nachfolgende Darstellung bezieht sich in den Unterpunkten II.1.1. bis II.1.10. auf die Untersuchung von Spuren- und Schwermetallen, während Punkt II.1.11. den Ergebnissen zu den PAH's gewidmet ist.

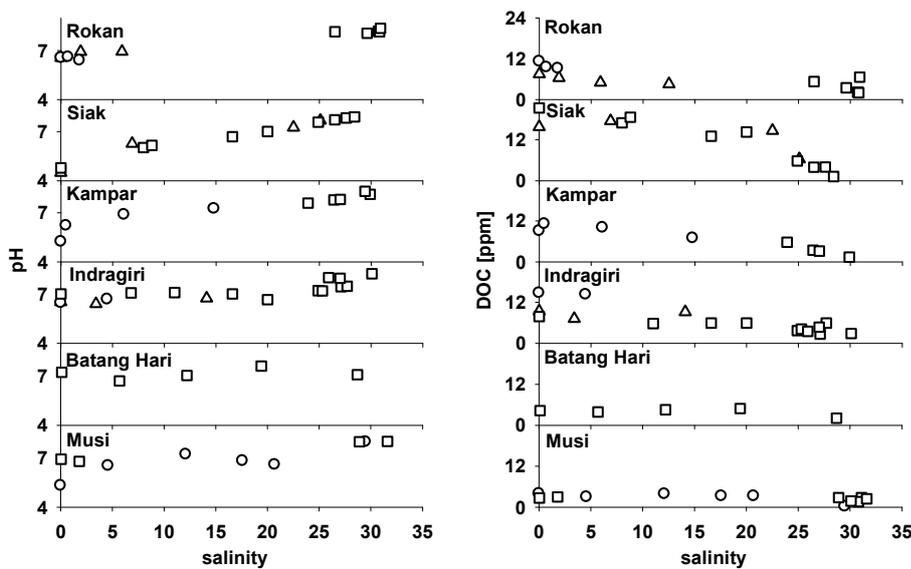
### **II.1.1 Probenahme, Randparameter und Aufarbeitung der Spurenmetalle**

Um Kontaminationsprobleme soweit als möglich einzuschränken, wurden die Proben zumeist per Hand unter Wasser direkt in säuregereinigte Plastikflaschen gefüllt. Die Schwebstoffe (Suspendiertes Partikuläres Material, SPM, > 0.45 µm) und die Lösung (< 0.45 µm) wurden durch konventionelle Filtration der Originalprobe (Polykarbonat-Membranfilter, Nuclepore) separiert. Ein Aliquot der Lösung < 0.45 µm wurde anschließend mittels Ultrafiltration in drei Kolloidfraktionen: (a) 0.45 µm bis 30 kDa, (b) 30 kDa bis 10 kDa, (c) 10 kDa bis 5 kDa sowie die sogenannte „echt gelöste“ Fraktion (d) Permeat < 5 kDa getrennt. Die Gesamtheit der Kolloidfraktionen (a + b + c) wird nachfolgend Kolloidphase genannt. Somit wurden die Wasserproben in sechs Größenfraktionen aufgeteilt. Vor dem Ansäuern der wässrigen Proben zur Stabilisierung der Lösungslösungen wurde ein Aliquot in eine Ampulle zur späteren Bestimmung des gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC) abgefüllt. Im Heimatlabor wurden die Spurenelemente in Lösung zunächst einem UV-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Aufschluss unterworfen, um die Huminstoffe in der Lösungsphase weitestgehend zu zerstören. Die filtrierten Süßwasser-Proben wurden dann direkt mit HR-ICP-MS vermessen, während die Brack- und Küstenwasser-Proben vorher mittels Flüssig-Flüssig-Extraktion von der Salzmatrix separiert wurden. Mit der hochauflösenden ICP-MS wurden die Metalle Kadmium, Blei, Eisen, Nickel, Kupfer, Kobalt bestimmt. Die Partikel-Proben wurden einem mikrowellen-gestützten Totalaufschluss unterworfen und ebenfalls per HR-ICP-MS analysiert. Die Randparameter Salzgehalt, Temperatur und pH wurden während der Fahrten direkt mit Sonden bestimmt.

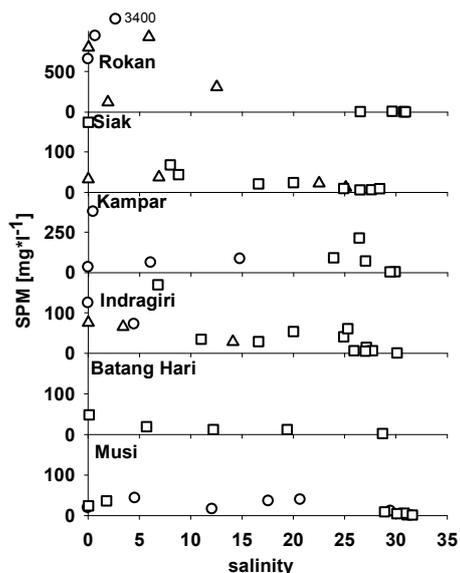
### **II.1.2 Randparameter: pH, Gelöster Organischer Kohlenstoff (DOC) und Suspendiertes Partikuläres Material (SPM)**

Der pH der beprobten Flüsse liegt in den Süßwasserbereichen von Rokan, Indragiri, Batang Hari und Musi (Okt. 2008) zwischen 6 und 7 (Abb. 2a), während in den eher zu den Schwarzwasser-Flüssen zählenden Flüssen Siak und Kampar (Nov. 2008) deutlich niedrigere pH-Werte zwischen 4 und 5 bestimmt wurden. Im Verlauf der ästuarinen Mischung mit Salzwasser stieg der pH in allen Flüssen bis typische Küstenwasser-Werte um pH = 8 erreicht wurden.

Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) wies in den Süßwasserbereichen der nördlicher gelegenen Flüsse Rokan, Siak, Kampar und Indragiri Konzentrationen zwischen 7 und 22 mg/L auf, während die Konzentrationen im Batang Hari und im Musi bei nur 4 mg/L lagen (Abb. 2a). Die höheren DOC Konzentrationen in den nördlicheren Flüssen werden vermutlich durch Huminstoffe verursacht, die aus den in den Einzugsgebieten liegenden Torfflächen ausgespült werden. Die DOC Konzentrationen in allen Flüssen nimmt während der Mischung mit Salzwasser im Wesentlichen konservativ ab.



**Abb. 2a:** Als Randparameter: die pH-Werte (links) und der gelöste organische Kohlenstoff (rechts, DOC, mg/L) entlang der Salinitätsgradienten von sechs Ästuaren Ost-Sumatras während der drei Probennahme-Kampagnen ( $\Delta$  = März 2008,  $\circ$  = November 2008,  $\square$  = Oktober 2009)



**Abb. 2b:** Als Randparameter: das suspendierte partikuläre Material (SPM, Schwebstoffe, mg/L) entlang der Salinitätsgradienten von sechs Ästuaren Ost-Sumatras während der drei Probennahme-Kampagnen ( $\Delta$  = März 2008,  $\circ$  = November 2008,  $\square$  = Oktober 2009)

Die Konzentrationen suspendierter Partikel (SPM, Schwebstoffe) in den Ästuaren der Flüsse Rokan und Kampar stiegen bei geringer Salinität zunächst rapide an und fielen im Anschluss dann rasch auf niedrige Werte bis zur Küste (Abb. 2b). Diese Veränderungen könnten als Trübungs-Maximum-Zonen (TMZ) interpretiert werden, die sich in Abhängigkeit von Abflussrate und Tide an der landseitigen Spitze des am Boden einfließenden Meerwassers bilden können und durch hohe Partikelkonzentrationen gekennzeichnet sind (z.B. Turner et al., 1992). Auch die abfallenden SPM-Konzentrationen (Okt. 2008) in den Bereichen mit geringster Salinität des Siak und des Indragiri können Teil einer TMZ sein - in ähnlicher Weise wie im Tamar Ästuar beobachtet (Grabemann et al., 1997).

**Tab. 1:** Gelöstes Cd, Co, Cu, Fe, Ni und Pb (< 0.45 µm; Mittelwerte) im Flusswasser bei den drei Expeditionen (n: Probenanzahl; n.d.: nicht bestimmt )

Fluss	Monat	n	Cd	Pb	Fe	Co*	Ni	Cu
			Mw	Mw	Mw	Mw	Mw	Mw
			µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Rokan	Mrz 08	2	n.d.	0.40	257	0.05	0.83	1.49
	Nov 08	3	0.006	0.16	282	0.09	1.16	1.13
	Okt 09							
Siak	Mrz 08	2	0.009	0.62	698	0.27	0.70	0.89
	Nov 08	7	0.027	0.29	349	n.d.	0.76	0.73
	Okt 09	1	0.005	0.34	537	0.42	0.59	0.56
Kampar	Mrz 08	3	n.d.	0.39	520	n.d.	0.51	0.69
	Nov 08	7	0.013	0.18	311	0.28	1.20	0.67
	Okt 09							
Indragiri	Mrz 08	3	n.d.	0.16	235	0.14	0.63	1.58
	Nov 08	2	0.009	0.08	188	0.09	0.61	1.90
	Okt 09	1	0.001	0.05	78	0.03	0.36	1.05
Batang Hari	Mrz 08							
	Nov 08							
	Okt 09	1	0.002	0.02	35	0.04	0.31	1.06
Musi	Mrz 08	3	n.d.	0.07	54	n.d.	0.28	1.00
	Nov 08	1	0.016	0.02	21	0.60	1.66	0.68
	Okt 09	1	0.001	0.02	12	0.03	0.18	0.83
Mekong <sup>a</sup>	Mrz		0.003	0.11			0.46	0.95
	Okt		0.010	0.10			0.49	0.89
Rio Negro <sup>b</sup>			0.12		385	0.18	0.32	0.32
Rio Solimoes <sup>b</sup>			0.40		1796	1.00	0.71	2.40
Weser <sup>c</sup>			0.160	0.07	1.5		3.75	2.98
Schelde <sup>d</sup>			0.006-0.225				1.17-10.56	0.32-3.18
Besut <sup>e</sup>				5.4	6.9			0.2
world average <sup>f</sup>			0.020	0.10	40.0	0.2	0.50	1.50

a: Cenci (2004), b: Konhauser (1994), c: Turner (1992), d: Paucot (1997), e: Suratman, 2009, f: Chester (2003); \*: Co nur Einzelmessungen

### II.1.3 Konzentrationen gelöster und partikulärer Spurenmetalle in den Flüssen

**Gelöste Spurenmetalle** ( $< 0.45 \mu\text{m}$ ): beim Vergleich der beprobten Flüsse untereinander wiesen die nördlicher gelegenen Flüsse Rokan, Siak, Indragiri und Kampar höhere gelöste Pb und Fe Konzentrationen auf als die südlicheren Flüsse Batang Hari und Musi; hingegen zeigten Cd, Co, Ni und Cu im Durchschnitt in allen Flüssen ähnliche Konzentrationen (Tab. 1). Die Unterschiede der Spurenmetall-Konzentration sind zwischen den beprobten Jahreszeiten (März 2008 vs Nov. 2008 vs Okt. 2009) recht gering. Die dennoch vorhandenen Unterschiede werden vermutlich durch monatlich variierende Niederschlagsraten sowie den damit verbundenem Oberflächenabfluss verursacht. In den Flüssen Rokan, Kampar und Siak können zudem die vermuteten Trübungsmaxima im Jahrgang variierende Konzentrationen verursachen und damit Einfluss auf die Lösungskonzentrationen gewinnen.

**Tab. 2:** Cd, Co, Cu, Fe, Ni und Pb in Schwebstoffen ( $> 0.45 \mu\text{m}$ , SPM; Mittelwerte) im **Flusswasser** bei den drei Expeditionen (n: Probenanzahl; n.d.: nicht bestimmt)

Fluss	Monat	n	Cd	Pb	Fe	Co*	Ni	Cu
			Mw	Mw	Mw	Mw	Mw	Mw
			$\mu\text{g/g}$	$\mu\text{g/g}$	$\text{mg/g}$	$\mu\text{g/g}$	$\mu\text{g/g}$	$\mu\text{g/g}$
Rokan	Mrz 08	2	0.07	29.9	32.5	11.0	20.7	10.7
	Nov 08	3	0.08	31.5	39.3	11.0	20.9	8.6
	Okt 09							
Siak	Mrz 08	2	0.06	28.9	30.6	5.1	19.6	7.4
	Nov 08	7	0.20	29.9	26.9	n.d.	19.0	8.7
	Okt 09	1	0.10	28.2	26.0	6.3	17.8	6.6
Kampar	Mrz 08	3	0.08	32.2	31.7	n.d.	18.6	9.6
	Nov 08	7	0.14	34.5	34.7	7.0	25.7	12.9
	Okt 09							
Indragiri	Mrz 08	3	0.10	30.9	41.9	10.3	23.9	18.2
	Nov 08	2	0.11	28.3	40.0	10.6	18.7	13.5
	Okt 09	1	0.14	30.8	36.8	12.3	23.9	13.7
Batang Hari	Mrz 08							
	Nov 08							
	Okt 09	1	0.19	31.2	48.1	13.1	32.3	27.2
Musi	Mrz 08	1	0.12	25.1	47.8		17.4	17.8
	Nov 08	1	0.10	23.5	49.2	14.1	17.4	23.4
	Okt 09	1	0.22	29.4	48.5	11.7	13.4	22.4
Mekong <sup>a</sup>	Mrz			42		17	32	
	Okt			19		9	18	
Weser <sup>b</sup>			2.22	113	41		69	41
Schelde <sup>c</sup>			6.2-12.7	125-232		6	33-67	125-192
world average <sup>d</sup>			1.00	100	48	20	90	100

a: Cenci (2004), b: Turner (1992), c: Paucot (1997), d: Chester (2003) \*: Co nur Einzelmessungen

Die Konzentrationen der untersuchten Spurenmetalle in den sechs Flüssen sind ähnlich wie in anderen tropischen Flüssen, z.B. im Mekong (Cenci et al., 2004) oder im Rio Negro (Konhauser et al., 1994). Verglichen mit Flüssen in Industrieländern wie der Schelde (Paucot et al., 1997) zeigen v.a. die typische anthropogen emittierten Metalle Cd, Ni und Cu deutlich geringere Konzentrationen.

**Partikuläre Spurenmetalle** ( $> 0.45 \mu\text{m}$ ): die Spurenmetalle Cd, Pb, Co und Ni in partikulärer Form zeigten in allen untersuchten Flüssen ähnliche Konzentrationen (Tab. 2), während Fe und Cu in den südlicher gelegenen Flüssen Batang Hari und Musi leicht erhöhte Konzentrationen gegenüber den nördlicheren Flüssen aufwiesen. Die saisonalen Unterschiede bei den partikulären Spurenmetall-Konzentrationen sind für alle Spurenmetalle gering. Sie werden wahrscheinlich durch lokale Inputs oder - wie für die gelösten Metalle beschrieben - durch variierende Niederschlagsraten und unterschiedlich starke Trübungsmaxima verursacht. Die Spurenmetall-Konzentrationen in den Schwebstoffen (SPM) sind denjenigen des Mekong recht ähnlich; allerdings gibt es so gut wie keine diesbezüglichen Informationen aus dem tropischen Bereich. Erneut sind die Konzentrationen der verschmutzungsrelevanten Metalle Cd, Pb, Ni und Cu wesentlich geringer als in industriell beeinflussten Flüssen, wie z.B. der Schelde (Paucot et al., 1997).

**Tab. 3:** Cd, Co, Cu, Fe, Ni und Pb in Lösung (Mittelwerte;  $< 0.45 \mu\text{m}$ ) in den Küstengebieten (n: Probenanzahl)

Gebiet	n	Salinität	Cd	Pb	Fe	Co	Ni	Cu
		Mw	Mw	Mw	Mw	Mw	Mw	Mw
		psu	$\mu\text{g/L}$	$\mu\text{g/L}$	$\mu\text{g/L}$	$\mu\text{g/L}$	$\mu\text{g/L}$	$\mu\text{g/L}$
Rokan	7	29.7	0.012	0.034	3.8	0.018	0.25	0.38
Siak	4	28.4	0.011	0.016	5.2	0.023	0.26	0.35
Kampar	3	28.8	0.011	0.015	1.9	0.016	0.40	0.32
Indragiri	6	27.9	0.022	0.019	2.5	0.023	0.23	0.31
Batang Hari	1	28.7	0.017	0.017	0.8	0.020	0.18	0.33
Musi	6	30.3	0.011	0.033	5.0	0.028	0.27	0.29
Mw		29.0	0.014	0.022	3.2	0.021	0.26	0.33

**Tab. 4:** Cd, Co, Cu, Fe, Ni und Pb in Schwebstoffen ( $< 0.45 \mu\text{m}$ ; Mittelwerte) in den Küstengebieten (Okt. 2009, n: Probenanzahl)

Gebiet	n	Salinität	Cd	Pb	Fe	Co	Ni	Cu
		Mw	Mw	Mw	Mw	Mw	Mw	Mw
		psu	$\mu\text{g/g}$	$\mu\text{g/g}$	$\text{mg/g}$	$\mu\text{g/g}$	$\mu\text{g/g}$	$\mu\text{g/g}$
Rokan	7	29.66	0.3	17.5	18.3	6.1	14.9	7.1
Siak	5	28.48	0.1	28.0	26.1	8.3	17.6	7.5
Kampar	3	28.77	0.1	26.2	21.9	6.9	18.7	7.1
Indragiri	6	27.93	0.3	22.2	23.0	7.9	17.3	7.4
Batang Hari	1	28.70	0.3	21.5	31.4	10.9	26.8	15.8
Musi	7	30.66	0.2	20.2	23.7	8.4	25.0	12.8
Mw		29.0	0.2	22.6	24.0	8.1	20.0	9.6

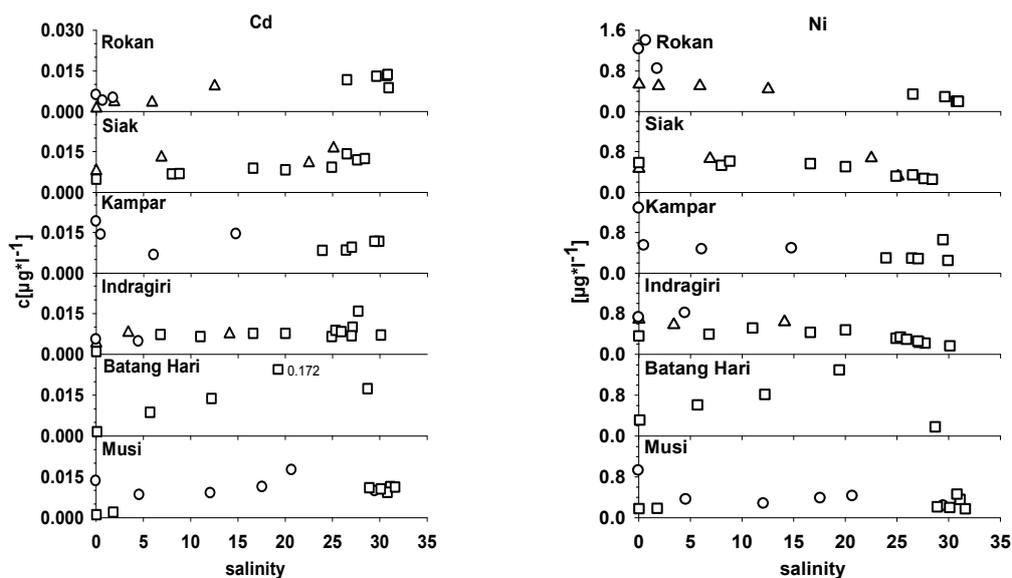
## II.1.4 Konzentrationen partikulärer und gelöster Spurenmetalle in Küstengebieten

Im Vergleich mit den gelösten und partikulären Spurenmetallkonzentrationen der Süßwasserbereiche zeigen die Küstengebiete der Flüsse zumeist geringere Werte (Tab. 3 und Tab. 4). Zwischen den verschiedenen Küstenbereichen der Flüsse weisen die Spurenmetall-Konzentrationen erwartungsgemäß nur geringe Unterschiede auf, da es sich um einen weitgehend einheitlichen Küstenraum handelt. Die dennoch vorhandene Variabilität wird wahrscheinlich durch den Ablauf der entsprechenden Flüsse verursacht. Eine systematische Variabilität zwischen den Küstengebieten, die auf den Einfluss verschiedener Wassermassen hindeuten könnte, ist nicht vorhanden.

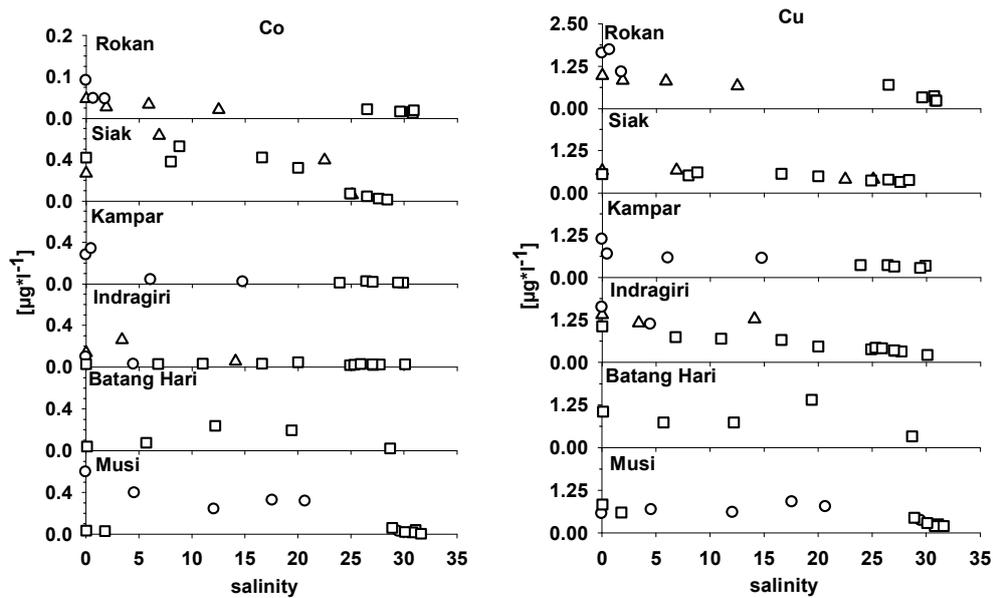
## II.1.5 Gelöste Spurenmetalle ( $< 0.45 \mu\text{m}$ ) in den Ästuargebieten

Die untersuchten Spurenelemente in der Lösungsphase ( $< 0.45 \mu\text{m}$ ) zeigten während der Mischung von Frisch- und Salzwasser individuelle, von den chemischen Eigenschaften der Metalle und den örtlichen Gegebenheiten abhängige Verhaltensweisen. In Abb. 3a sind zunächst die Konzentrationen von Cd und Ni dargestellt, die im Ozean beide ein nährstoffähnliches Vertikalprofil zeigen; Cu und Co (Abb. 3b) sind zwar beide eng mit biotischen Prozessen verknüpft, zeigen jedoch sehr unterschiedliche vertikale Verteilungsmuster; dies gilt auch für Fe und Pb (Abb. 3c), die jedoch bei ästuarinen Verteilungen häufig miteinander korrelieren.

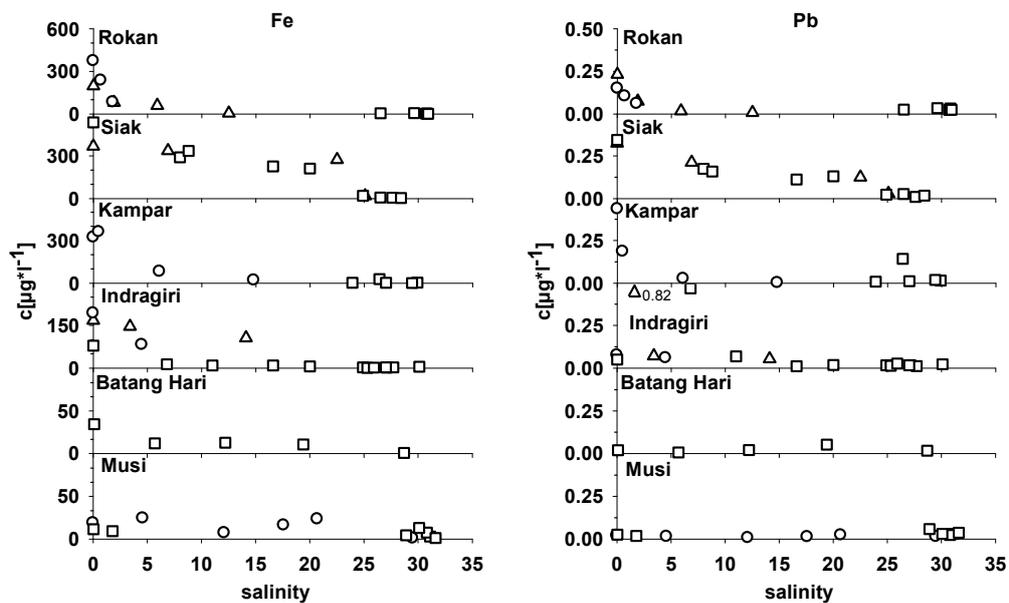
Cd verhält sich während der Mischung mit Seewasser in den Ästuaren der sechs Flüsse im Wesentlichen konservativ, wobei die Konzentrationen leicht in Richtung Küste ansteigen oder nahezu konstant (Kampar und Indragiri) bleiben. Die Cd Konzentrationen in den Ästuaren von Batang Hari und Musi zeigen bei mittlerer Salinität schwache non-konservative Zunahmen, die zumeist durch Desorption von den partikulären Phasen im Zusammenhang mit Komplexierungen durch marine Chlorid-Ionen erklärt werden (Mantoura et al., 1978). Die Abnahme des gelösten Cd im niedrig salinen Bereich des Kampar könnte durch verstärkte Sorption bei der hohen Partikelkonzentration im Trübungsmaximum, verursacht worden sein (Hatje et al., 2003).



**Abb. 3a:** Konzentrationen von Cd und Ni in der gelösten Phase entlang der Salinitätsgradienten. ( $\Delta$  = März 2008,  $\circ$  = November 2008,  $\square$  = Oktober 2009)



**Abb. 3b:** Konzentrationen von Co und Cu in der gelösten Phase entlang der Salinitätsgradienten. ( $\Delta$  = März 2008,  $\circ$  = November 2008,  $\square$  = Oktober 2009)

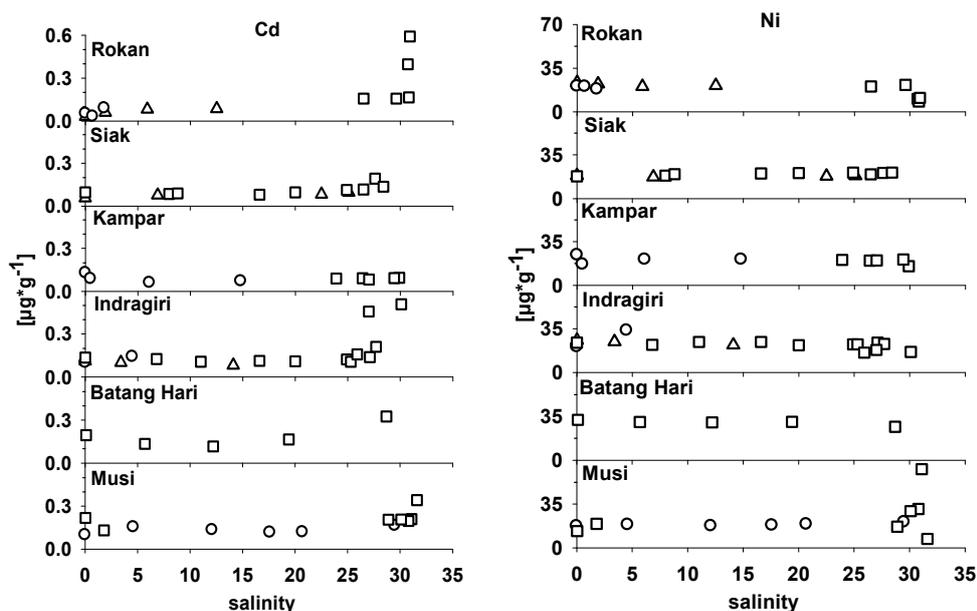


**Abb. 3c:** Konzentrationen von Fe und Pb in der gelösten Phase entlang der Salinitätsgradienten. ( $\Delta$  = März 2008,  $\circ$  = November 2008,  $\square$  = Oktober 2009)

Ni und Cu nehmen konservativ in den Ästuaren des Siak, Indragiri und Musi ab (Abb. 3a). Die non-konservativen Abnahmen in den niedrig-salinen Bereichen des Rokan und Kampar können, wie für Fe beschrieben, durch Ausflockungen von Cu und Ni tragenden Kolloiden verursacht werden (Zwolsmann et al., 1992; Kraepiel et al., 1997; Jiann et al., 2005). Die Zunahme von Ni bei mittlerer Salinität im Batang Hari, die auch die Elemente Cd, Cu, Co zeigen, ist schwer erklärbar: neben lokalen Inputs könnte die Ursache in einer mit der Komplexierung durch Chlorid-Ionen einhergehenden Desorption vom SPM liegen (Kraepiel et al., 1997; Wen et al., 2011).

Beim Co lassen sich – deutlicher als bei den anderen Spurenmetallen – Unterschiede zwischen einzelnen Expeditionen insofern erkennen, als beim Musi im Nov. 1008 das Co deutlich höher konzentriert ist als im Okt. 2009. Ansonsten sind die Differenzen bei den untersuchten Metallen zwischen den Expeditionen und insbesondere auch saisonale Unterschiede relativ gering. In den sechs Ästuaren nimmt gelöstes Co in Richtung Küste ab oder bleibt konstant (Abb. 3b). In den Ästuaren des Siak, Indragiri und Musi erfolgt diese Abnahme weitgehend konservativ (Abb. 3b). In den niedrig salinen Bereichen der Ästuar Rokan und Kampar nimmt Co non-konservativ ab, was durch die Adsorption an suspendierte Partikel in den Trübungsmaxima verursacht werden kann.

Wie fast überall beobachtet, nimmt Eisen in Lösung zur Küste hin ab, wobei dies konservativ im Siak, Batang Hari und Musi erfolgt, während in den Ästuaren von Rokan, Kampar und Indragiri eine non-konservative Abnahme bei niedriger Salinität zu beobachten ist (Abb. 3c). Diese Entfernungen aus der Lösung werden wahrscheinlich durch die Ausflockung von Eisenkolloiden verursacht, die durch die im Ästuar zunehmende Ionenstärke destabilisiert werden, da schützende Ionenschichten der Kolloide gestört werden (Sholkovitz, 1976). Pb weist ein sehr ähnliches Verhalten wie Fe auf (Abb. 3c). Die non-konservative Abnahme in den niedrig salinen Bereichen von Rokan und Kampar wird wahrscheinlich durch eine Ko-Ausfällung mit den Eisenkolloiden verursacht (z.B. Jiann et al., 2005). Die hohen Pb Konzentrationen im Indragiri gehören zu Stationen, welche vor der Stadt Tembilahan liegen, und könnten anthropogenen Ursprungs sein. In den Ästuaren des Siak, des Batang Hari und des Musi verhält sich Pb weitgehend konservativ.

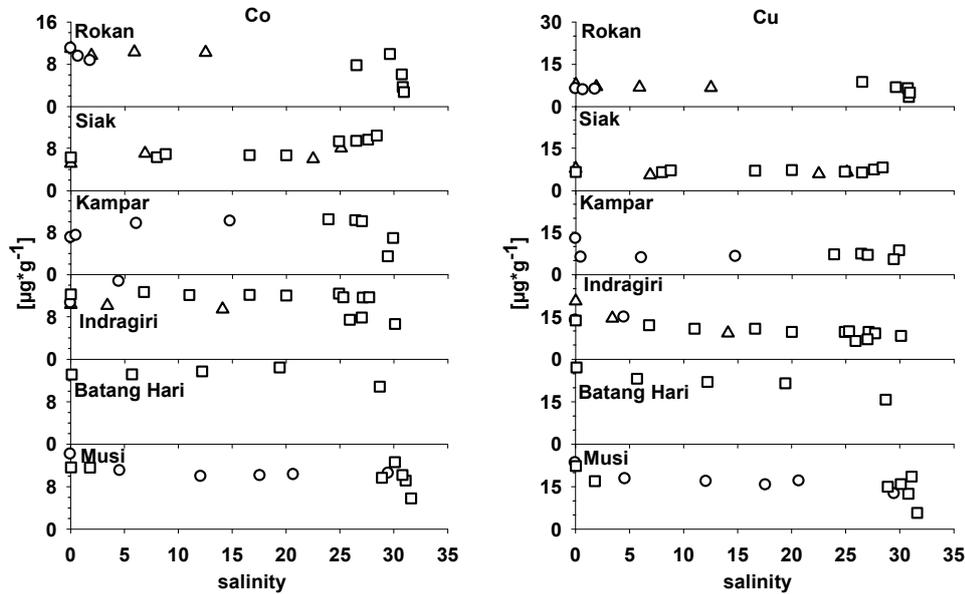


**Abb. 4a:** Konzentrationen von Cd und Ni in der partikulären Phase entlang der Salinitätsgradienten. ( $\Delta$  = März 2008,  $\circ$  = November 2008,  $\square$  = Oktober 2009)

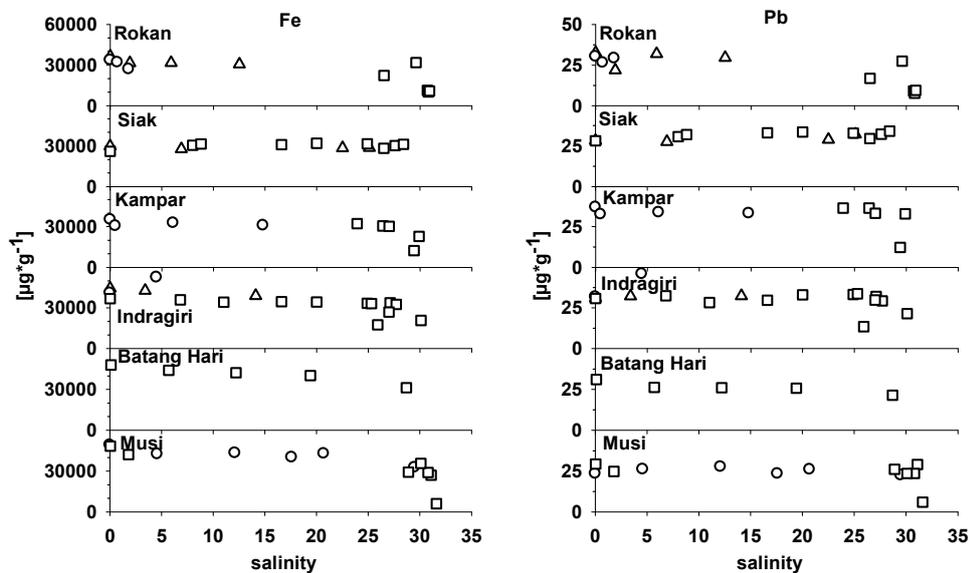
### II.1.6 Spurenmetalle in Schwebstoffen (< 0.45 $\mu\text{m}$ ; SPM) der Ästuargebiete

Während der Mischung von Süß- und Salzwasser zeigen die Gehalte im suspendierten partikulären Material bei allen untersuchten Spurenmetallen vorwiegend konservative Verhaltensweisen (Abb. 4); die Konzentrationen werden also primär durch die Mischung von fluviatilen und marinen Partikeln bestimmt (Windom et al., 1988; Zwolsman et al., 1999). Zudem bleiben die Metallkonzentrationen über den gesamten Salinitätsbereich weitgehend gleich, stärkere Zu- oder Abnahmen treten nur in den Bereichen höherer Salinität auf und sind evtl. durch die Beprobung verschiedener küstennahen Stationen innerhalb bzw.

außerhalb der Flussfahnen bedingt. Das recht einheitliche Verteilungsmuster wird dadurch verursacht, dass die fluviatilen Partikel ähnlich geringe Metallkonzentrationen wie die marinen Partikel aufweisen. Ferner deutet dies darauf hin, dass die Ästuarie relativ unbelastet sind (Zhang et al., 1995).



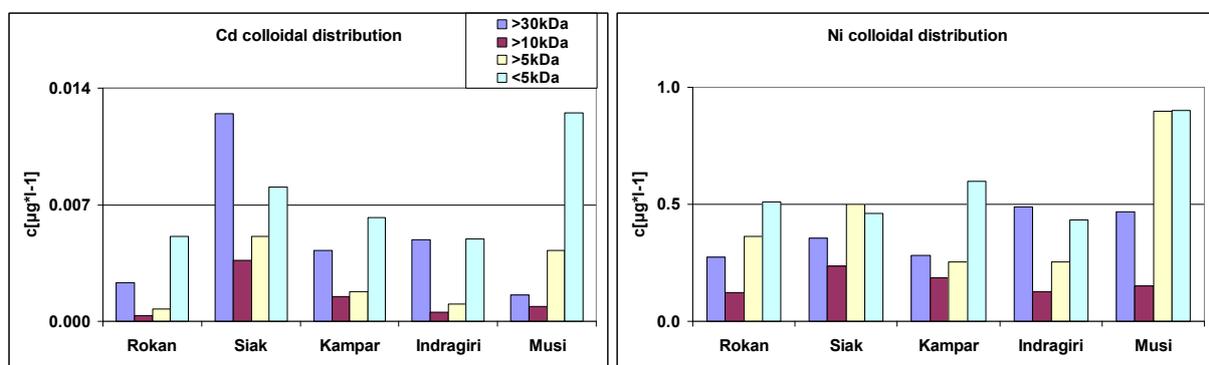
**Abb. 4b:** Konzentrationen von Co und Cu in der partikulären Phase entlang der Salinitätsgradienten. ( $\Delta$  = März 2008,  $\circ$  = November 2008,  $\square$  = Oktober 2009)



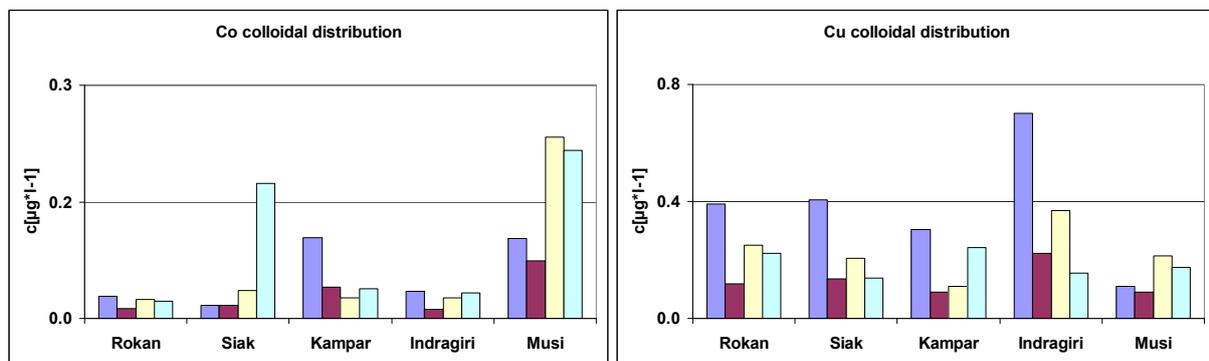
**Abb. 4c:** Konzentrationen Fe und Pb in der partikulären Phase entlang der Salinitätsgradienten. ( $\Delta$  = März 2008,  $\circ$  = November 2008,  $\square$  = Oktober 2009)

## II.1.7 Verteilung der Spurenmetalle zwischen den Kolloidfractionen und der „echt gelösten“ Fraktion in den Flüssen

Die sechs untersuchten Elemente zeigen deutlich unterschiedliche Verteilungsmuster zwischen den mittels Ultrafiltration getrennten drei Kolloidfractionen (0.45  $\mu\text{m}$  bis 30 kDa, 30 kDa bis 10 kDa, 10 kDa bis kDa) und der „echt gelösten“ Fraktion (Permeat < 5 kDa). Dies gilt sowohl für die fünf Flüsse, für die Mittelwerte der Konzentrationen in Abb. 5 dargestellt sind, als auch für die Ästuar- und Küstengebiete (s.u.). Die Konzentrationsangaben sind gleichbedeutend mit den relativen Anteilen bzw. der relativen Bedeutung der einzelnen Fraktionen und sollten bei Summierung mit der separat analysierten Lösungsprobe (< 0.45  $\mu\text{m}$ ) übereinstimmen. Da die Fraktionen bei der Ultrafiltration sequenziell gewonnen wurden und für die Berechnung der relativen Anteile die Konzentrationen aller einzelnen Fraktionen samt ihrer Einzelfehler miteinbezogen werden müssen, steigen die Gesamtfehler rasch an. In Abb. 5 und Abb. 6 sind nur solche Proben dargestellt, für die die Summe der Einzelfractionen im Bereich von 70-130% der Lösungsprobe lag.



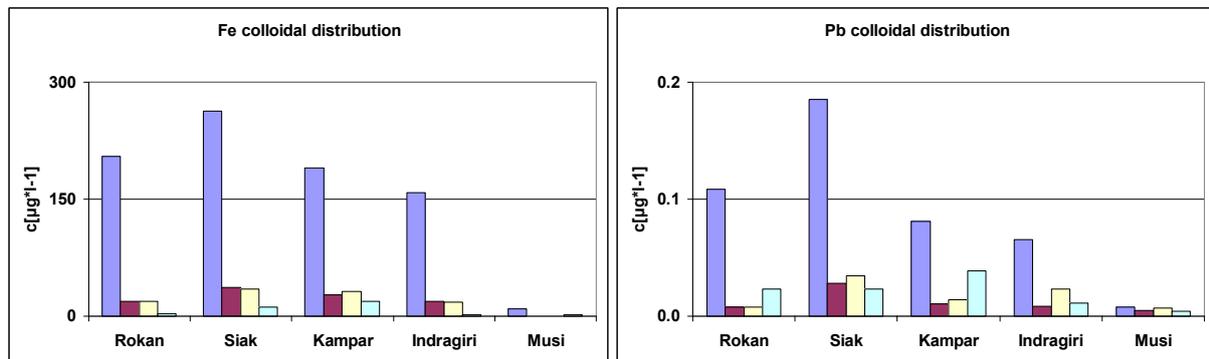
**Abb. 5a:** durchschnittliche Konzentrationen der Elemente Cd und Ni in den Kolloidfractionen und der "echt gelösten" Fraktion < 5 kDa in den Flüssen



**Abb. 5b:** durchschnittliche Konzentrationen der Elemente Co und Cu in den Kolloidfractionen und der "echt gelösten" Fraktion < 5 kDa in den Flüssen

Mit wenigen Ausnahmen wiesen Cd und Co in den Flüssen jeweils höchste Konzentrationen in der "echt gelösten" Fraktion auf. Ein gewisser Teil beider Elemente ist jedoch, mit Ausnahme des Siak (Co) und des Musi (Cd), in den Kolloidfractionen gebunden. Cu und Ni sind in allen Flüssen zu einem Großteil in den Kolloidfractionen fixiert: Cu wies in allen Flüssen außer dem Musi die höchste Konzentration in der > 30 kDa Fraktion auf, während es beim Nickel die beiden Fraktionen 0.45  $\mu\text{m}$  bis 30 kDa und 5-10 kDa waren; Ni war jedoch auch zu einem beträchtlichen Teil in der echt gelösten Fraktion vorhanden. Eisen und Blei in allen Flüssen wiesen die höchsten Konzentrationen in der Fraktion > 30 kDa auf. Die Spurenmetalle in den Kolloidfractionen können an Huminstoffe oder Fe-Hydroxide gebunden

sein. Zudem besteht die Möglichkeit, dass Fe-Hydroxide durch Huminstoffe stabilisiert werden und beide als Träger für Spurenmetalle fungieren (Boyle et al., 1977; Sholkovitz, 1978).

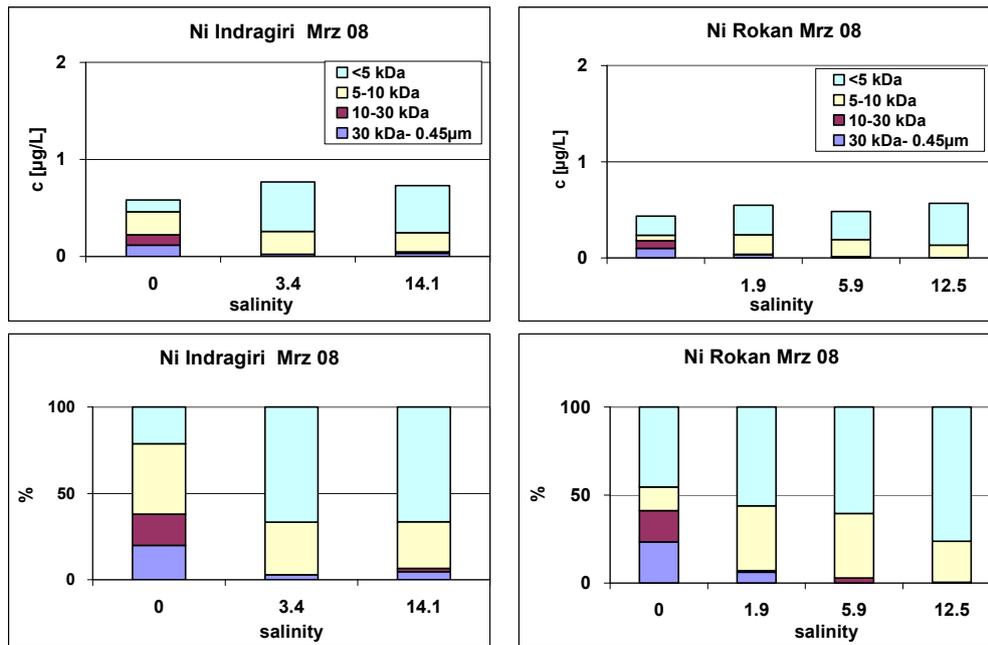


**Abb. 5c:** durchschnittliche Konzentrationen der Elemente Fe und Pb in den Kolloidfraktionen und der "echt gelösten" Fraktion < 5 kDa in den Flüssen

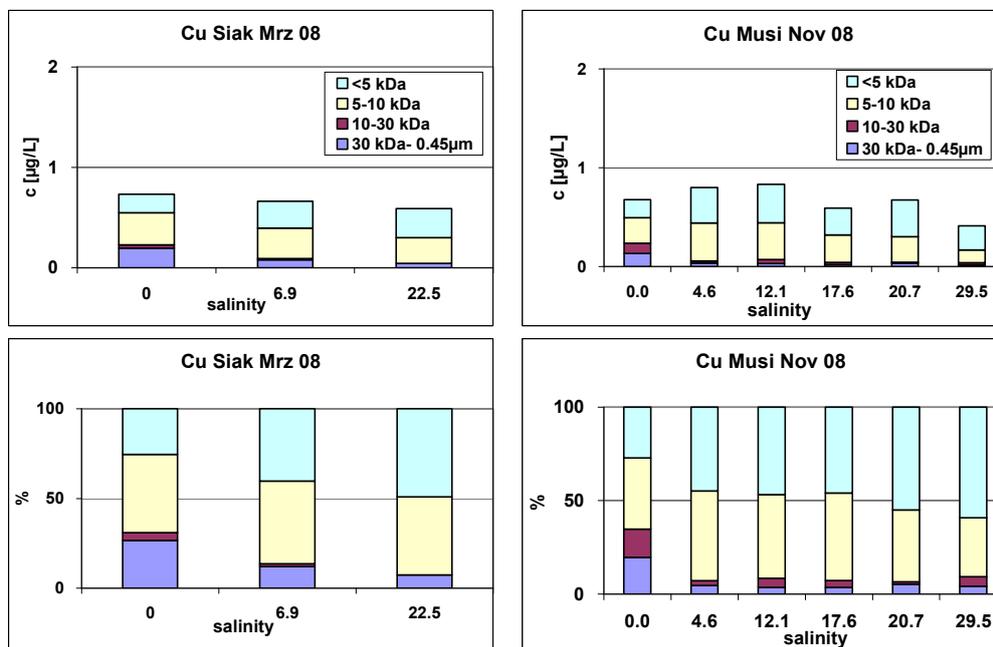
### II.1.8 Verteilung der Spurenmetalle zwischen den Kolloidfraktionen und der „echt gelösten“ Fraktion entlang der Salinitätsgradienten in den Ästuargebieten

Die Konzentrationen der sechs Metalle in den drei Kolloidfraktionen (0.45 µm bis 30 kDa, 10-30 kDa, 5-10 kDa) sowie in der sogenannten „echt gelösten“ Fraktion < 5 kDa unterschieden sich nicht nur für jedes Element (s.o.), sondern veränderten sich zudem in den Ästuargebieten mit steigender Salinität: in Abb.6 a bis c sind für die Spurenmetall Ni, Cu und Cd für jeweils zwei ausgewählte Flüsse die Konzentrationen (obere Reihe) und die prozentualen Anteile an der Summe für die vier Fraktionen kumulativ dargestellt. Allgemein ist die Tendenz zu erkennen, dass die Metall-Konzentration jeweils in der "echt gelösten" Fraktion (< 5 kDa) zunimmt, während die relative Bedeutung der Spurenmetalle in den drei Kolloidfraktionen mit steigender Salinität abnimmt. Beim Cd, das zumeist höchste Anteile in "echter Lösung" aufwies (Abb. 6c), könnte dieses Verhalten durch die zunehmende Komplexbildung mit marinen Chlorid-Ionen und eine dadurch bedingte Entfernung aus den Kolloidfraktionen verursacht werden (z.B. Dai et al., 1995a; Hatje et al., 2003).

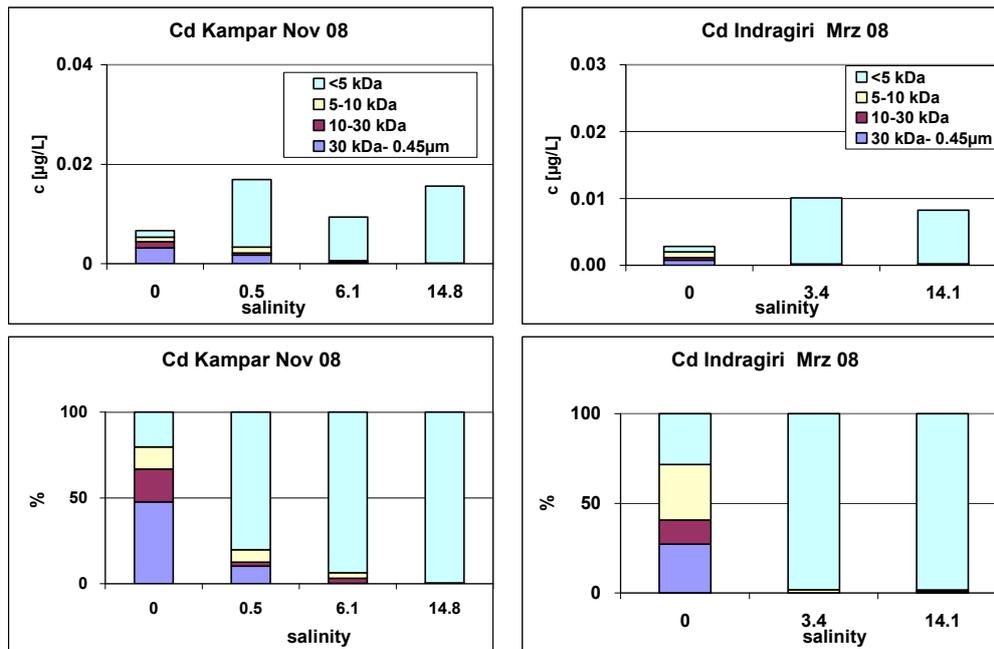
Die Spurenmetalle Cu (Abb. 6b) und Ni (Abb. 6a), v.a. aber Fe und Pb (ohne Abb.) wiesen mit steigender Salinität nicht einheitliche Konzentrationen innerhalb der Kolloidfraktionen sowie in der "echt gelösten" Fraktion auf (Abb. 6). In den Ästuargebieten nehmen die Konzentrationen der vier Spurenmetalle in den Fraktionen > 30 kDa und 10-30 kDa ab, während die Konzentrationen von Fe und Pb vor allem in der 5 kDa Fraktion und die Konzentrationen von Cu und Ni sowohl in der 5 kDa als auch in der echt gelösten Fraktion ansteigen. Ähnliche Verhaltensweisen wurden sowohl in der Narragansett Bay (Wells et al., 2000) als auch in der Galveston Bucht (Wen et al., 1999) beobachtet, und könnten auf Degradationsprozesse für die Kolloide zurückgeführt werden. Im Rahmen solcher Degradationsprozessen könnten Metall-tragende organische Kolloidfraktionen durch Bakterien oder UV-Strahlung in kleinere Fraktionen zerlegt oder aufgelöst werden; die gebundenen Metalle würden während dieser Prozesse entweder gebunden bleiben und in kleinere Fraktionen überführt werden oder die Spurenmetalle lösen sich zunächst und werden dann von kleineren Fraktionen erneut gebunden. Alternativ könnten der zunehmende Salzgehalt und die damit wachsende Ionenstärke auf elektrochemischem Wege Einfluss auf die Struktur der Kolloide nehmen, wie es auch beim DOC in anderen tropischen Ästuaren beobachtet wurde (Balzer, in prep.).



**Abb. 6 a:** Verteilung von Ni zwischen den Kolloidfractionen und der „echt gelösten“ Fraction entlang der Salinitätsgradienten; oben: Konzentrationen in µg/L, unten: prozentuale Anteile an der Summe der vier Fractionen (Beispiel: Indragiri und Rokan)



**Abb. 6 b:** Verteilung von Cu zwischen den Kolloidfractionen und der „echt gelösten“ Fraction entlang der Salinitätsgradienten; oben: Konzentrationen in µg/L, unten: prozentuale Anteile an der Summe der vier Fractionen (Beispiel: Siak und Musi)



**Abb. 6 c:** Verteilung von Cd zwischen den Kolloidfractionen und der „echt gelösten“ Fraktion entlang der Salinitätsgradienten; oben: Konzentrationen in µg/L, unten: prozentuale Anteile an der Summe der vier Fraktionen (Beispiel: Kampar und Indragiri)

### II.1.9 Verteilungskoeffizienten der Spurenmetalle in den Ästuargebieten

Die Aufteilung von Spurenmetallen zwischen verschiedenen Phasen können durch Verteilungskoeffizienten beschrieben werden, die zumeist (als  $K_d$ ) durch das Verhältnis der Metallkonzentration in den Partikeln (in: µg/kg Partikel) zu der Metallkonzentration in Lösung (in: µg/L Lösung) berechnet werden. Wenn man die drei Größenklassen "echte Lösung (< 5 kDa)", Kolloide (von 5 kDa bis 0.45 µm) und das SPM (> 0.45 µm) zugrunde legt, kann man aber drei Verteilungskoeffizienten unterscheiden: erstens den bereits genannten Koeffizienten zwischen partikulärer Phase und den summierten Phasen aus Kolloiden und "echter Lösung" ( $K_d$ ), zweitens den Koeffizienten zwischen partikulärer und "echt gelöster" Phase ( $K_p$ ) sowie drittens ein  $K_c$  zwischen der kolloidalen und der "echt gelösten" Phase. Die Verteilungskoeffizienten können gewisse Auskunft geben über die Konkurrenz zwischen Schwebstoffen, kolloidalen Phasen und kleinen organischen und anorganischen Liganden um die vorhandenen Spurenmetalle. Die Aussagekraft wird jedoch durch den Umstand eingengt, dass bei den Partikeln in dieser Studie – wie es auch sonst in der Literatur zumeist üblich ist – nicht zwischen Spurenmetallen in Oberflächenpositionen und in Gitterpositionen unterschieden, sondern die jeweilige Gesamtkonzentration in den Schwebstoffen verwendet wird.

Die durchschnittlichen Werte der Verteilungskoeffizienten stehen in Tab. 5. Verglichen mit dem  $K_p$  weisen die  $K_d$  gleichgroße oder höhere Werte auf. Da die Kolloidphasen in dieser Rechnung nicht eingeschlossen sind, weisen die Unterschiede zwischen den Werten auf den großen Einfluss der Kolloidfaktionen bei der Komplexbildung von Spurenmetallen hin. Im Durchschnitt liegen die  $K_c$ -Werte zudem über den  $K_d$ -Werten, die Komplexbildungskapazitäten der kolloidalen Phasen sind also zumindest genauso groß wie die der partikulären Phasen.

Die Elemente weisen unterschiedliche Affinitäten zu den untersuchten Phasen auf. Diese werden durch die unterschiedlichen Verteilungskoeffizienten zum Ausdruck gebracht. Die Verteilungskoeffizienten der partikulären Phasen formen die Reihe Fe > Co > Ni > Cd > Cu, während die Verteilungskoeffizienten der Kolloidphasen die Reihe Fe > Cu > Ni > Co > Cd bilden. Die Elementreihe der Kolloidphase stimmt weitestgehend mit den Reihen für Metall-

Huminsäure-Stabilitäten (Sholkovitz, 1978) und für Metall-Huminstoff-Komplexe (Hiraide et al., 1994) überein. Dies deutet auf den starken Einfluss von Huminstoffen auf die Metallkomplexbildung in den kolloidalen Phasen hin.

**Tab. 5:** Durchschnittliche Verteilungskoeffizienten (als  $\log_{10}K$ ) in den Ästuaren

	Log K <sub>d</sub>	Log K <sub>p</sub>	Log K <sub>c</sub>	Log K <sub>d</sub>	Log K <sub>p</sub>	Log K <sub>c</sub>
	<b>Cd</b>			<b>Pb</b>		
<b>Rokan</b>	4.0	4.1	4.9	5.7		
<b>Siak</b>	3.8	3.9	4.2	5.6	6.1	6.2
<b>Kampar</b>	3.8	3.8	4.8	6.0		
<b>Indragiri</b>	4.3	4.4	5.1	5.9		
<b>Musi</b>	4.1	4.3	5.8	6.0		
	<b>Fe</b>			<b>Co</b>		
<b>Rokan</b>	5.7	7.1	7.3	5.3	5.6	5.5
<b>Siak</b>	4.9	6.0	6.3	4.2	4.3	4.6
<b>Kampar</b>	5.6	6.7	6.8	4.7	5.0	5.5
<b>Indragiri</b>	6.1	7.0	7.0	5.1	5.3	5.9
<b>Musi</b>	6.5	7.2	7.0	4.7	4.7	5.2
	<b>Ni</b>			<b>Cu</b>		
<b>Rokan</b>	4.5	4.7	4.7	3.9	4.4	4.6
<b>Siak</b>	4.5	4.6	5.0	4.1	4.4	5.6
<b>Kampar</b>	4.5	4.7	5.6	4.1	4.6	6.2
<b>Indragiri</b>	4.6	4.9	5.6	4.0	4.6	6.1
<b>Musi</b>				4.4	4.8	6.5

### II.1.10 Die Flüsse West-Sumatras zum Vergleich

Randparameter: Die pH-Werte in den Flüssen und Ästuaren West-Sumatras lagen bei 7-8 und waren somit höher als in den Flusssystemen Ost-Sumatras. Während die SPM-Konzentrationen in den Flüssen und ihren Ästuaren auf der Westseite Sumatras wesentlich geringer sind als in den Flusssystemen auf der Ostseite, sind die DOC-Konzentrationen auf der Westseite vergleichbar mit denen der Flüsse Batang Hari und Musi.

Gelöste Spurenmetalle ( $< 0.45 \mu\text{m}$ ) in den Flüssen: Im Vergleich mit den Flüssen auf der Ostseite zeigen die Flüsse auf der Westseite Sumatras geringere Konzentrationen an gelöstem Cd, Pb, Fe, Co, Ni und Cu (Tab. 6 und Tab. 1), die auch im Vergleich mit anderen tropischen Flüssen (z.B. Mekong) mit Ausnahme von Pb niedrig lagen (Cenci et al., 2004; Tab. 1).

Partikuläre Spurenmetalle ( $> 0.45 \mu\text{m}$ ) in den Flüssen: Die partikulären Spurenmetalle Cd, Fe, Co und Cu wiesen mit wenigen Ausnahmen (z.B. Fe im Arau) höhere Konzentrationen als in den Flüssen auf der Ostseite auf (Tab. 6 und Tab. 2), während Pb in den Flüssen auf beiden Seiten ähnlich lag und Ni sogar etwas höhere Konzentrationen auf der Ostseite zeigte. Alle Metallkonzentrationen - mit Ausnahme von Co - liegen unter dem

Weltdurchschnitt (Chester, 2003) und erst recht unter den Werten belasteter Flüsse wie der Schelde (Paucot, 1997).

**Tab. 6:** Konzentrationen von gelöstem und partikulärem Cd, Co, Cu, Fe, Ni und Pb in drei Flüssen auf der Westseite Sumatras (n=1)

<b>gelöst &lt;0.45 µm</b>						
Fluss	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Fe</b>	<b>Co</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>
	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
<b>Anai</b>	0.003	0.007	12.6	0.04	0.04	0.26
<b>Kuranji</b>	0.009	0.025	11.1	0.10	0.13	0.50
<b>Arau</b>	0.003	0.009	6.3	0.05	0.11	0.36
<b>partikulär &gt;0.45 µm</b>						
Fluss	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Fe</b>	<b>Co</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>
	µg/g	µg/g	mg/g	µg/g	µg/g	µg/g
<b>Anai</b>	0.32	20.9	63.2	14.9	7.9	28.2
<b>Kuranji</b>	0.46	26.0	72.6	22.5	11.4	62.2
<b>Arau</b>	0.77	20.0	44.2	31.0	14.6	60.6

**Tab. 7:** Konzentrationen von gelöstem und partikulärem Cd, Co, Cu, Fe, Ni und Pb in Ästuar- und Küstenwässern an der West-Küste Sumatras (n=1; Mw.: Mittelwert)

<b>gelöst &lt; 0.45 µm</b>							
Fluss	<b>Salin</b>	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Fe</b>	<b>Co</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>
		µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
<b>Kuranji</b>	33.3	0.0069	0.004	0.53	0.030	0.092	0.125
<b>Anai</b>	33.0	0.0077	0.006	1.21	0.018	0.099	0.164
<b>Mw</b>	33.2	0.0073	0.005	0.87	0.024	0.095	0.144
<b>partikulär &gt; 0.45 µm</b>							
Fluss	<b>Salin</b>	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Fe</b>	<b>Co</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>
		µg/g	µg/g	mg/g	µg/g	µg/g	µg/g
<b>Kuranji</b>	33.3	0.21	24.5	25.6	1.7	9.8	49.9
<b>Anai</b>	33.0	0.16	24.6	35.6	11.2	9.9	29.0
<b>Mw</b>	33.2	0.18	24.5	30.6	6.4	9.8	39.5

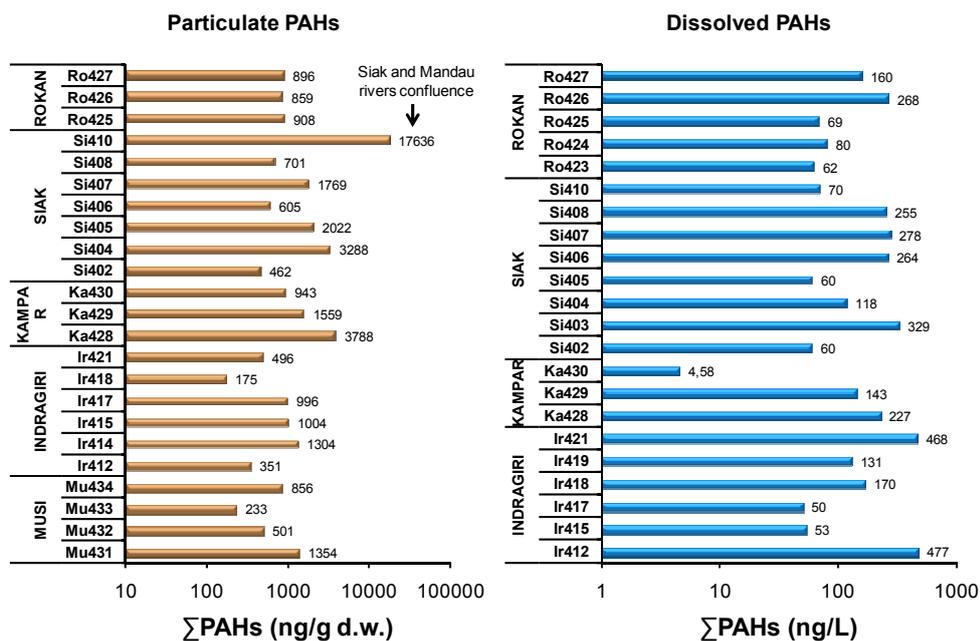
Ästuarines Verhalten der Spurenmetalle: Die Konzentrationen aller gelösten Spurenmetalle, mit Ausnahme von Co, zeigen an der West-Küste, wie auch in den Flüssen beobachtet, geringere Konzentrationen als an der Ost-Küste (Tab. 7 und Tab. 1). In Schwebstoffen

zeigten die Spurenmetalle Cd, Pb, Fe und Co an beiden Küsten ähnlich hohe Werte, während partikuläres Ni an der Ost-Küste und partikuläres Cu an der Westküste jeweils höher lagen (Tab. 7 und Tab. 2).

Verteilung von Spurenmetallen zwischen den Kolloidfraktionen und der „echt gelösten“ Fraktion in den untersuchten Flüssen: West- und Ostsumatra unterscheiden sich auch in den Verteilungen der Spurenmetalle zwischen den Kolloidfraktionen und der echt gelösten Fraktion voneinander (Abb. 7 und Abb. 5): so weisen insbesondere Co, Ni und Cu ausgeprägtere Kolloidfraktionen in den Flüssen auf der Ostseite Sumatras auf, während die Unterschiede zwischen den west- und ostseitigen Kolloidfraktionen von Fe eher geringer sind. Diese Unterschiede werden möglicherweise durch die unterschiedlichen DOC – Konzentrationen und deren Ursprung verursacht. Die in den Kolloidfraktionen in den östlichen Flüssen befindlichen Huminstoffe, welche aus den Torfgebieten ausgewaschen werden, können als Liganden für die Spurenmetalle fungieren (z.B. Sholkovitz, 1978) und diese vermehrt in den Kolloidfraktionen binden.

### II.1.11. Polynukleare Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH's)

Polynukleare Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH's) sind eine Klasse von zum Teil toxischen und karzinogenen organischen Verschmutzungsstoffen. PAH's werden v.a. durch unvollständige Verbrennung, z.B. von Moor- und Torf-Arealen (peatland) oder von fossilen Brennstoffen, gebildet. Als zweite Hauptquelle für das Auftreten von PAH's in der Umwelt ist ihr variabler, aber immer vorhandener Anteil an Rohöl und daraus gefertigten Produkten.



**Abb. 7:** Polynukleare Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH's; logarithmische Konzentrationsachse) in Schwebstoffen (links) und in der Lösung jeweils mehrerer Proben aus den großen Flüssen Ost-Sumatras: Rokan, Siak, Kampar, Indragiri und Musi

Brandrodung von Moor- und Torf-Arealen im Zuge der Landnutzungs-Änderung in Richtung Palmöl-Plantagen ist auf Sumatra (und Kalimantan) von vorrangiger Bedeutung und konstituierte – vor dem Hintergrund der durch El-Nino beförderten Agrikultur-Brände – den Anlass für die Befassung mit dieser Substanzklasse. Wie allgemein üblich – wurden die 16 von der US-EPA als „priority pollutants“ ausgewählten Einzelverbindungen quantifiziert und summiert. Im Rahmen der Untersuchung von peatland-drainierenden Flüssen Ost-Sumatras

im Verlauf von SPICE II wurden PAH's in Schwebstoffen und in Lösung der Flüsse Siak, Rokan, Kampar, Indragiri und Musi untersucht (Abb. 7).

In Hinblick auf vergleichbare Untersuchungen in anderen Küstengebieten sind die Konzentrationen in den aquatischen Systemen Ost-Sumatras als moderat bis hoch zu bewerten. Die Konzentrationen waren häufig größer als in den Flüssen Europas und Asiens. Die zu Diagnose-Zwecken berechneten Verhältnisse zwischen bestimmten Einzelverbindungen zeigen an, dass die PAH's in erster Linie aus Biomasse-Verbrennung stammen. Allerdings konnte – v.a. im Siak und im Musi - auch ein bedeutender Beitrag identifiziert werden, der aus Petroleum-Kohlenwasserstoffen stammt.

### **II.1.12. Zusammenfassung**

Die Spuren- bzw. Schwermetalle Cd, Fe, Co, Ni, Cu und Zn in den gelösten Phasen der untersuchten Ästuarie auf Ostsumatra weisen geringe bis moderate Konzentrationen auf und können als un- oder wenig belastet bezeichnet werden. Die Konzentrationen der in den partikulären Phasen gebundenen Metalle werden primär durch die Mischung von fluviatilen und marinen Partikeln bestimmt, in denen ähnlich niedrige Konzentrationen auftreten. Während der ästuarinen Mischung von Süß- und Salzwasser in den sechs Flüssen zeigen die in den gelösten Fraktionen gebundenen Metalle individuelle Verhaltensweisen. Kadmium in den Ästuaren Kampar, Batang Hari und Musi weist im mittleren Salinitätsbereich eine Konzentrationszunahme auf, was durch die Komplexierung mit marinen Chlorid-Ionen erklärt werden kann. Eisen wird insbesondere in den Ästuaren Rokan, Kampar und Indragiri aus der Lösung durch die Ausflockung von Kolloiden entfernt. Dies gilt auch für Nickel und Kupfer in den Ästuaren des Rokan und des Kampar. In der Lösung (Filtration, < 0.4 µm) sind Blei, Eisen, Kupfer und Nickel in allen Ästuaren in signifikantem Anteil mit kolloidalen Phasen assoziiert. Dies trifft weniger auf Kadmium und Kobalt zu, deren Anteile in den Kolloidfraktionen zwischen 5 kDa und 0.4 µm zwar vorhanden, aber deutlich niedriger als die der anderen Elemente sind. Alle Elemente mit Ausnahme von Kadmium zeigen signifikante Korrelationen mit gelöstem organischem Kohlenstoff in den kolloidalen Phasen, was auf Komplexierungen hinweist. Eisen, Blei, Kupfer und Nickel sind in hohem Umfang in der größten Kolloidfraktion (zwischen 30 kDa und 0.4 µm) vertreten, wobei jedoch mit steigender Salinität eine zunehmende Umschichtung zu kleineren Kolloid-Fraktionen bzw. zur "echten Lösung" zu beobachten ist. Bisher ist nicht geklärt, inwieweit der Salzgehalt mit der zunehmenden Ionenstärke die Kolloidgröße beeinflusst und/oder bakterielle und/oder UV-induzierte Degradationsprozesse bestimmend sind. Kadmium weist auf Grund seiner Affinität für anorganische Liganden die geringsten Konzentrationen in den Kolloidfraktionen auf. Im Vergleich mit huminstoff-ärmeren Flüssen auf der Westseite Sumatras weisen die peatland-drainierenden Ästuarie auf der Ostseite deutlich höhere Anteile von Eisen, Kupfer und Nickel in den Kolloidfraktionen auf. Polynukleare Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH's), die in Sumatra v.a. der unvollständigen Verbrennung von Moor- und Torf-Arealen (peatland), aber auch Rohöl-Produkten entstammen, wurden in Schwebstoffen und Lösung der Flüsse Siak, Rokan, Kampar, Indragiri und Musi untersucht. In Hinblick auf vergleichbare Untersuchungen in Flüssen Europas und Asiens sind die Konzentrationen in den aquatischen Systemen Ost-Sumatras als moderat bis hoch zu bewerten.

### **II.1.12. Literatur**

- Boyle, E.A., Edmond, J.M., Sholkovitz, E.R., 1977. The mechanism of iron removal in estuaries. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 41, 1313-1324.
- Cenci, R.M., Martin, J.-M., 2004. Concentration of trace metals in Mekong River Delta. *Science of the Total Environment* 332, 167-182.
- Chester, R., 1990. *Marine Geochemistry*. London, Uniwin Hyman, pp. 698.

- Dai, M., Martin, J.-M., Cauwet, G., 1995. The significant role of colloids in the transport and transformation of organic carbon and associated trace metals (Cd, Cu and Ni) in the Rhone delta (France). *Marine Chemistry* 51, 159-175.
- Grabemann, I., Uncles, R.J., Krause, G., Stephens, J.A., 1997. Behaviour of Turbidity Maxima in the Tamar (U.K.) and Weser (F.R.G.) Estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 45, 235-246.
- Hatje, V., Payne, T.E., Hill, D.M., McOrist, G., Birch, G.F., Szymczak, R., 2003. Kinetics of trace element uptake and release by particles in estuarine waters: effects of pH, salinity and particle loading. *Environmental International* 29, 619-629.
- Hiraide, M., Hiramatsu, S., Kawaguchi, H., 1994. Evaluation of humic complexes of trace metals in river water by adsorption on indium-treated XAD-2 resin and DEAE-Sephadex A-25 anion exchanger. *Analytical Chemistry* 348, 758-761.
- Jiann, K.-T., Wen, L.-S., Santschi, P.H., 2005. Trace metal (Cd,Cu,Ni, and Pb) partitioning, affinities and removal in the Danshuei River estuary, a macro-tidal, temporally anoxic estuary in Taiwan. *Marine Chemistry* 96, 293-313.
- Konhauser, K.O., Fyfe, W.S., Kronberg, B.I., 1994. Multi-element chemistry of some Amazonian waters and soils. *Chemical Geology* 111, 155-175.
- Kreapiel, A.M.L., Chiffolleau, J.-F., Martin, J.M., Morel, F.M.M., 1997. Geochemistry of trace metals in the Gironde estuary. *Geochimica et Cosmochimica Acta* Vol 61, No. 7, 1421-1436.
- Laumonier, Y., 1997. *The Vegetation and Physiography of Sumatra*. Kluwer Academic Publishers, 215 pp.
- Mantoura, R.F.C., Dickson, A., Riley, J.P., 1978. The Complexation of Metals with Humic Materials in Natural Waters. *Estuarine and Coastal Marine Science* 6, 387-408.
- Paucot, H., Wollast, R., 1997. Transport and transformation of trace metals in the Scheldt estuary. *Marine Chemistry* 58, 229-244.
- Sholkovitz, E.R., 1976. Flocculation of dissolved organic and inorganic matter during the mixing of river water and seawater. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 40, 831-845.
- Sholkovitz, E.R., 1978. The Flocculation of Dissolved Fe, Mn, Al, Cu, Ni, Co, and Cd during Estuarine Mixing. *Earth and Planetary Science Letters* 41, 77-86.
- Suratman, S., Hang, H.C., Shazili, N.A.M., Mohd Tahir, N., 2009. A preliminary Study of the Distribution of Selected Trace Metals in the Besut River Basin, Terengganu, Malaysia. *Bull Environ Contam Toxicol* 82, 16-19.
- Turner, A., Millward, G.E., Schuchardt, B., Schirmer, M., Prange, A., 1992. Trace metal distribution coefficients in the Weser Estuary (Germany). *Continental Shelf Research* 12, 1277-1292.
- Wells, M.L., Smith, G.J., Bruland, K.W., 2000. The distribution of colloidal and particulate bioactive metals in Narragansett Bay, RI. *Marine Chemistry* 71, 143-163.
- Wen, L.-S., Santschi, P., Gill, G., Paternostro, C., 1999. Estuarine trace metal distributions in Galveston Bay: importance of colloidal forms in the speciation of the dissolved phase. *Marine Chemistry* 63, 185-212.
- Wen, L.-S., Santschi, P.H., Warnken, K.W., Davison, W., Zhang, H., Li, H.-P., Jiann, K.-T., 2011. Molecular weight and chemical reactivity of dissolved trace metals (Cd, Cu, Ni) in surface waters from the Mississippi River to Gulf of Mexico. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 92, 649-658.
- Windom, H., Smith, R., Jr., Rawlinson, C., 1988. Trace Metal Transport in a Tropical Estuary. *Marine Chemistry* 24, 293-305.
- Zhang, J., 1995. Geochemistry of Trace Metals from Chinese River/Estuary Systems: An Overview. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 41, 631-658.
- Zwolsman, J.J.G., Van Eck, G.T.M., 1993. Dissolved and particulate trace metal geochemistry in the scheldt estuary, s.w. Netherlands (water column and sediments). *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 27, 287-300.
- Zwolsman, J.J.G., Van Eck, G.T.M., 1999. Geochemistry of major elements and trace metals in suspended matter of the Scheldt estuary, southwest Netherlands. *Marine Chemistry* 66, 91-111.

## **II.2. Nutzen und Verwertbarkeit**

Für Regierungsstellen und die lokale Industrie sind – wie bereits im Vorläuferprojekt SPICE I beschrieben - Kenntnisse über Herkunft, Mengen und das Schicksal von Schwermetallen (plus Arsen) und PAHs (anthropogen vs natürlich) eine Vorbedingung, wenn gegebenenfalls Maßnahmen zur Reduzierung der Verschmutzung ergriffen werden sollen. Dies ist um so wichtiger, da allgemein die Probleme, die im Zusammenhang mit den genannten Schadstoffen entstehen, in der Zukunft vermutlich zunehmen werden. Gründe dafür sind, a) dass sich die Bevölkerung mit ihren Lebensaktivitäten noch weiter auf den Küstenraum konzentrieren wird, b) dass wegen des ökonomischen Wachstums neue Industrien entstehen werden und c) dass die Lebensmittel-Versorgung für eine steigende Bevölkerung höhere landwirtschaftliche Erträge erfordert, die ohne weiteren Dünger und mehr/bessere Biozide kaum zu erreichen sein wird. Die hier ermittelten detaillierten Informationen über die Speziation der einzelnen Spurenmetalle und die Rolle, die die Huminstoffe dabei spielen, wurden aus Analysen der durch Ultrafiltration isolierten Kolloid-Fractionen gewonnen. Die Ergebnisse aus den untersuchten sechs Flüssen Ost-Sumatras zeigen, dass nur ein sehr geringer Anteil z.B. des Bleis und des Eisens sich in echter Lösung (< 5000 Da) befindet. Da unbehandeltes Fluss-Wasser immer noch die Trinkwasserquelle für einen großen Teil der lokalen Bevölkerung darstellt, sind diese Kenntnisse nützlich, um geeignete Maßnahmen zur Verbesserung der Wasser-Qualität ins Werk zu setzen.

## **II.3. Fortschritte von anderen Stellen**

Da während der Laufzeit des Projektes nach unserem Kenntnisstand keine anderen wasserchemischen Untersuchungen im Einzugsgebiet der sechs Flüsse Ost-Sumatras durchgeführt wurden, sind keine neuen Erkenntnisse oder Fortschritte von dritter Stelle zu erwarten.

## **II.4. Veröffentlichungen**

### **In Zeitschriften:**

Bach, B., Balzer, W., et al. (manuscript a) The distribution of colloidal trace elements in peat-draining tropical estuaries (Sumatra)

Bach, B., Balzer, W., et al. (manuscript b) Solid-solution partitioning in six major East-Sumatran estuaries.

Bach, B., Balzer, W., et al. (manuscript c) The distribution of particulate, dissolved, and colloidal trace metals in tropical estuaries: a comparison between peat-draining and volcanic rock draining rivers

Balzer, W., K. Frische, I. Becker, J. Samiaji and C. Jose. Distribution of trace elements along the Siak. Einzureichen als Buchbeitrag zu "The Siak, a blackwater river in Sumatra, Indonesia.

Lukman, M., W. Balzer, C. Jose. Ubiquitous distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in the Siak River, its estuary and the Riau coastal area of Sumatra. Einzureichen als Buchbeitrag zu "The Siak, a blackwater river in Sumatra, Indonesia.

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

### **Abschlussarbeiten:**

Pithan, Felix (2009) "Gelöste Hauptbestandteile in kolloidalen Größenklassen einer tropischen Lagune". Bachelor-Thesis, Univ. Bremen

Böhler, Esther (2010) Verteilung von Arsen in Lösung und kolloidalen Fraktionen in drei tropischen Ästuarsystemen. Diplomarbeit, Univ. Bremen

Bach, Björn (2011) Speciation and Concentration of Trace Elements in the Estuaries of East-Sumatra. (Dissertation, in preparation)

#### **Vorträge:**

Balzer, W., Ali Suman, Joko Samiaji (10. Nov. 2008) "Progress, problems and further perspectives of Cluster 4, beim SPICE II Roundtable Meeting in Pekanbaru, Sumatra, in Pekanbaru zur Vorbereitung von "SPICE II Perspectives" für das Indonesisch-Deutsche "Steering Committee Meeting" in Gegenwart von Prof. Ittekkot, Dr. Hari Eko Irianto (DKP) und Frau Dr. Nada Marsudi (RISTEK)

Balzer, W. (17. Nov. 2008) Natural and Anthropogenic Problems of the Siak River and Its Estuary (Trace Metals). International Conference on Indonesian Inland Waters, Palembang

Balzer, W., G. Liebezeit, T. Rixen, T. Pohlmann, H. Siegel, J. Samiaji, C. Jose, A. Suman (12. Mai 2009) SPICE-Cluster 4: Impact of land-sea fluxes from major rivers of East-Sumatra on coastal ecosystem health: pollutant loads, transport and fate. WOC 2009 in Manado, "Symposium of Indonesia-Germany SPICE-Program"

Balzer, W., B. Bach, M. Mueller, X. Tang, J. Samiaji, C. Jose, A. Suman (13. Mai 2009) Trace metal run-off from five major wetland rivers of East-Sumatra to the coastal zone: association with humics. WOC 2009 in Manado, Session 28 "Wetland and Estuary"

Lukman, M., W. Balzer (13. Mai 2009) Understanding the fate of organic pollution in coastal marine areas: A case study of contamination by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Siak River, its Estuary and Riau coastal waters. WOC 2009 in Manado, Session 27 "Marine Pollution"

Balzer, W., K. Frische, I. Becker, J. Samiaji, C. Jose (Presenter B. Bach) (14. Mai 2009) Pollutant metal run-off from a tropical river system (Siak river, East Sumatra), their estuarine modification and coastal zone distribution. WOC 2009 in Manado, Session 27 "Marine Pollution"

Balzer, W., G. Liebezeit, T. Rixen, T. Pohlmann, H. Siegel, A. Suman, H. Samhudi, N. Wiadnyana, J. Samiaji, C. Jose (21. April 2010) Impact of land-sea fluxes from major rivers of East-Sumatra on coastal ecosystem health: pollutant loads, transport and fate. SPICE Evaluation Meeting, Jakarta

### **III. Erfolgskontrollbericht**

#### **III.1. Beitrag zu den förderpolitischen Zielen**

Nachdem Untersuchungen zu "Health of the Coastal Seas and Pollution Studies" als vorrangige Aufgaben für die Indonesisch-Deutsche Kooperation identifiziert wurden (vgl. Workshop in Jakarta, 13.-14. März 2002), konnte dieses Ziel zunächst bei dem Vorgängerprojekt SPICE I - bezogen auf den Siak – eingelöst werden. Dabei kamen jedoch Untersuchungen zu kurz, die den Siak als typischen Schwarzwasserfluss großräumig zu den anderen Flüssen Sumatras in Beziehung setzen; auch die Küstengebiete konnten seinerzeit nur sehr eingeschränkt bearbeitet werden. Das jetzt beendete Projekt hat nicht nur die wesentlichen Ästuar- und Küstensysteme Sumatras erforscht, sondern kann auch als Modell- und Vorbild-Untersuchung für die zahllosen anderen Küstensysteme Indonesiens genutzt werden. Für Regierungsstellen und die lokale Industrie sind Kenntnisse über Herkunft, Mengen und das Schicksal von Schwermetallen (plus Arsen) und PAH's eine Vorbedingung, wenn Maßnahmen zur Reduzierung der Verschmutzung ergriffen werden sollen. Es wurde zuvor bei einer allgemeinen Gefahrenbewertung abgeschätzt (MPP-EAS, 1999), dass v.a. Schwermetalle in Wassersäule und Sediment, Pestizide in Sedimenten und Schwebstoffen sowie Öle und Fette zukünftig den Ökosystemen nahe der Malakka-Straße Schaden zufügen werden. Allerdings zeigen die Ergebnisse dieser Studie, dass hinsichtlich von Schwer- und Spurenmetallen die anthropogenen Beiträge nur lokal von Bedeutung sind und vermutlich keine aktuellen Gefahren von dieser Substanzklasse ausgehen. In Bezug auf die PAH's, die v.a. langjähriger und andauernder Brandrodung entstammen, sind die Ökosysteme Sumatras als moderat bis stark belastet anzusehen.

#### **III.2. Wissenschaftlich-technische Ergebnisse**

Die Spuren- bzw. Schwermetalle Cd, Fe, Co, Ni, Cu und Zn in den gelösten Phasen der untersuchten Ästuar auf Ostsumatra weisen geringe bis moderate Konzentrationen auf und können als un- oder wenig belastet bezeichnet werden. Die Konzentrationen der in den partikulären Phasen gebundenen Metalle werden primär durch die Mischung von fluviatilen und marinen Partikeln bestimmt, in denen ähnlich niedrige Konzentrationen auftreten. Während der ästuarinen Mischung von Süß- und Salzwasser in den sechs Flüssen zeigen die in den gelösten Fraktionen gebundenen Metalle individuelle Verhaltensweisen. Kadmium in den Ästuaren Kampar, Batang Hari und Musi weist im mittleren Salinitätsbereich eine Konzentrationszunahme auf, was durch die Komplexbildung mit marinen Chlorid-Ionen erklärt werden kann. Eisen wird insbesondere in den Ästuaren Rokan, Kampar und Indragiri aus der Lösung durch die Ausflockung von Kolloiden entfernt. Dies gilt auch für Nickel und Kupfer in den Ästuaren des Rokan und des Kampar. In der Lösung (Filtration, < 0.4 µm) sind Blei, Eisen, Kupfer und Nickel in allen Ästuaren in signifikantem Anteil mit kolloidalen Phasen assoziiert. Dies trifft weniger auf Kadmium und Kobalt zu, deren Anteile in den Kolloidfraktionen zwischen 5 kDa und 0.4 µm zwar vorhanden, aber deutlich niedriger als die der anderen Elemente sind. Alle Elemente mit Ausnahme von Kadmium zeigen signifikante Korrelationen mit gelöstem organischem Kohlenstoff in den kolloidalen Phasen, was auf Komplexbildungen hinweist. Eisen, Blei, Kupfer und Nickel sind in hohem Umfang in der größten Kolloidfraktion (zwischen 30 kDa und 0.4 µm) vertreten, wobei jedoch mit steigender Salinität eine zunehmende Umschichtung zu kleineren Kolloid-Fraktionen bzw. zur "echten Lösung" zu beobachten ist. Bislang ist nicht geklärt, inwieweit der Salzgehalt mit der zunehmenden Ionenstärke die Kolloidgröße beeinflusst und/oder bakterielle und/oder UV-induzierte Degradationsprozesse bestimmend sind. Kadmium weist auf Grund seiner Affinität für anorganische Liganden die geringsten Konzentrationen in den Kolloidfraktionen auf. Im Vergleich mit huminstoff-ärmeren Flüssen auf der Westseite Sumatras weisen die peatland-drainierenden Ästuar auf der Ostseite deutlich höhere Anteile von Eisen, Kupfer und Nickel in den Kolloidfraktionen auf. Polynukleare Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH's), die in Sumatra v.a. der unvollständigen Verbrennung von Moor- und Torf-Arealen (peatland), aber

auch den Rohöl-Produkten entstammen, wurden in Schwebstoffen und Lösung der Flüsse Siak, Rokan, Kampar, Indragiri und Musi untersucht. In Hinblick auf vergleichbare Untersuchungen in Flüssen Europas und Asiens sind die Konzentrationen in den aquatischen Systemen Ost-Sumatras als moderat bis hoch zu bewerten.

### **III.3. Verwertungsplan**

Bei diesem Projekt war nicht geplant, dass sich Patente ergeben. Von daher sind auch keine Schutzrechtsanmeldungen etc. erforderlich. Eine Verwertungslinie der erzielten Ergebnisse ist die Ableitung von Handlungsoptionen für die lokale Regierung, die Behörden und die lokale Industrie.

### **III.4. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben**

Aufgrund der Planung konnten erfolglose Arbeiten vermieden werden.

### **III.5. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer**

Aus den Ergebnissen erzeugte Publikationen sollen in internationalen Zeitschriften erscheinen. Basierend auf unseren bisherigen Ergebnissen können Handlungsanweisungen abgeleitet werden, die zur Verbesserung des Trinkwassers aus den Flüssen Ost-Sumatras und zur Entwicklung von Küstenmanagement-Plänen beitragen können.

### **III.6. Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung**

Die Verwendungsnachweise und der wissenschaftliche Abschlussbericht dokumentieren, dass die Finanz- und Zeitpläne eingehalten worden sind. Dies erforderte einige Umschichtungen, da die beantragten und bewilligten Mittel zur Anmietung kleiner "Forschungs"-Schiffe (speed-boats) wg. außerordentlicher Preiserhöhungen unzureichend waren. Auch das zur Beprobung der Küstengebiete vorgesehene große Forschungsschiff erwies sich wg. des Tiefgangs als nicht geeignet und die erwarteten Charter-Kosten überstiegen die bewilligten Mittel. Glücklicherweise konnte auf ein privates, normalerweise für Tauch-Tourismus eingesetztes Schiff ausgewichen werden. Durch die großen Bemühungen des indonesischen Projekt-Koordinators Dr. Ali Suman wurde diese Expedition von einem Militär-Beobachter begleitet, der einige unerwartete Probleme erfolgreich löste. Wegen des Auftretens der aus Island stammenden Vulkanasche im Frühjahr 2010 musste die Vergleichsfahrt an die Westküste Sumatras um einige Monate verschoben werden, was letztlich zur kostenneutralen Verlängerung des Projektes bis zum 31.12.2010 führte.

## Abschlussbericht

Zuwendungsempfänger:

**Prof. Dr. Gerd Liebezeit**

Carl von Ossietzky Universität Oldenburg  
ICBM-Terramare  
Schleusenstraße 1  
26382 Wilhelmshaven

Förderkennzeichen:

**03F0473 B**

Vorhabenbezeichnung:

**SPICE II Cluster 4: Industrielle und städtische Einleitungen von natürlichem und anthropogenem partikulärem organischem Material in Ostsumatra, Indonesien**

Laufzeit des Vorhabens:

**01. Sept. 2007 – 31. Aug. 2010, verlängert bis 31. Dez. 2010**

Autoren:

**Projektleiter: Prof. Dr. Gerd Liebezeit**

**Mitarbeiter: Dr. Daniel Ziehe**

**Das diesem Bericht zugrundeliegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03F0473A gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.**

## **I. Kurzdarstellung**

### ***1.1. Aufgabenstellung***

In diesem Teilprojekt des SPICE Clusters 4 spielten weiterhin die Fragen nach Quellen und Senken von natürlichen organischen Verbindungen eine wesentliche Rolle. Neu hinzu kamen ausgewählte Verbindungen anthropogenen Ursprungs, vor allem solche mit östrogenen Wirkungen. Ebenso wurden aus der Plantagenwirtschaft stammende Pestizide, hier im wesentlichen Organophosphorverbindungen, in Betracht gezogen. Daneben wurde das Schicksal von in ungeklärten Abwässern enthaltenen Biomarkern wie Copropstanol mit Hinblick auf Abbauarbeit oder Akkumulationsfähigkeit untersucht. In Absprache mit den anderen beteiligten Arbeitsgruppen wurden verschiedene Flüsse in Ostsumatra bearbeitet. Die erhaltenen Daten erlauben es nun, die bislang nur punktuell vorliegenden Informationen über anthropogene Belastungen der Flusssysteme weitgehend flächendeckend vorzulegen und damit der indonesischen Seite wichtige Daten für administrative und politische Entscheidungen zur Verfügung stellen.

### ***1.2. Voraussetzungen unter denen das Projekt durchgeführt wurde***

Da das organische Material in Ästuar- und Küstensedimenten sowohl marinen als auch terrestrischen Ursprungs sein kann, ist zur Unterscheidung des eingetragenen Materials eine geochemische Identifikation aller möglichen Quellen nötig. Solche Daten liegen bisher lediglich für das Siak-System (s. dazu Abschlussbericht SPICE I) vor. Daher wurden auch die wichtigsten pflanzlichen Quellen näher untersucht. Ein Vergleich dieser Daten mit Ergebnissen von Sedimentanalysen sollte es ermöglichen, die Quellen des sedimentären organischen Materials zu ermitteln.

### ***1.3. Planung und Ablauf des Projekts***

Das Projekt beteiligte sich an den Messkampagnen im März und im November 2008, im Oktober 2010 sowie im Juli 2011. Dabei wurden an 132 Stationen Sediment- und an 140 Stationen Wasserproben, verteilt über die Flüsse Rokan, Siak, Kampar, Indragiri, Batang Hari und Musi und in deren unmittelbarem Küstenvorfeld, genommen.

### ***1.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand***

Zu Beginn des Vorhabens gab es außer einigen wenigen, in der "grauen Literatur" beschriebenen Untersuchungen keinerlei Ergebnisse zur organisch geochemischen Zusammensetzung der Partikel in den aquatischen Systemen Sumatras. Die einzige Erkenntnisquelle, an die angeknüpft werden konnte, bildeten die eigenen Untersuchungen in dem Vorläuferprojekt SPICE I, das in der Zeit von August 2003 bis Februar 2007 bearbeitet wurde.

### ***1.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen***

Im Projekt wurde intensiv mit den anderen Teilprojekten zusammengearbeitet. Das bezieht sich sowohl auf die gemeinsam durchgeführten Messkampagnen als auch auf die gemeinsame Bewertung der erhaltenen Daten.

## II. Detaillierte Darstellung

### II.1. Erzielte Ergebnisse

#### Material und Methoden

Während der Feldkampagnen wurden insgesamt 132 Sediment- und 140 Wasserproben genommen (Abb. 1). Proben der Sedimente wurden mit einem Greifer vom van Veen-Typ mit einer Fläche von 150 cm<sup>2</sup> gewonnen. Die Eindringtiefe war je nach Sedimenttyp 3 bis 8 cm. Alle Proben wurden vor Ort luftgetrocknet, soweit möglich, und dann im Labor gefriergetrocknet. Unterproben für die Bestimmung der Wassergehalte und zur Analyse der Korngrößenverteilung wurden feucht aufbewahrt. Wassergehalte wurden durch Differenzwägung vor und nach Trocknen bei 105 °C bestimmt. Die Bestimmung der Korngrößenspektren erfolgte mit Laserrefraktion (Laser Particle Sizer Analysette 22, Fritsch). Die Parameter Median, Schiefe und Kurtosis wurden von den Berechnungen des Messgerätes übernommen. Die getrockneten Proben wurden in einer Achatkugelmühle homogenisiert. TOC (total organic carbon) wurde durch Hochtemperaturverbrennung in Sauerstoffatmosphäre bestimmt. Black Carbon wurde nach Verbrennung des labilen organischen Kohlenstoffs bei 800 °C analog bestimmt.

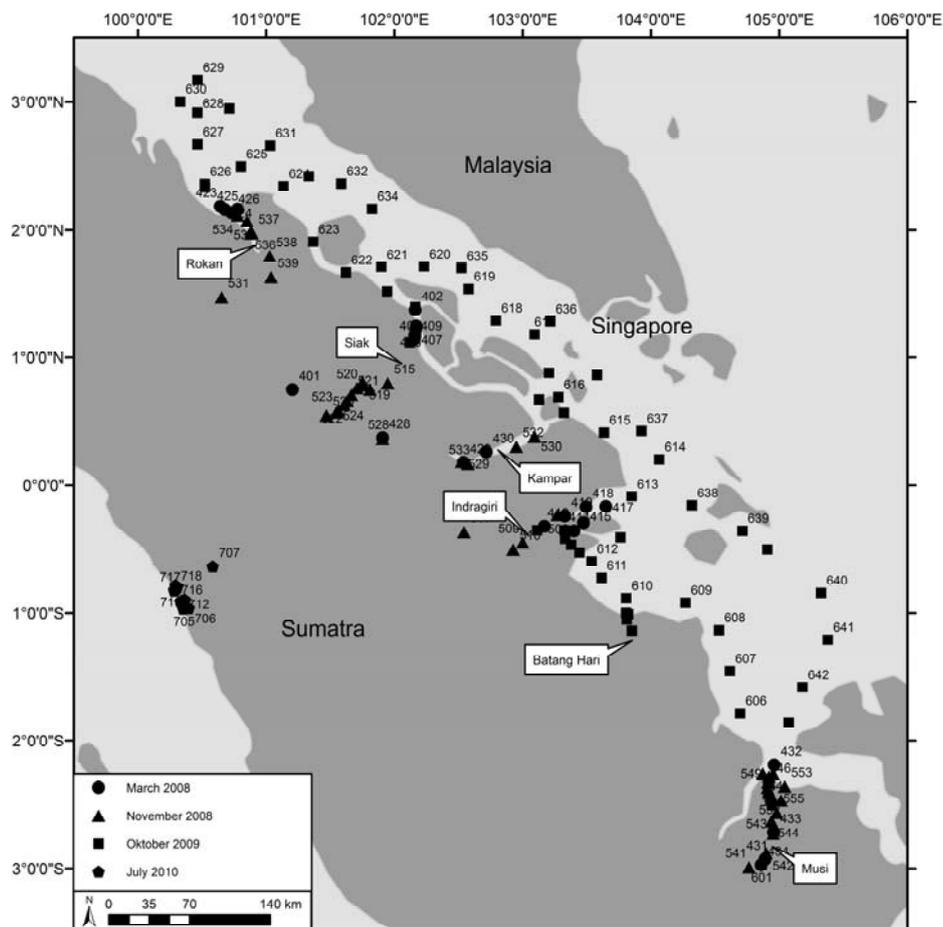


Abb. 1: Stationskarte aller beprobten Stationen

## Ergebnisse und Diskussion

### *Sedimente - Korngrößenverteilung*

Die untersuchten Sedimente sind als Sande bis Schluffe anzusprechen (Abb. 2). Der Tonanteil ist bei allen Proben <20 %. Dabei lässt sich eine deutliche Zweiteilung in Sande und Schluffe erkennen, die durch einige wenige Proben im Übergangsbereich verbunden sind.

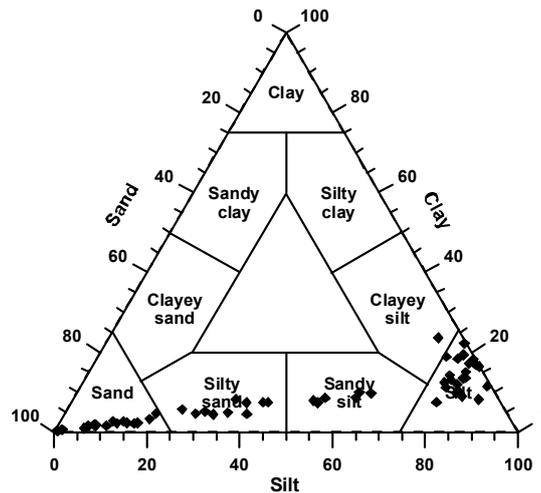


Abb. 2: Shepard-Plot der analysierten Sedimente

Die Sedimente der sechs beprobten Flüsse Rokan, Siak, Kampar, Indragiri, Batang Hari und Musi und in deren unmittelbarem Küstenvorfeld teilen sich im Wesentlichen in drei Gruppen auf (Abb. 3). Grobkörnige Sedimente mit geringen Schiefewerten, die sich vor allem in den Mittelläufen der Flüsse befinden und auf bodennahen Transport hindeuten, feinkörnige Sedimente mit positiver Schiefe, die auf Transport in Suspension hindeuten und feinkörnige Sedimente mit hohen Schiefewerten. Die Grenze zwischen beiden Gruppen wird wahrscheinlich durch den Tideneinfluss definiert, d.h. feinkörnige Sedimente werden dort abgelagert, wo durch Tideneinfluss die Strömungsgeschwindigkeit reduziert ist. Bis auf wenige Ausnahmen entsprechen diese Befunde den Daten, die aus der ersten Projektphase für den Siak vorliegen (s. dazu Abschlussbericht SPICE I).

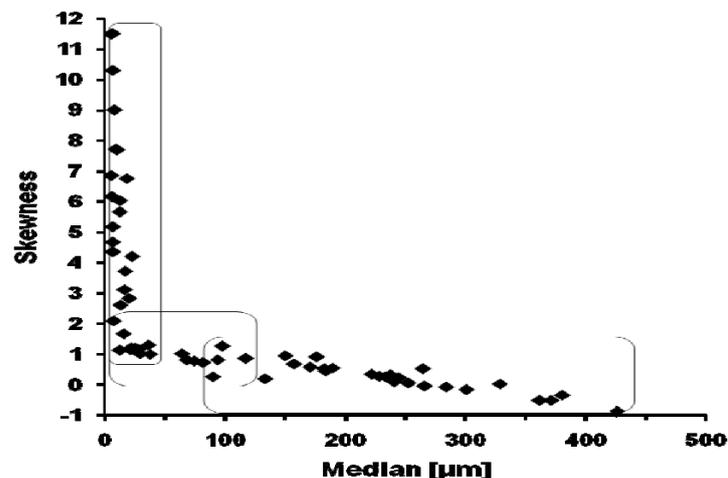


Abb. 3: Schiefe-Median-Verteilung aller Sedimente

Die geringen Anteile an Tonfraktion lassen erwarten, dass allein aufgrund fehlender Sorptionskapazität die Gehalte an Schwermetallen und organischen Schadstoffen im Sediment relativ gering sein sollten. So zeigt z.B. Abdullah (1997) für Sedimente der malayischen Küste, dass die Gehalte an polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) u.a. stark vom Korngrößenspektrum abhängen, d.h. je höher der Tonanteil, desto höher auch der PAK-Gehalt.

#### *Sedimente - organischer Kohlenstoff*

Alle untersuchten Sedimente zeigen nahezu ähnliche Ergebnisse wie die im SPICE I-Abschlussbericht beschriebene Verteilung der TOC-Gehalte (Abb. 4; s. dazu Abschlussbericht SPICE I). Auch bei den anderen untersuchten Flüssen findet sich das Phänomen hoher TOC-Gehalte in sandigen Sedimenten, wiederum ein Indikator für die Anwesenheit von relativ grobkörnigem organischen Debris in diesen Proben.

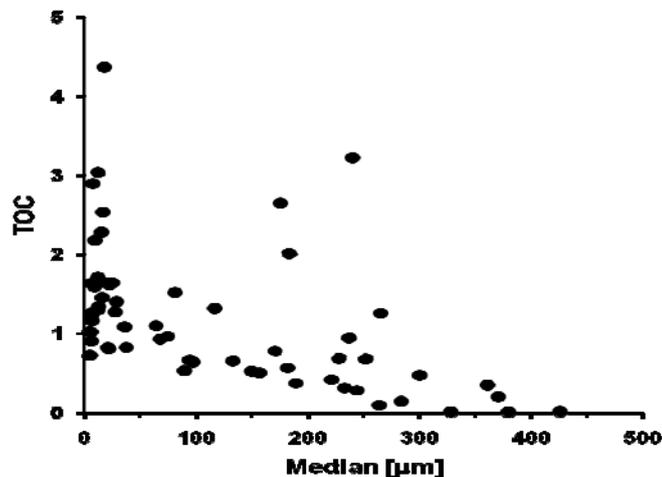


Abb. 4: Beziehung TOC-Median für alle untersuchten Sedimente

#### *n-Alkandaten*

Bei den *n*-Alkanen handelt es sich um Bestandteile epicuticularer Pflanzenwachse, welche durch Decarboxylierung von Fettsäuren gebildet werden. Nach EGLINGTON & HAMILTON (1967) haben Verbindungen pflanzlichen Ursprungs in der Regel eine ungeradzählige Kettenlänge. *n*-Alkane aus Erdölen zeigen eine solche Bevorzugung jedoch nicht. Mit Hilfe des „carbon preference index“ (CPI) gelingt es zwischen Einträgen aus terrestrischer Vegetation und Ölverschmutzung zu differenzieren (FARRINGTON & TRIPP, 1977). Der CPI berechnet sich nach BRAY & EVANS (1961) wie folgt:

$$\text{CPI}_{25-33} = 0.5 \frac{(\text{C}_{25} + \text{C}_{27} + \text{C}_{29} + \text{C}_{31} + \text{C}_{33})}{(\text{C}_{24} + \text{C}_{26} + \text{C}_{28} + \text{C}_{30} + \text{C}_{32})} + \frac{(\text{C}_{25} + \text{C}_{27} + \text{C}_{29} + \text{C}_{31} + \text{C}_{33})}{(\text{C}_{26} + \text{C}_{28} + \text{C}_{30} + \text{C}_{32} + \text{C}_{34})}$$

Dabei indizieren CPI-Werte >3 Vegetation, solche <3 zeigen einen Eintrag von Erdöl-kohlen-Wasserstoffen an.

Die *n*-Alkangehalte vom März und November 2008 schwanken zwischen 3,5 und 1288,4 µg/g TOC um einen Mittelwert von 356,8 µg/g TOC. Der CPI<sub>27-33</sub>-Wert variiert

von 0,6 bis 9,3 um einen Mittelwert von 5 und würde nach der gängigen Interpretation (FARRINGTON & TRIPP, 1977) einen dominanten Eintrag aus **terrestrischer** Vegetation anzeigen (Abb. 5-6 und 8).

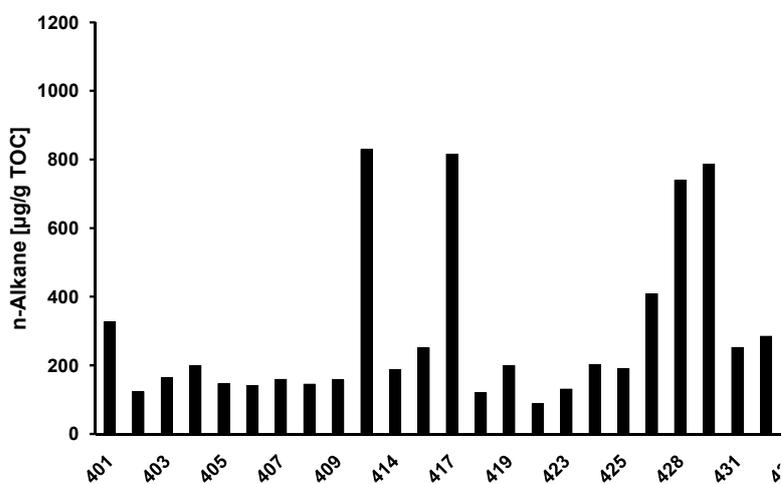


Abb. 5: *n*-Alkangehalte vom März 2008

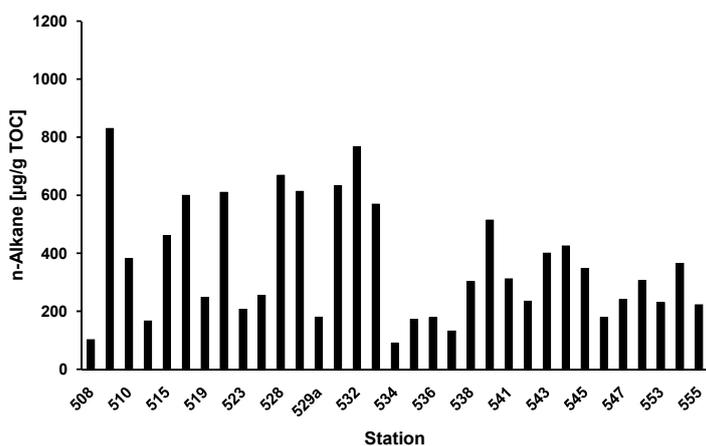


Abb. 6: *n*-Alkangehalte vom November 2008

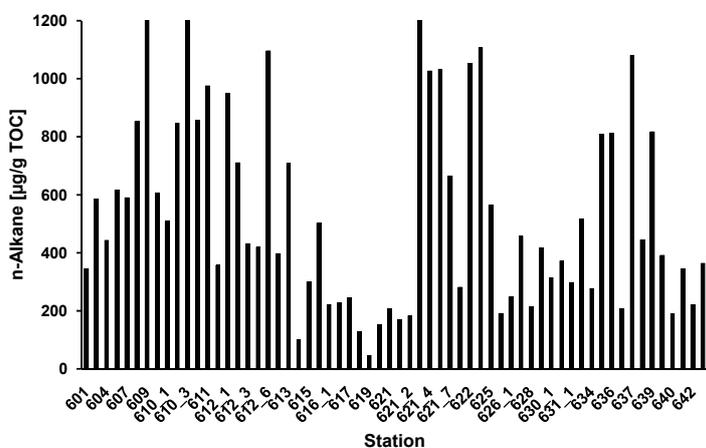


Abb. 7: *n*-Alkangehalte vom Oktober 2009

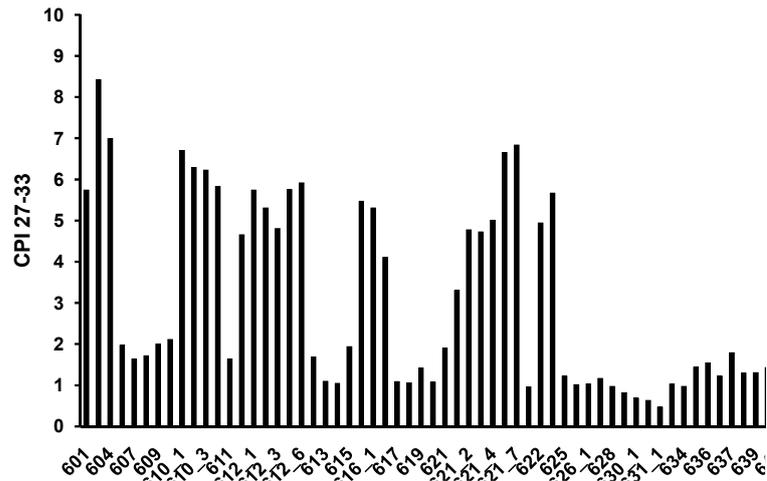


Abb. 8: n-Alkangehalte vom Oktober 2009

Abbildung 8 vom Oktober 2009 zeigt hingegen einen dominanten Eintrag von Erdölkohlen-Wasserstoffen an.

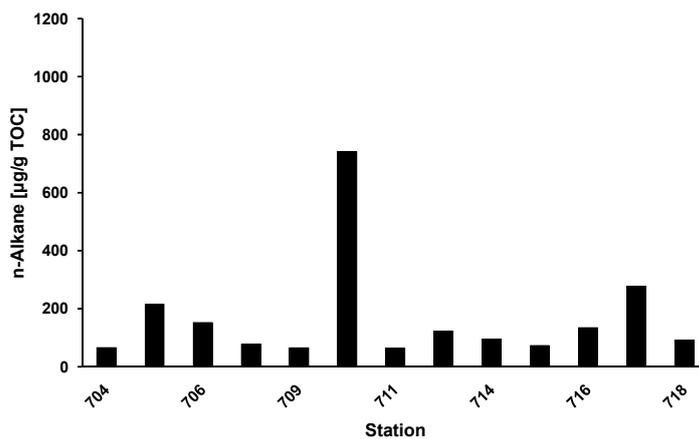


Abb. 9: n-Alkangehalte vom Juli 2010

### n-Fettsäuren

Fettsäuren kommen in allen Sedimenten um einem Mittelwert von 181,8 µg/g vor. Die dominierenden Verbindungen sind C<sub>14</sub>, C<sub>16</sub>, C<sub>18:2</sub>, C<sub>18:1</sub> und C<sub>18</sub>. (Abb. 10).

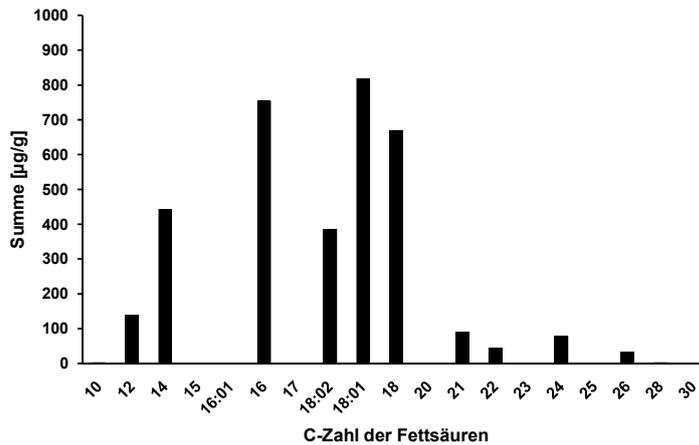


Abb. 10: n-Fettsäureverteilung

### Coprostanol

Ein anderer Biomarker aus natürlichen Quellen ist Coprostanol. Diese aus Cholesterol im Darm entstehende Verbindung kann als Indikator für den Eintrag menschlicher und tierischer Fäkalien in Gewässer genutzt werden (REEVES & PATTON, 2005). Zwar wurde Coprostanol nur in einem Viertel der untersuchten Sedimente gefunden, doch zeigen sich einzelne deutliche Belastungsschwerpunkte (Abb. 11).

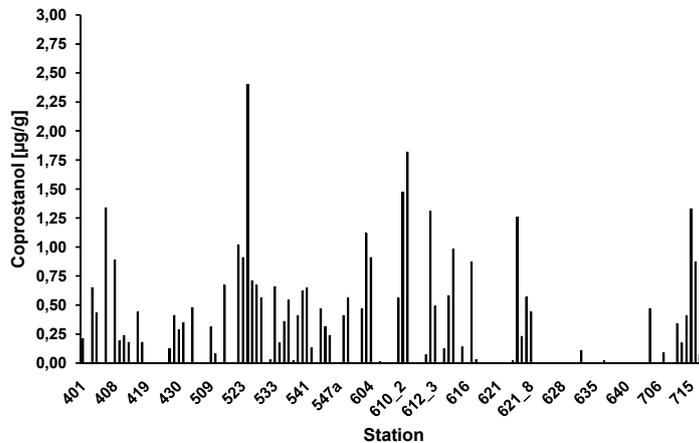


Abb. 11: Coprostanol-Verteilung in allen untersuchten Sedimenten

Abbildung 12 zeigt die Isotopen-Signatur einiger ausgewählter Sedimentproben und diverse Pflanzenspezies (s. dazu auch Abschlussbericht SPICE I). Hierbei wird deutlich wo der Ursprung des Pflanzenmaterials liegt, ob es sich nun um eine C<sub>3</sub>- oder C<sub>4</sub>-Pflanze gehandelt hat.

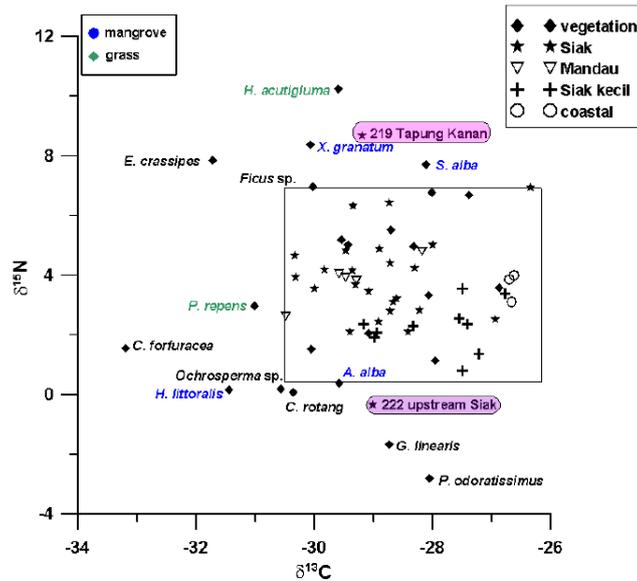


Abb. 12: Isotopen-Verteilung ausgewählter Sedimente

Der Ursprung ausgewählter Sedimente hinsichtlich ihrer C-Anzahl zeigt Abbildung 13.  $C_{29}$  und der terrestrische Eintrag dominieren hierbei.

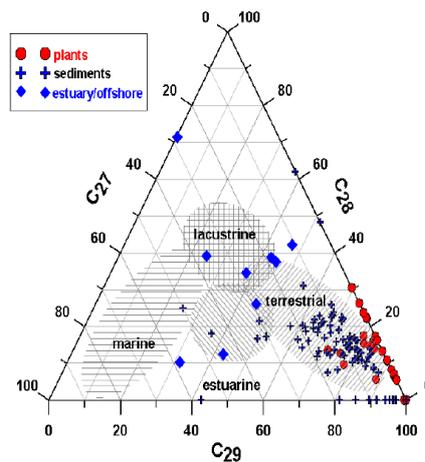


Abb. 13: Ursprung ausgewählter Sedimente

### Sedimente - Organische Schadstoffe

EOX (Summe extrahierbarer organischer Halogenverbindungen) wurde an 26 Sedimentproben aus dem Siak bestimmt (Abb. 14). Alle Proben hatten Gehalte  $<1 \mu\text{g/g}$  (außer Station 196) und zeigten damit keine signifikante Belastung mit halogenierten Verbindungen. Chlorierte organische Schadstoffe wie  $\alpha$ -HCH, HCB, DDE und DDD und finden sich in allen untersuchten Sedimenten in geringen Konzentrationen (Abb. 14-17). Da das Ausgangsprodukt DDT nicht gefunden wurde, kann davon ausgegangen werden, dass es sich hier um eine relativ alte Belastung handelt.

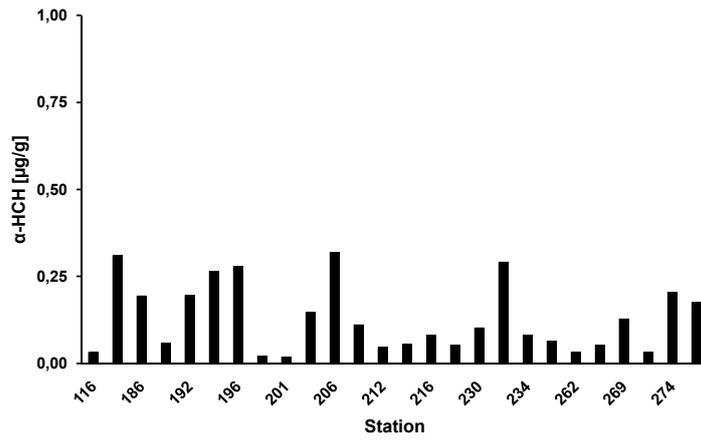


Abb. 15: Stationen mit α-HCH-Belastung

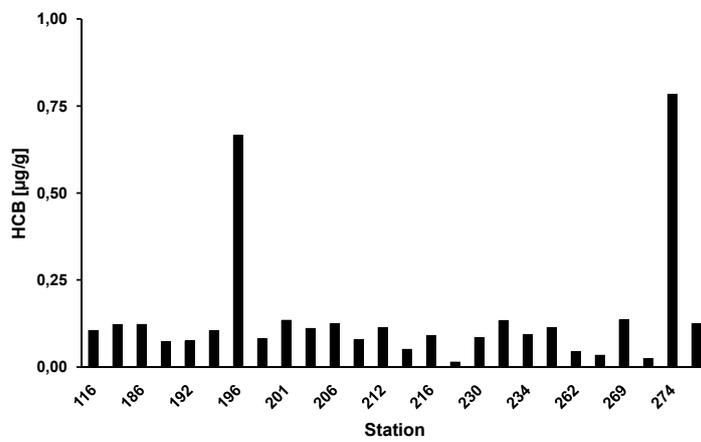


Abb. 16: Stationen mit HCB-Belastung

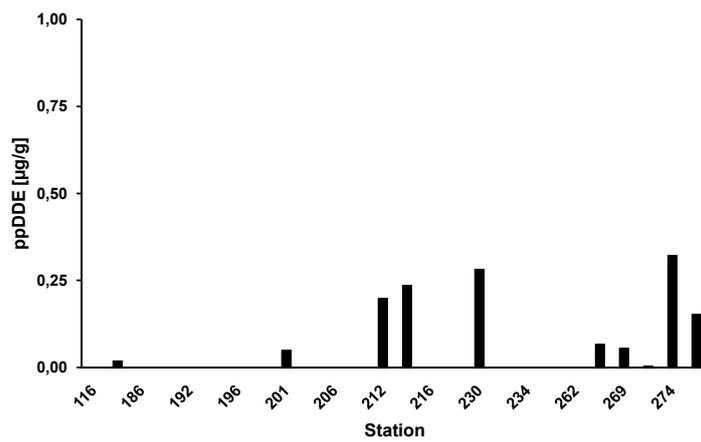


Abb. 17: Stationen mit ppDDE-Belastung

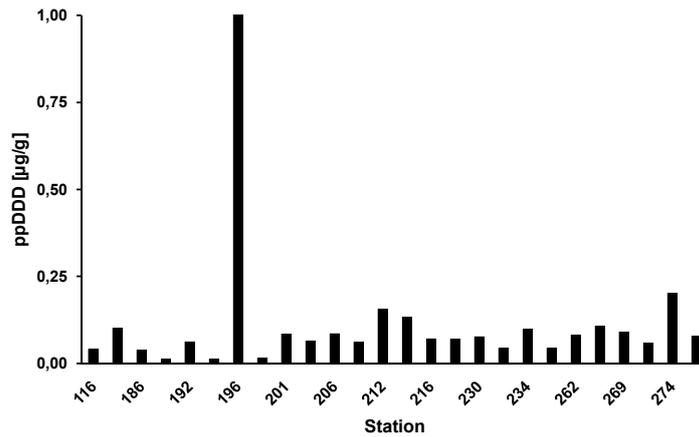


Abb. 18: Stationen mit ppDDD-Belastung

Allgemein sind die Gehalte an organischen Schadstoffen im Vergleich zu Fluss- und Ästuarsedimenten aus industriell höher entwickelten Regionen sehr gering. Auf die untersuchten Fluss-Systeme bezogen heißt das, dass eine Gefährdung der aquatischen Umwelt durch diese Stoffe gegenwärtig nicht zu erwarten ist. Da mögliche Quellen aber nicht direkt beprobt wurden, können lokale Effekte nicht ausgeschlossen werden.

### Quecksilber

In den Sedimentproben von März und November 2008 (Flüsse Rokan, Siak, Kampar, Indragiri und Musi) wurden Hg-Gehalte von 8,1 bis 384,4 ng/g und 6,4 bis 99,7 ng/g gemessen (Abb. 19-20). Im Oktober 2009 (Flüsse Rokan, Siak, Kampar, Indragiri, Batang Hari und Musi und deren unmittelbares Küstenvorfeld) wurden Hg-Gehalte von 19,1 bis 1195,8 ng/g ermittelt (Abb. 21). Im Juli 2010 wurden Hg-Gehalte von 16,3 bis 143,8 ng/g gemessen (Abb. 22).

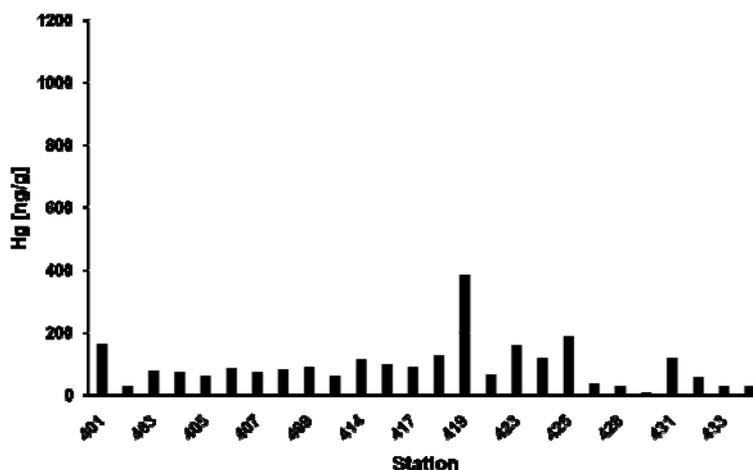


Abb. 19: Quecksilbergehalte im März 2008

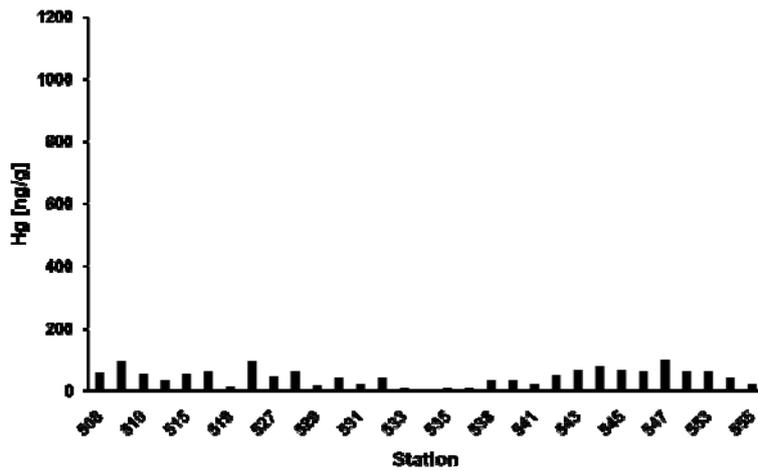


Abb. 20: Quecksilbergehalte im November 2008

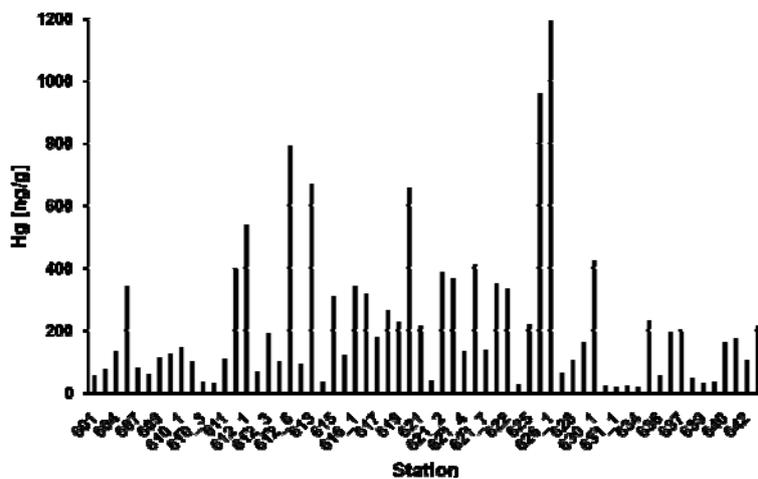


Abb. 21: Quecksilbergehalte im Oktober 2009

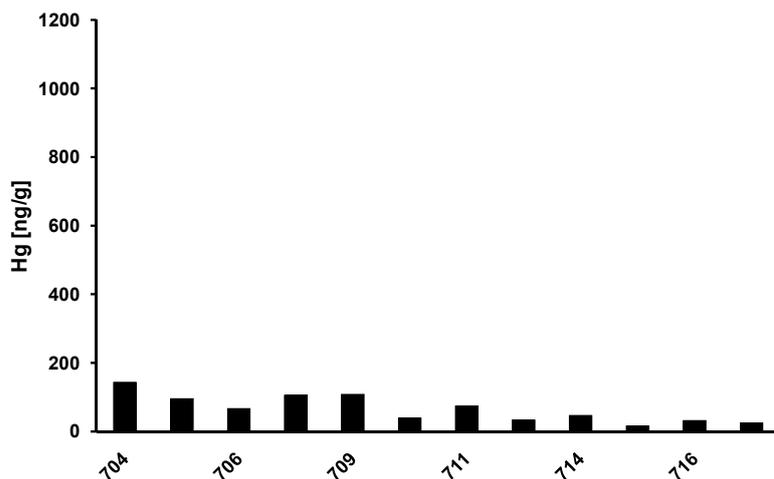


Abb. 22: Quecksilbergehalte im Juli 2010

In Abbildung 23 zeigt im Vergleich mit bisher bekannten Literatur-Daten die höchsten bekannten Konzentrationen an Quecksilber im Küstenvorfeld, was auf Transportprozesse zurückzuführen ist. Die ermittelten Hg-Werte in den Oberflächensedimenten sind wohl überwiegend auf die Erosion von Torfen zurückzuführen und nicht als mögliche Ursache industrieller Herkunft anzusehen (ZIEHE & LIEBEZEIT, in prep.).

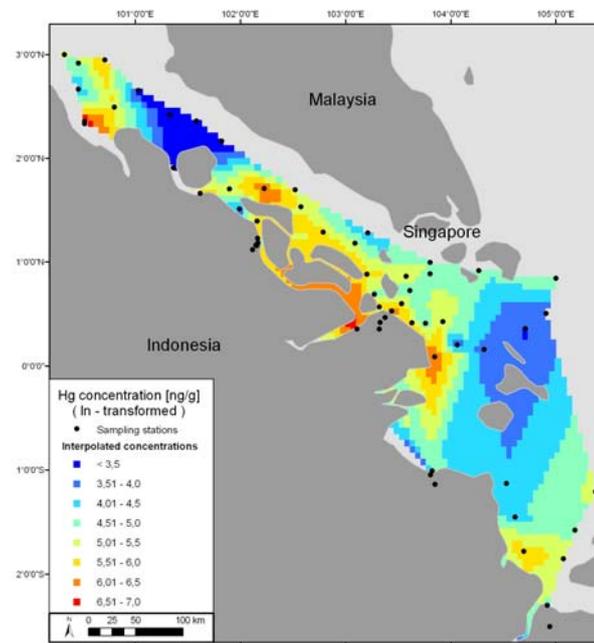


Abb. 23: Übersichtskarte der Quecksilbergehalte im Oktober 2009

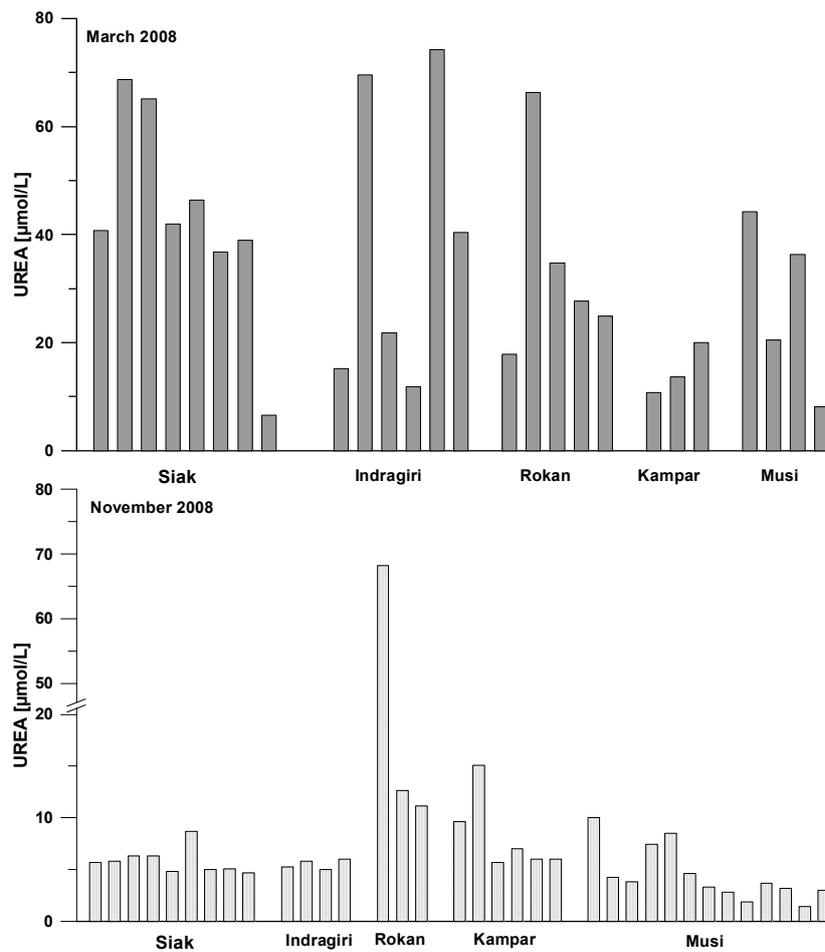


Abb. 24: Harnstoff-Konzentrationen im März und November 2008

## Harnstoff

In den Wasserproben vom Oktober 2009 wurden Harnstoffkonzentrationen von 6,6 bis 154,1  $\mu\text{mol/L}$  gemessen (Abb. 24). Im Vergleich mit bisher bekannten Literatur-Daten weisen diese Ergebnisse die höchsten bekannten Konzentrationen auf (GLIBERT et al., 2006; LIEBEZEIT et al., in Vorber.).

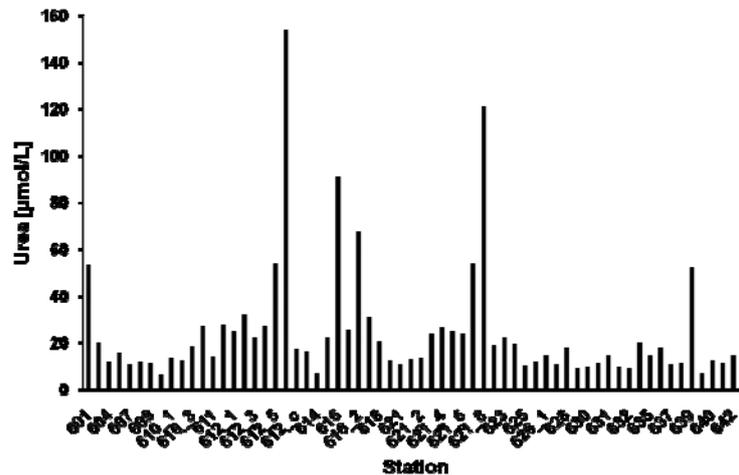


Abb. 25: Harnstoff-Konzentrationen im Oktober 2009

Die Oktober-Konzentrationen sind analog zu den im November 2008 ermittelten Werten (bis auf wenige Ausnahmen) ebenfalls wesentlich geringer als die Werte vom März 2008. Dies lässt sich mit Niederschlagsdaten aus Pekanbaru (SAMIAJI, 2009) in Beziehung setzen, die für März 2008 (Abb. 24) eine wesentliche höhere Niederschlagsmenge als für November aufzeigen. Dies lässt vermuten, dass Auswaschung von Düngemitteln die Hauptquelle für den in den Ästuaren gefundenen Harnstoff ist. Wegen der komplexen Prozesse, in die als Düngemittel verwendeter Harnstoff involviert ist, bedarf es allerdings detaillierterer Beprobungen, um diese Vermutung zu bestätigen (LIEBEZEIT et al., in prep.)

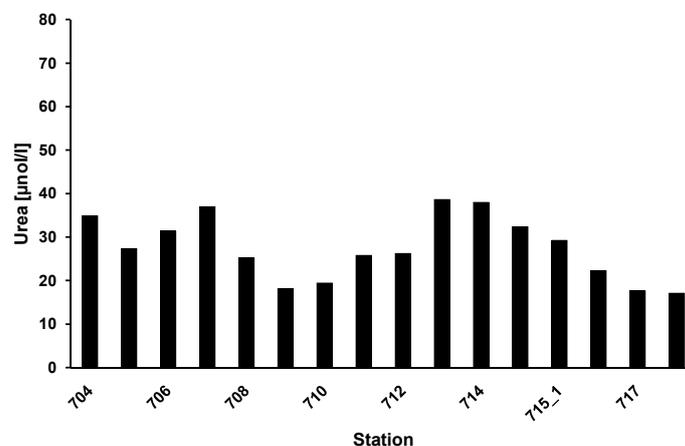


Abb. 26: Harnstoff-Konzentrationen im Juli 2010



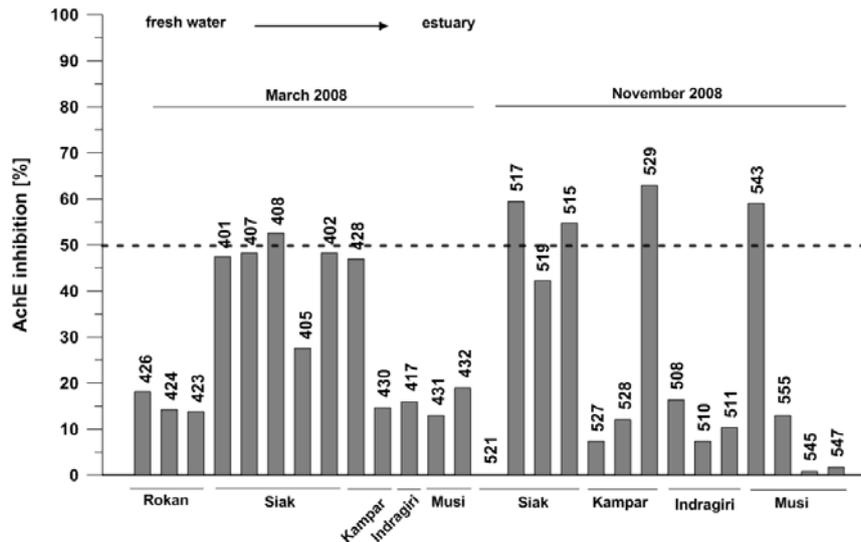


Abb. 29: Acetylcholinesterase-Hemmung (Anordnung der Stationen: vom Frischwasser hin zum Ästuar)

Wie u.a. von BARAHONA & SÁNCHEZ-FORTÚN (1999) beschrieben ist die *Artemia*-Sterblichkeit auf die Hemmung durch Acetylcholinesterase zurückzuführen. Im vorliegenden Beispiel ist dies jedoch nicht der Fall (Abb. 30). Bei den meisten der untersuchten Sedimente weist die Sterblichkeit von *Artemia* trotz Acetylcholinesterase-Hemmung Werte von bis zu 68 % auf.

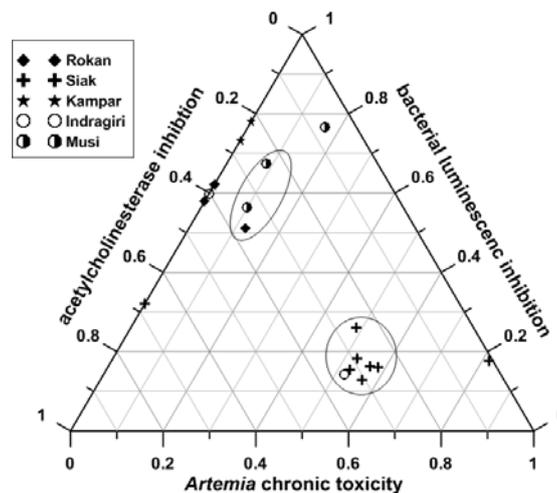


Abb. 30: Acetylcholinesterase-Hemmung (Anordnung der Stationen: vom Frischwasser hin zum Ästuar)

## Zitierte Literatur

- ABDULLAH, M.P. (1997): Hydrocarbon pollution in the sediment of some Malaysian coastal areas. - *Environmental Monitoring and Assessment*, **44** (1-3): 443-454.
- BARAHONA, M. V. & SÁNCHEZ-FORTÚN, S. (1999): Toxicity of carbamates to the brine shrimp *Artemia salina* and the effect of atropine, BW284c51, iso-OMPA and 2-PAM on carbaryl toxicity. - *Environmental Pollution*, **104** (3): 469-476.
- BRAY, E. E. & EVANS, E. D. (1961): Distribution of *n*-paraffins as a clue to recognition of source

- beds. - *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **22** (1): 2-15.
- FARRINGTON, J. W. & TRIPP, B. W. (1977): Hydrocarbons in western North Atlantic surface sediments. - *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **41** (11): 1627-1641.
- GLIBERT, P. M., HARRISON, J., HEIL, C. & SEITZINGER, S. (2006): Escalating worldwide use of urea - a global change contributing to coastal eutrophication. - *Biogeochemistry*, **77** (3): 441-463.
- REEVES, A. D. & PATTON, D. (2005): Faecal sterols as indicators of sewage contamination in estuarine sediments of the Tay Estuary, Scotland: an extended baseline survey. - *Hydrology and Earth System Sciences*, **9** (1-2): 81-94.
- SAMIAJI, Y. (2009): Niederschlagsdaten Pekanbaru. - *personal communication*.
- TOĞULGA, M. (1998): "The short-term toxicity of two toxicants to *Artemia Nauplii*." - *Turkish Journal of Zoology*, **22** (3): 259-266.

## **II.2. Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse**

In den untersuchten Fluß-Systemen (Rokan, Siak, Kampar, Indragiri, Batang Hari und Musi) kann keine flächendeckende Belastung mit organischen Schadstoffen festgestellt werden. Lokale Effekte, die mit dem aktuellen Probenraster nicht erfasst werden können, sind allerdings nicht auszuschließen.

Coprostanol als Indikator für Einleitung ungeklärter Abwässer wurde an mehreren Stationen gefunden.

Einträge von Erdölprodukten lassen sich in den Mittel- und Unterläufen der untersuchten Fluß-Systeme sowie im Küstenvorfeld nachweisen.

Der überwiegende Teil der suspendierten Tonfraktion und damit assoziiertes organisches Material wird nicht in den untersuchten Fluß-Systemen abgelagert, sondern offensichtlich aus dem System exportiert. Für eine Bestätigung dieser Hypothese sind allerdings weitere Untersuchungen der Suspensionsfracht notwendig.

Zunehmende Bevölkerungszahlen und wachsende Industrie werden mittel- bis langfristig dazu führen, dass die Belastungssituation der untersuchten Fluß-Systeme sich so entwickeln wird, dass die Kapazität zur Selbstreinigung überschritten wird, wenn nicht Maßnahmen zur Reduzierung der Einleitungen von ungeklärten häuslichen und industriellen Abwässern ergriffen werden.

## **II.3. Fortschritte bei anderen Stellen**

Soweit uns und den indonesischen Projektpartnern bekannt ist, wurden während der gesamten Laufzeit des Projektes keine weiteren organisch-geochemischen Untersuchungen in den Flüssen Rokan, Siak, Kampar, Indragiri, Batang Hari und Musi und in deren unmittelbarem Küstenvorfeld durchgeführt. Daher waren keine Fortschritte von dritter Stelle zu erwarten.

## II.4. Veröffentlichungen

- WÖSTMANN, R. & LIEBEZEIT, G. (2008): Chemical composition of the mangrove holly *Acanthus ilicifolius* (Acanthaceae) - review and additional data. - *Marine Biodiversity*, **38** (1): 31-37.
- LIEBEZEIT, G. & WÖSTMANN, R. (2009): *n*-Alkanes as Indicators of Natural and Anthropogenic Organic Matter Sources in the Siak River and its Estuary, E Sumatra, Indonesia. - *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, **83** (3): 403-409.
- LIEBEZEIT, G., WÖSTMANN, R. & JOSE, C. (2009): Biomarkers from Latex Drying Plants in Siak River Sediments. - *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, **6** (2): 1-5.
- LIEBEZEIT, G., WÖSTMANN, R. (2010): - Coprostanol in Siak River Sediments, E Sumatra, Indonesia. - *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, **85** (6): 585-588.
- ZIEHE, D., LIEBEZEIT, G., PIJANOWSKA, U. & WÖSTMANN, R.: Anthropogenic impact on the Siak River system by urban and industrial discharges as indicated by specific organic compounds. - *Coastal Research Library*, in preparation.
- ZIEHE, D. & LIEBEZEIT, G.: Mercury in estuarine and coastal sediments of East Sumatra, Indonesia. - *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, submitted.
- PIVETTA, L. A., ZIEHE, D., PIELOK, N. & LIEBEZEIT, G.: Toxicity of East Sumatra River Sediments - Bacterial Luminescence, Brine Shrimp and Acetylcholinesterase Inhibition Tests. - *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, submitted.
- LIEBEZEIT, G., ZIEHE, D. & Samiaji, J.: Urea in E Sumatra rivers and estuaries. - **XXX**, in preparation.

### Vorträge

- LIEBEZEIT, G. & ZIEHE, D.: Cluster 4, Subproject 2: Riverine, industrial and urban discharges of natural and anthropogenic particulate organic material in eastern Sumatra, Indonesia. - SPICE Evaluation Meeting, 20th April 2010, Jakarta.

### Poster

- LIEBEZEIT, G. & ZIEHE, D.: Cluster 4, Subproject 2: Riverine, industrial and urban discharges of natural and anthropogenic particulate organic material in eastern Sumatra, Indonesia. - SPICE Evaluation Meeting, 20th April 2010, Jakarta.



# Wissenschaftlicher Endbericht 2011

Science for the Protection of Indonesian Coastal Marine Ecosystems (SPICE)

Cluster 4:

**Untersuchung des DOC-Exports aus den Torfwäldern Sumatras und dessen Auswirkung auf aquatische Ökosysteme**

Förderkennzeichen: 03F0473C- ZMT



**Dr. Tim Rixen  
Dr. Antje Baum**

Bremen, Juni 2011

## ENDBERICHT 2011

<b>Zuwendungsempfänger:</b>  Leibniz-Zentrum für Marine Tropenökologie (ZMT) GmbH	<b>Förderkennzeichen:</b>  03F0473C- ZMT
<b>Vorhabenbezeichnung:</b>  SPICE CLUSTER 4 – ZMT Riverine, estuarine and near-coastal transport and transformation of organic matter and nutrients: impacts on water quality and coastal ecosystems	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2007 – 31.08.2010	
<b>Projektleiter:</b> Dr. Tim Rixen <b>Berichterstatter:</b> Dr. Tim Rixen, Dr. Antje Baum	

## **I Kurzdarstellung**

### **I.1 Aufgabenstellung**

Ziel des durchgeführten Projektes war es, DOC Einträge der die Ostküste Sumatras entwässernden Flüsse zu quantifizieren, kontrollierende Faktoren und Prozesse zu identifizieren sowie Auswirkungen des eingetragenen DOCs auf den angrenzenden Küstenozean zu untersuchen.

### **I.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde**

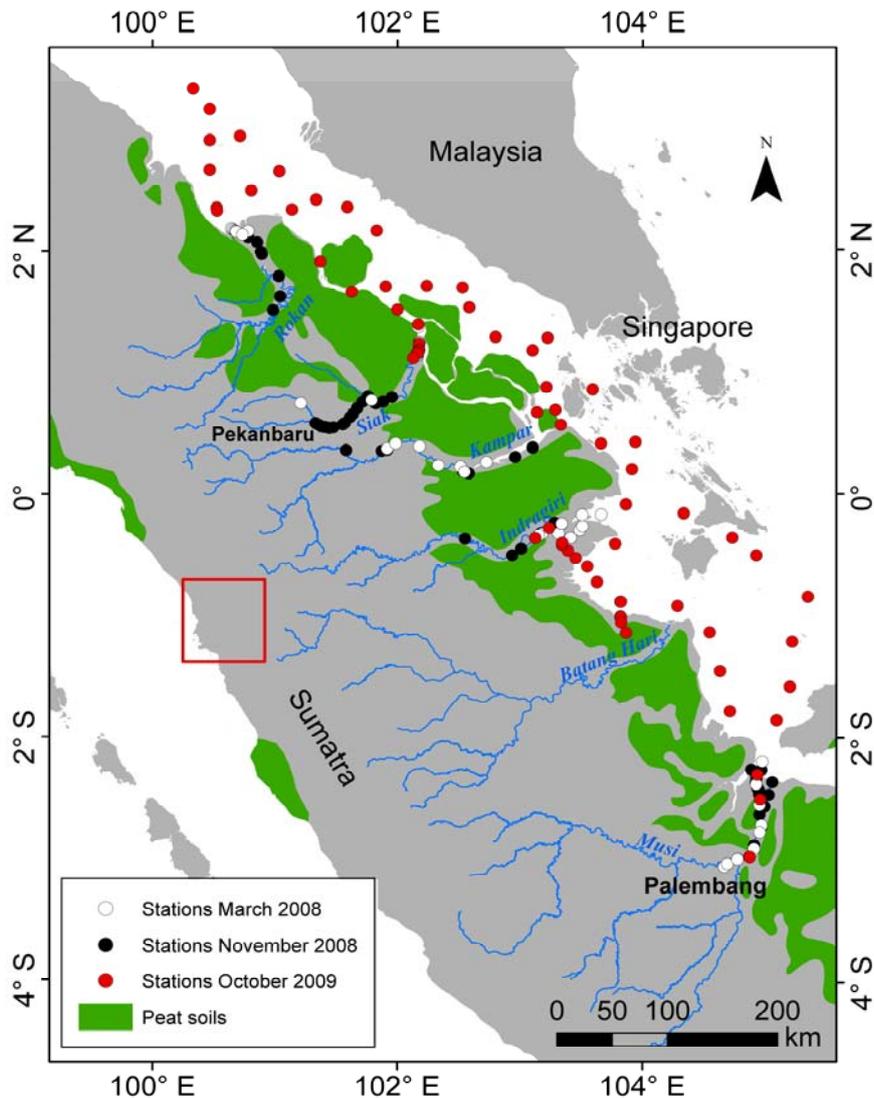
Das Projekt konnte in Zusammenarbeit mit den beteiligten Clusterpartnern wie geplant und ohne größere Probleme durchgeführt werden.

### **I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens**

Zwischen 2007 und 2010 fanden insgesamt vier Expeditionen, drei davon an die Ostküste und eine an die Westküste Sumatras statt (Abbildung 1). Während der ersten beiden Expeditionen wurden die sechs größten Flüsse Sumatras (Rokan, Siak, Kampar, Indragiri, Batang Hari und Musi) und deren Ästuare, soweit mit kleinen Speedbooten möglich, beprobt. Auf einer dritten Ausfahrt wurde die Ostküste Sumatras sowie einige Flussästuare von Palembang bis südlich von Medan mit einem zum Forschungsschiff umgerüsteten Taucherschiff beprobt. Die vierte Ausfahrt führte uns an die Westküste Sumatras, wo die drei im Hochland entspringenden Flüsse Arau, Kuranji und Anai untersucht wurden (Abbildung 1).

Im Rahmen des Vorhabens konnte Frau Baum ihre in SPICE I (März 2004) begonnene Promotion im August 2008 abschließen. Weiterhin wurde mit den im März 2008 gewonnenen Daten eine Bachelor-Arbeit zur Phytoplankton Zusammensetzung in Schwarzwasserflüssen von Herrn Schöning angefertigt. Untersuchungen zur Komposition und Abundanz von Diatomeen in Schwarzwasserflüssen Sumatras wurden im Rahmen einer Semesterarbeit von zwei Studentinnen der Universität Bremen (Janine Jachtner und Kim George) im November 2008 durchgeführt.

Die Ergebnisse über die Folgen von gelöstem organischem Kohlenstoff und Schmutzwassereinleitungen auf die Sauerstoff-Konzentration im Siak wurden 2008 und 2010 veröffentlicht (siehe Literaturliste unter 1.4). Ein Beitrag über gelöste Nährstoffe befindet sich gerade unter Begutachtung. Weiterhin ist geplant, am Ende dieses Jahres ein Buch mit dem Titel „The Siak, a tropical blackwater river in Central Sumatra, Indonesia“ in der Coastal Research Library des Springer Verlages zu veröffentlichen. Editoren des Buches sind Joko Samiaji und Tim Rixen. Das Buch behandelt die Auswirkungen indonesischer Torfmoor-Degradierung auf Flüsse und Küstenozean und fast alle im Rahmen von SPICE I und II gewonnenen Daten zusammen.



**Abbildung 1: Stationskarte der durchgeführten Expeditionen im März (weiß) und November 2008 (schwarz) und Oktober 2009 (rot). Der rot umrandete Kasten zeigt das Beprobungsgebiet im Juli 2010. Torfgebiete sind grün markiert.**

#### **I.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde**

Das Projekt knüpfte an den wissenschaftlichen Stand von SPICE I an. Die im Rahmen von SPICE I entstandenen Publikationen waren die ersten Veröffentlichungen über den Siak in internationalen Fachzeitschriften.

#### **Die im weiteren Verlauf des Berichts verwendete Literatur:**

- Baum, A., Rixen, T. and Samiaji, J., 2007. Relevance of peat draining rivers in central Sumatra for riverine input of dissolved organic carbon into the ocean. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 73: 563-570.
- Cauwet, G., 2002. DOM in the Coastal Zone. In: D.A. Hansell and C.A. Carlson (Editors), *Biogeochemistry of Marine Dissolved Organic Matter*. Academic Press, San Diego, pp. 579-609.

- Fabricius, K.E. et al., 2011. Losers and winners in coral reefs acclimatized to elevated carbon dioxide concentrations. *Nature Clim. Change*, 1(3): 165-169.
- George, K. and Jachtner, J., 2010. Impacts of tropical peat swamp deforestation on aquatic ecosystems in central Sumatra, Indonesia: Changes in species composition and abundance of diatoms, University of Bremen, Bremen.
- Harrison, J., Caraco, N.F. and Seitzinger, S.P., 2005. Global pattern and sources of dissolved organic matter export to the coastal zone: Results from a spatially explicit, global model. *Global Biogeochemical Cycles*, 19(GBS04).
- Ludwig, W., Probst, J.-L. and Kempe, S., 1996. Predicting the oceanic input of organic carbon by continental erosion. *Global Biogeochemical Cycles*, 10(1): 23-41.
- Rixen, T. et al., 2008. The Siak, a tropical blackwater river in Central Sumatra on the verge to anoxia. *Biogeochemistry*, 90: 129-140.
- Rixen, T. et al., 2010. Dissolved oxygen and its response to eutrophication in a tropical black water river. *Journal of Environmental Management*, 91: 1730-1737.
- Schoenig, E., 2008. Impact of Blackwater Rivers on Phytoplankton Biomass and Composition, University of Bremen, Bremen, 45 pp.

## **I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Das Projekt wurde zusammen mit den Cluster-Partnern und der Unterstützung lokaler Behörden durchgeführt.

## II Detaillierte Darstellung

### II.1 Erzielte Ergebnisse

Die Ergebnisse der vier Ausfahrten haben gezeigt, dass sich die an der Ostküste gelegenen, torfentwässernden Flüsse (Rokan, Siak, Kampar und Indragiri) deutlich von den nicht-torfentwässernden Flüssen Batang Hari, Musi und denen der Westküste unterscheiden. So kann der Siak mit hohen DOC-Konzentrationen, niedrigen pH-Werten und geringen Gehalten an gelösten Nährstoffen und suspendiertem Material (TSM) als typischer Schwarzwasserfluss klassifiziert werden (Tabelle 1) (Baum et al., 2007). Der Abbau des organischen Materials sorgt in weiten Teilen des Siak für sauerstoffarme (hypoxische) Bedingungen. Zusätzliche Einleitungen von häuslichen oder industriellen Abwässern können in stark anthropogen genutzten Abschnitten des Siak zu Anoxia führen (Rixen et al., 2008; Rixen et al., 2010). Die Flüsse Rokan, Kampar und Indragiri weisen zwar ebenfalls die für Schwarzwasserflüsse typischen, erhöhten DOC- und niedrigen TSM-Konzentrationen auf, verlieren jedoch ihre Schwarzwassercharakteristika im Ästuar durch einen starken Anstieg des TSM-Gehaltes (Tabelle 1). Die Flüsse Batang Hari, Musi, Arau, Kuranji und Anai sind kaum bis garnicht von Torfflächen beeinflusst (siehe Stationskarte, Tabelle 1), was die vergleichbar geringen DOC- und erhöhten Sauerstoff-Konzentrationen erklärt.

Um die DOC Einträge der die Ostküste Sumatras entwässernden Flüsse zu quantifizieren, wurden Abflussmengen und DOC end-member Konzentrationen ermittelt und multipliziert (Tabelle 1). Wie Abbildung 2 zeigt, nehmen die DOC-Exportraten pro Fläche mit steigender Torfbedeckung der jeweiligen Flusseinzugsgebiete zu. DOC-Exporte der Flüsse Kampar und Rokan sind etwas geringer als man aufgrund der Torfbedeckung im Einzugsgebiet erwarten würde.

**Tabelle 1: Einzugsgebiet (A), Abfluß (Q), Torfbedeckung im Einzugsgebiet, pH, Sauerstoff (O<sub>2</sub>), gelöster anorganischer Stickstoff (DIN), suspendiertes Material (TSM) und gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) der untersuchten Flüsse an der Ost- und Westküste Sumatras sowie TSM-Gehalte in den Flussästuaren, DOC end-member Konzentrationen (DOC<sub>em</sub>) und DOC-Exporte (Export<sub>DOC</sub>) der die Torfflächen entwässernden Flüsse.**

				Fluss					Ästuar		
	A [km <sup>2</sup> ]	Q [m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]	Torf [%]	pH	O <sub>2</sub> [mg L <sup>-1</sup> ]	DIN [µM]	TSM [mg L <sup>-1</sup> ]	DOC [µM]	TSM [mg L <sup>-1</sup> ]	DOC <sub>em</sub> [µM]	Export <sub>DOC</sub> [Tg C yr <sup>-1</sup> ]
<b>Rokan</b>	19258	994	30	6,11	3,18	8,09	206	1339	500	969	0,4
<b>Siak</b>	10423	476	22	5,44	2,99	20,58	16	1366	96	2083	0,3
<b>Kampar</b>	26195	1312	22	5,63	4,72	6,52	19	1345	190	1105	0,6
<b>Indragiri</b>	17968	960	12	6,45	4,97	13,46	101	1822	111	987	0,5
<b>Batang Hari</b>	44890	3827	5	-	-	-	-	-	18	377	0,6
<b>Musi</b>	56931	4441	4	6,15	6,15	9,95	35	398	26	322	0,6
<b>Arau</b>	-	-	0	6,65	4,79	-	10	184	-	-	-
<b>Kuranji</b>	-	-	0	7,41	6,42	-	29	178	-	-	-
<b>Anai</b>	-	-	0	7,47	6,43	-	18	218	-	-	-

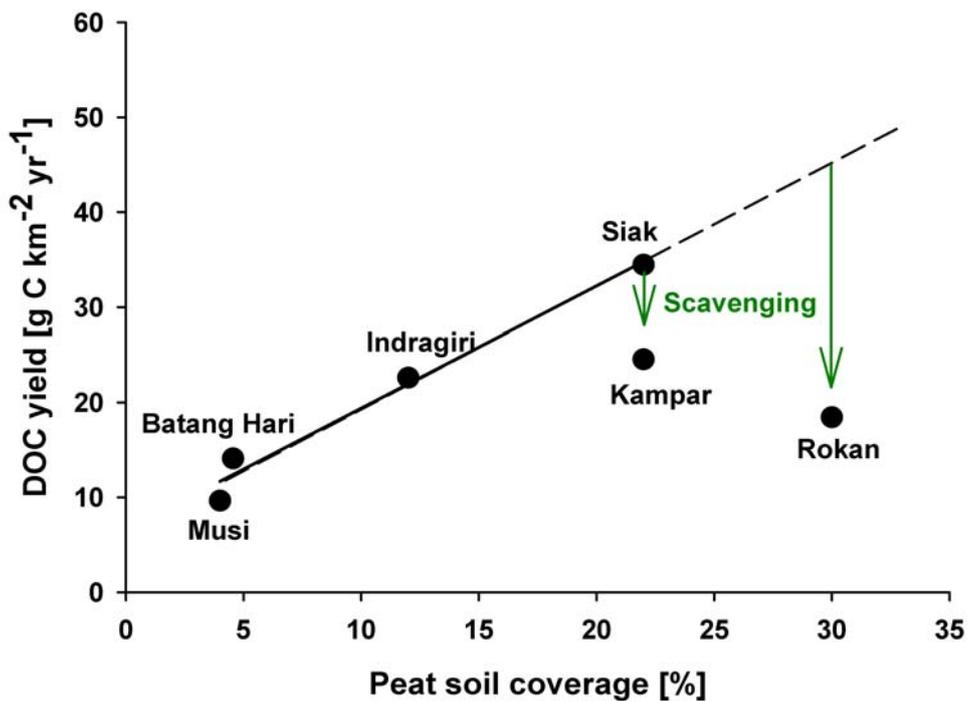
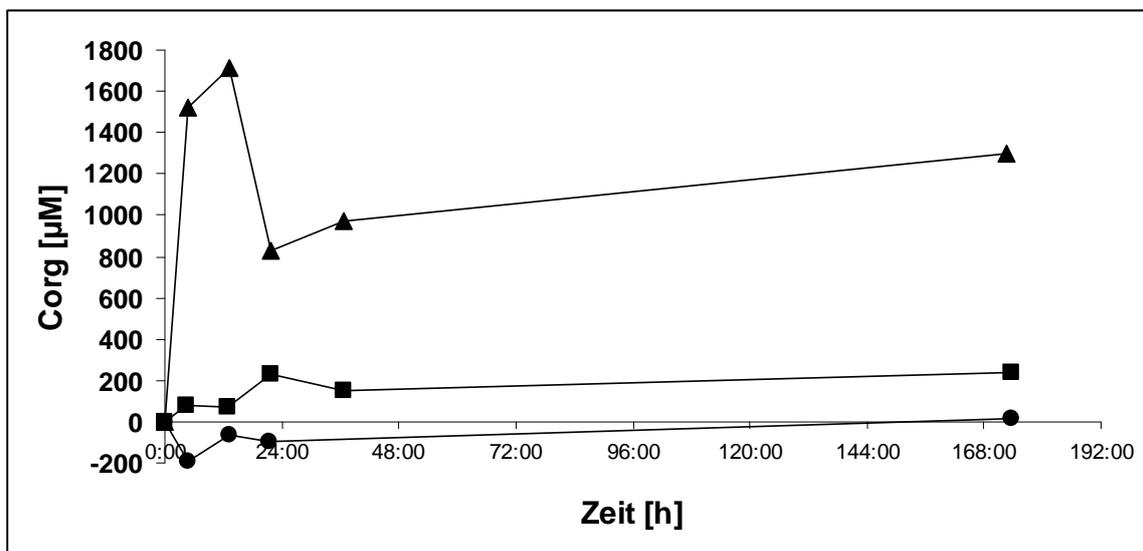
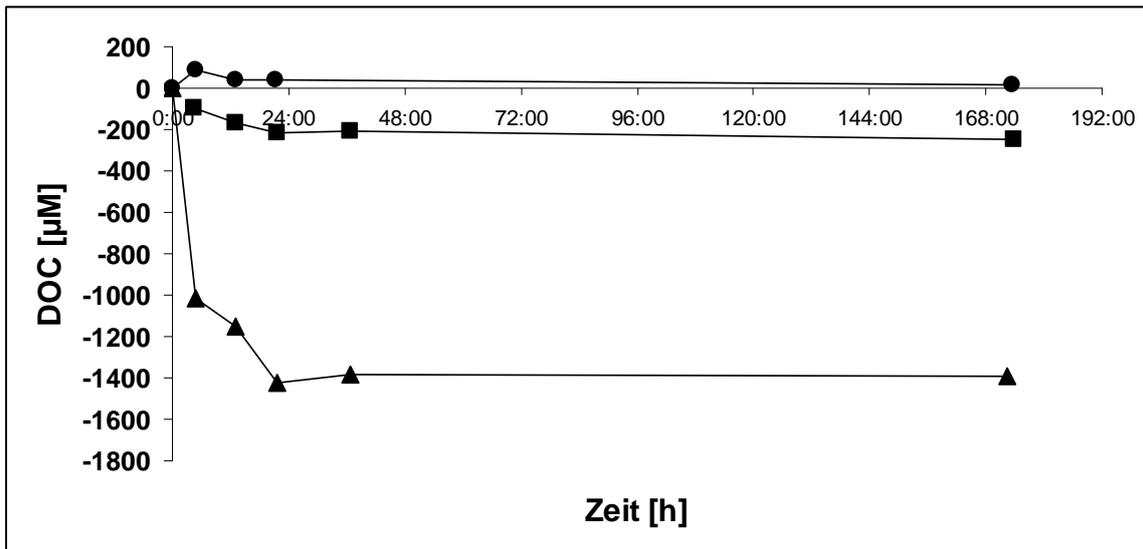


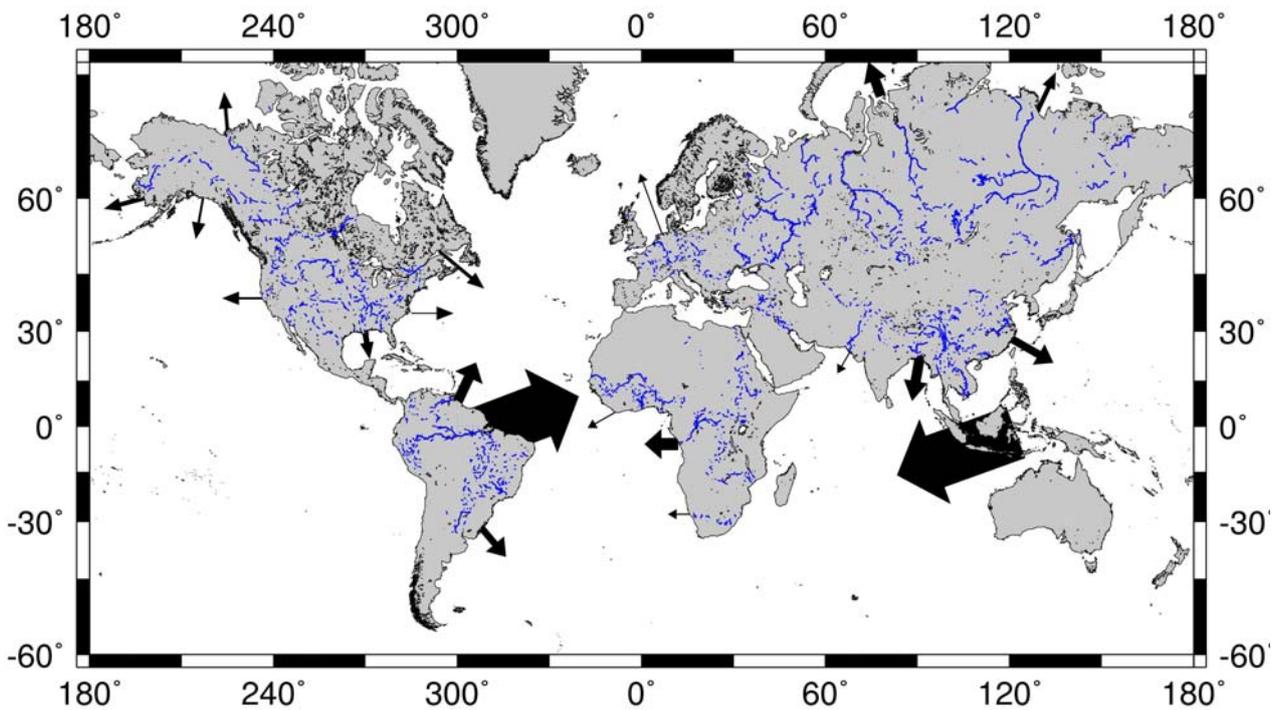
Abbildung 2: Torfbedeckung der jeweiligen Flusseinzugsgebiete gegen den DOC-Export.

Die Annahme, dass die Adsorption von DOC an suspendiertem Material im Flussästuar für einen geringeren DOC-Export als aufgrund der Torfbedeckung erwartet verantwortlich ist, konnte während der Ausfahrt im Juli 2010 mittels eines Scavenging-Experimentes belegt werden. Dabei wurde DOC-reiches Flusswasser des Rokan mit Quecksilberchlorid vergiftet (um einen biologischen Abbau des DOCs auszuschließen), mit Sediment angereichert und unter konstanten Licht- und Temperaturbedingungen geschüttelt. Nach einer Woche hatte die DOC-Konzentration je nach Menge zugegebenen Sediments zwischen 10-40% abgenommen und die Konzentration des partikulären organischen Kohlenstoffs (POC) im suspendierten Material (TSM) des Rokan ist um den entsprechenden Teil angestiegen (Abbildung 3), was auf eine Adsorption des DOC am TSM hindeutet.



**Abbildung 3: DOC-Konzentrationen (a) und Konzentrationen des organischen Kohlenstoffs am partikulären Material (Corg) (b) des durchgeführten Scavenging-Experimentes für reines Rokan-Flusswasser (Kreis), mit 10g Sediment angereichertes Flusswasser (Viereck) und mit 200g Sediment angereichertes Flusswasser (Dreieck) gegen die Zeit.**

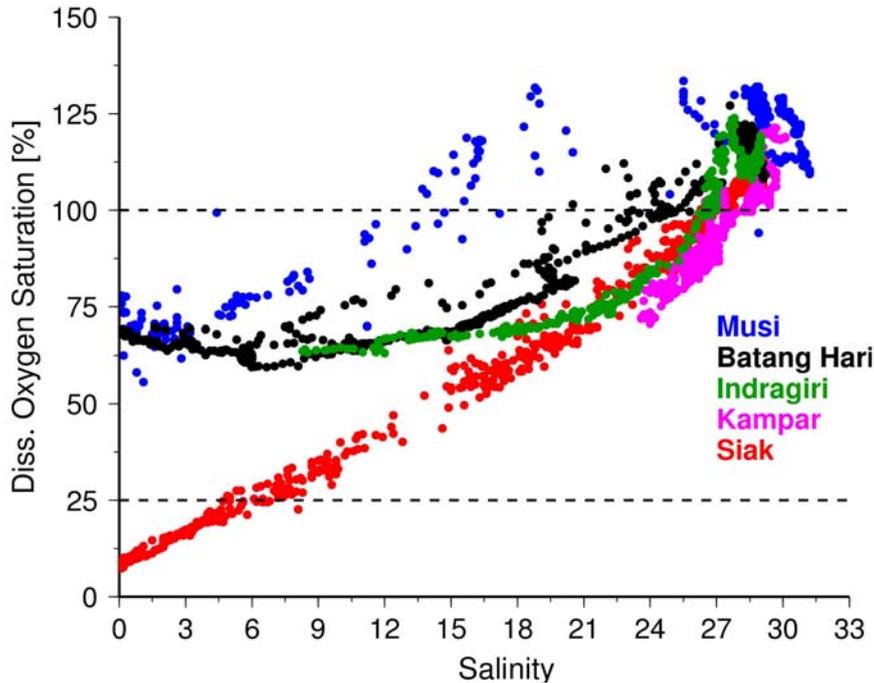
Basierend auf den erhobenen Daten konnte eine Menge von 40 Tg DOC, die jährlich aus den Torfflächen Indonesiens ausgewaschen wird, bestimmt werden, was etwa 20% der jährlich von Flüssen in den Ozean eingetragenen Menge an DOC entspricht und Indonesien als zweitgrößten Exporteur von terrestrischem DOC ausweist (Abbildung 4) (Cauwet, 2002; Harrison et al., 2005; Ludwig et al., 1996). Damit liegt der DOC-Export deutlich über unserer ersten Abschätzung (Baum et al., 2007), die sich auf einige wenige Daten, erhoben während zwei Ausfahrten zum Siak im März und September 2004, bezieht.



**Abbildung 4: Einträge von DOC aus Flüssen in den Ozean. Die Breite der Pfeile entspricht der Höhe des Eintrags. Datenquelle: Harrison et al. (2005) und dieser Bericht.**

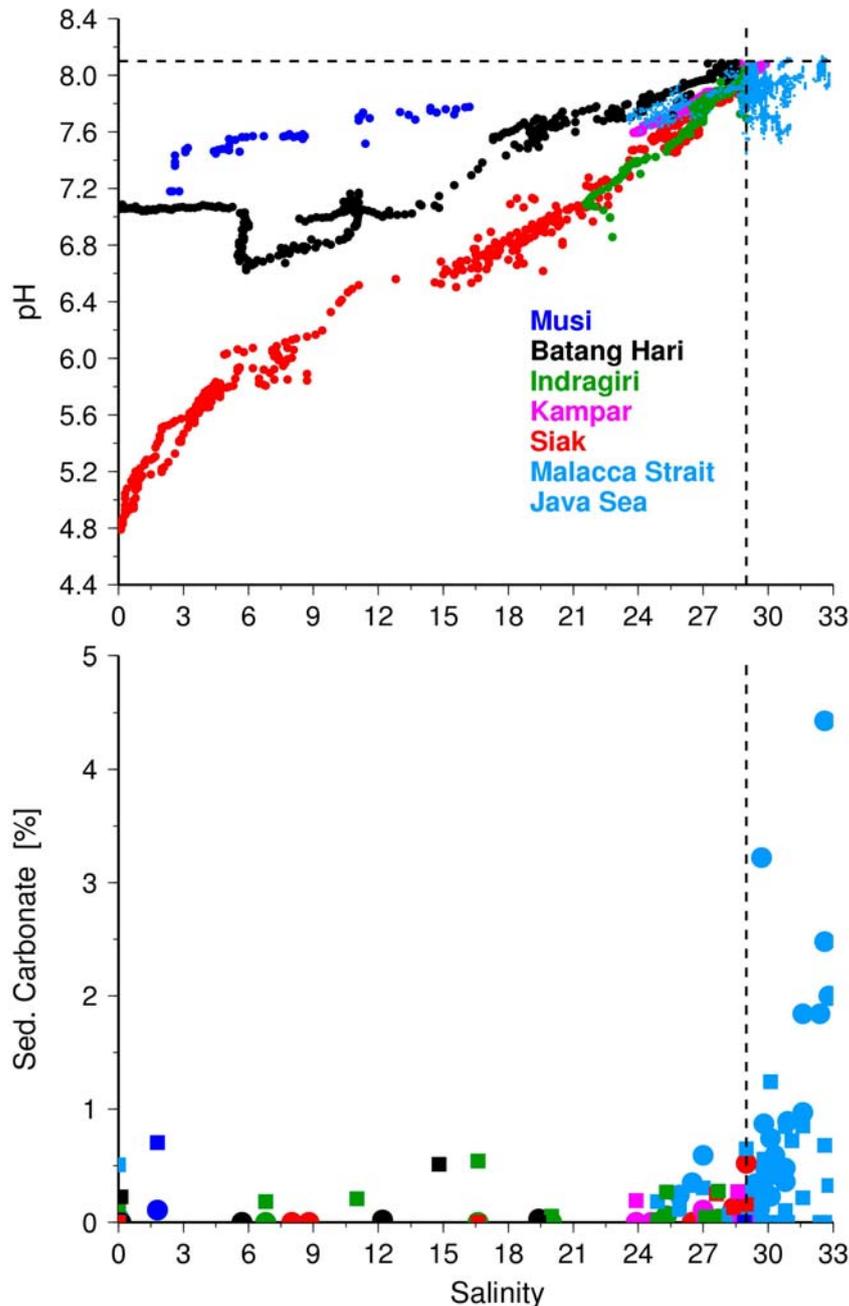
Die Beprobung der torfentwässernden Schwarzwasserflüsse hat gezeigt, dass der hohe Anteil an organischem Material und dessen Abbau die Sauerstoffkonzentrationen drastisch senkt. Weiterhin wird durch die hohe Fracht an Huminstoffen die Lichteindringtiefe bis auf wenige cm reduziert, was während der Ausfahrt im März 2008 nachgewiesen zu einer Einschränkung der Primärproduktion in den Schwarzwasserflüssen führt und die verarmte Phytoplankton Artengemeinschaft erklärt (Schoenig, 2008).

Um die Auswirkungen des huminstoff-reichen, sauerstoffarmen Flusswassers auf den Küstenozean bewerten zu können, wurden die Flussästuare sowie die Ostküste Sumatras während der Ausfahrten im November 2008 und Oktober 2009 intensiv beprobt. Die auf Luftbildern deutlich sichtbare Beeinflussung des Küstenozeans durch die Einträge der torfentwässernden Schwarzwasserflüsse war auch in den DOC- und Sauerstoffkonzentrationen feststellbar. Entlang der Ostküste Sumatras liegen die DOC-Konzentrationen zwischen 80 und 300  $\mu\text{M}$  (Mittelwert 150  $\mu\text{M}$ ), wobei die höchsten Werte in den Mündungsbereichen der Schwarzwasserflüsse gemessen wurden. Die Sauerstoffkonzentrationen variieren zwischen 4,9 und 10,3  $\text{mg L}^{-1}$  und sind in den Ästuaren am geringsten, nehmen jedoch mit zunehmenden Salzgehalt zu (Abbildung 5).



**Abbildung 5: Sauerstoffsättigungen in den Ästuaren der Flüsse Ostsumatras. Die Sauerstoffsättigungen wurden mit einem auf dem Tauchboot „Alikai“ installierten „underway system“ im Oktober 2008 gemessen.**

Außerhalb der Ästuar (Salinität >28) ist der Ozean sauerstoffübersättigt, was vermutlich auf eine erhöhte biologische Produktion zurückzuführen ist. Die Zusammensetzung und Abundanz des hauptsächlich als Diatomeen identifizierten Planktons scheint ebenfalls vom Salzgehalt ab zu hängen (George and Jachtner, 2010). So konnte bspw. im Indragiri ein deutlicher Anstieg des Planktonwachstums ab einer Salinität >4,5 festgestellt werden. Die pH-Werte zeigen ähnliche Trends wie die Sauerstoffsättigung, da sie wie diese vermutlich im wesentlichen vom Abbau des organischen Materials in den Flüssen und Ästuaren bestimmt wird. Interessant ist jedoch, dass die Produktion des karbonatschaligen Planktons und die Karbonatsedimentation erst beginnen, wenn der pH Wert unter 7.6 liegt (Abbildung 6). Ähnliche Grenzwerte für die Produktion von Karbonat wurden auch bei der Untersuchung von Korallen festgestellt (Fabricius et al., 2011).



**Abbildung 6: pH-Werte in den Ästuaren der Flüsse Ostsumatras sowie Karbonatgehalte im suspendierten Material (Quadrate) und im Sediment (Punkte). pH-Werte wurden mit einem auf dem Tauchboot „Alikai“ installierten „underway system“ im Oktober 2008 gemessen.**

## II.2 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

In den vergangenen Jahrzehnten hat die Degradierung indonesischer Torfsümpfe aufgrund einer stets ansteigenden Nachfrage nach Palmöl stark zugenommen. Um die Folgen der massiven Landnutzungsmaßnahmen für Flüsse und angrenzende Ökosysteme abschätzen zu können, sind Kohlenstoffbilanzen unverzichtbar. Im Rahmen dieses Projektes konnte erstmals die Menge an Kohlenstoff, die aus den degradierten Torfen Indonesiens ausgewaschen wird, quantifiziert werden. Dieses Ergebnis dürfte von großem Nutzen für das Küstenmanagement Indonesiens sein,

da der Verlust von Kohlenstoff und somit Torfböden zu starken Erosionen der dicht besiedelten Küsten führen kann.

Weiterhin konnte gezeigt werden, dass der Abbau des aus den gestörten Torfen ausgewaschenen DOCs zu extrem niedrigen Sauerstoff-Konzentrationen, teilweise sogar zur Sauerstoffarmut führen kann, was mit besonders schwerwiegenden Folgen für die Fischerei verbunden ist. Unsere Ergebnisse könnten für die Entwicklung von Maßnahmen zur Erhaltung einer nachhaltigen Fischerei in der Provinz Riau von Nutzen sein. Zudem scheint sich der pH von 7.6 als ein Grenzwert zu etablieren, unterhalb dessen keine nennenswerte Produktion von Karbonat im Küstenozean mehr stattfindet.

### **II.3 Während der Durchführung bekannt gewordene Fortschritte auf diesem Gebiet**

Uns sind keine Fortschritte bekannt.

### **II.4 Veröffentlichungen**

#### II.I.I veröffentlicht

Rixen, T., Baum, A., Pohlmann, T., Balzer, W., Samiaji, J., Jose, C., 2008. The Siak, a tropical blackwater river in Central Sumatra on the verge to anoxia. *Biogeochemistry*, 90: 129-140.

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. *Journal of Environmental Management*, 91: 1730-1737.

#### II.I.II. unter Begutachtung

Baum, A., Rixen, T., Schöning, E., Liebezeit, G., Woestmann, R., Jose, C. and Samiaji J.: Dissolved inorganic nutrients in the human affected blackwater river Siak, Central Sumatra, Indonesia. Eingereicht bei *Aquatic Science*.

Rixen, T., Baum, A.: The Siak, one of the main peat-draining rivers in central Sumatra, Indonesia. Buchbeitrag "The Siak, a blackwater river in Sumatra, Indonesia", Coastal Research Library, Springer

Baum, A., Rixen, T.: Peat soil leaching and the export of dissolved organic carbon into the coastal ocean. Buchbeitrag "The Siak, a blackwater river in Sumatra, Indonesia", Coastal Research Library, Springer

Rixen, T., Baum, A.: The Siak, one of the main peat-draining rivers in central Sumatra, Indonesia. Buchbeitrag "The Siak, a blackwater river in Sumatra, Indonesia", Coastal Research Library, Springer

#### II.I.III in Arbeit

Baum, A., Rixen, T.: Tropical blackwater biogeochemistry. Buchbeitrag "The Siak, a blackwater river in Sumatra, Indonesia", Coastal Research Library, Springer

#### II.I.IV Vorträge

Baum A., Rixen T. (2009). Contribution of Indonesian peat-draining rivers to the riverine export of dissolved organic carbon into the ocean, *ASLO Aquatic Sciences Meeting 2009, Nice*

Baum A., Rixen T., Jose C., Samiaji J. (2009). Dissolved Nutrients and Carbon Exports from

East Sumatran Peat-Draining Rivers, *World Ocean Conference 2009, Manado*

- Rixen, T., Baum, A., Pohlmann, T., Balzer, W., Samiaji, J. & Jose, C. (2008, November 18th): The role of oxygen for ecosystem functioning. *International Conference on Indonesian Inland Waters, Palembang*
- Rixen, T., Balzer, W., Liebezeit, G., Pohlmann, T., Siegel, H., Samiaji, J., Jose, C. & Husnah (2009, May 13th) Impact of land-sea fluxes from major rivers of East-Sumatra on coastal ecosystem health: pollutant loads, transport and fate. *World Ocean Conference 2009, Manado*
- Rixen, T., Baum, A., Pohlmann, T., Balzer, W., Samiaji, J. & Jose, C. (2009, May 13th): The role of oxygen for ecosystem functioning. *World Ocean Conference 2009, Manado*
- Rixen, T. (2010, August 9th) Global Change impacts on the Indonesian Sea Seminar at UNHAS.
- Rixen, T. (2010, June 27th) Die indonesische See im Zeichen des globalen Wandels. In Botschaft, D.I. (ed.) Sarasehan.
- Rixen, T. (2010, July 13th) German research in the Indian Ocean: The past and future perspectives SIBER; Scientific Steering Committee Meeting - July 12-15.

II.I.V Berichte

- George, K., Jachtner, J. (2010). Impacts of tropical peat swamp deforestation on aquatic ecosystems in Central Sumatra, Indonesia: Changes in species composition and abundance of diatoms. Semesterarbeit FB 2, Universität Bremen

### **III. Erfolgskontrollbericht**

#### **III.1 Beitrag zu den förderpolitischen Zielen**

Das durchgeführte Projekt war ein Beitrag zur bilateralen Zusammenarbeit zwischen der Bundesrepublik Deutschland und Indonesien im Bereich Meeresforschung.

#### **III.2 Wissenschaftlich-technische Ergebnisse**

Im Rahmen dieses Projektes wurde die Auswirkung von Torfdegradierung in Sumatra auf die Biogeochemie torfentwässernder Flüsse und den Küstenozean untersucht. Dabei konnte gezeigt werden, dass torfentwässernde Flüsse extrem hohe Konzentrationen an gelöstem organischem Kohlenstoff aufweisen, der aus den teilweise stark gestörten Torfböden in den Flusseinzugsgebieten ausgewaschen wird. Der Abbau des organischen Materials führt zu hypoxischen Verhältnissen, die durch die Einleitung häuslicher Abwässer noch verstärkt werden können. Die die Ostküste Sumatras entwässernden Flüsse transportieren jährlich etwa 3 Tg DOC in den Küstenozean. Der DOC-Export aus indonesischen Torfböden konnte insgesamt auf 40 Tg pro Jahr geschätzt werden und entspricht damit etwa 20% des jährlich über Flüsse in den Ozean eingetragenen Kohlenstoffs. Ein Teil des in Schwarzwasserflüssen transportierten DOCs scheint in sedimentreichen Flussästuaren an Partikeln adsorbiert zu werden und abzusedimentieren. Diesen Prozess gilt es in weiteren Projekten noch zu quantifizieren. Im Küstenozean, insbesondere in den Mündungsbereichen der Schwarzwasserflüsse, konnte der Einfluss der torfentwässernden Flüsse festgestellt werden. Aufgrund der reduzierten pH-Werte, die im wesentlichen durch den Abbau des organischen Materials bestimmt werden, ist die Produktion und Sedimentation von karbonatschaligem Plankton in den Ästuaren unterdrückt. Das Plankton wird von Diatomeen dominiert und der pH von 7,6 scheint sich als ein Grenzwert zu etablieren, unterhalb dessen keine nennenswerte Produktion von Karbonat im Küstenozean mehr stattfindet.

#### **III.3 Verwertungsplan**

Der Schwerpunkt der durchgeführten Untersuchungen lag nicht primär in einer direkten wirtschaftsrelevanten Anwendung der Ergebnisse. Es zeigt sich aber dennoch, dass die Indonesischen Torfsümpfe große Mengen an Kohlenstoff aufnehmen bzw. aufgenommen haben und auch den marinen Kohlenstoffkreislauf nennenswert beeinflussen. Es fehlen jedoch Kohlenstoffbilanzen anhand derer menschliche Einflüssen auf den Kohlenstoffkreislauf im Küstenozean quantifiziert werden können. Solche Bilanzen sind jedoch die Voraussetzung um geeignete Strategien zum Schutz tropischer Küstenökosysteme unter Berücksichtigung von Maßnahmen zur Reduktion der CO<sub>2</sub> Emissionen zu entwickeln. Genau hier setzt der Verbundantrag CISKA (Carbon sequestration in the Indonesian Sea and its global significance: Generation of scientific knowledge for formulating strategies for adaptation to climate change) an, den wir als Vorschlag für SPICE III eingereicht haben.

### **III.4 Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben**

Keine

### **III.5 Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer**

Basierend auf den gewonnenen Ergebnissen wurden Empfehlungen formuliert, die zur Entwicklung eines tragfähigen Küstenmanagementplans in der Provinz Riau beitragen können. Diese Empfehlungen wurden auf der World Ocean Conference in Manado 2009 präsentiert und sind zudem Thema eines Kapitels in unserem Buch „The Siak, a tropical blackwater river in Central Sumatra, Indonesia“ das in der Coastal Research Library des Springer Verlages veröffentlicht wird.

### **III.6 Einhaltung des Finanzierungs- und Zeitplans**

Der Finanzierungs- und Zeitplan wurde bei der Durchführung des Projekts weitgehend eingehalten.

# **Abschlussbericht**

**BMBF-SPICE II Projekt**

**FK: 03F0473D**

**BMBF-Verbundprojekt SPICE II, Cluster 4: Beeinflussung der Küstenökosysteme  
Ost-Sumatras durch Flussfrachten**

**Teilprojekt 4**

## **Simulation der Hydrodynamik und der Schadstoffausbreitung in den Gewässern von Ostsumatra**

**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 FANTOM 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 den 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 ausgewählte Flüsse und Ästuar 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 realistische 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 Grundausrüstung 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  $\gamma$ -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 (Wyrki, 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 durchgeführt (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 Grundausrüstung 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 Salzgehaltsprofile 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.

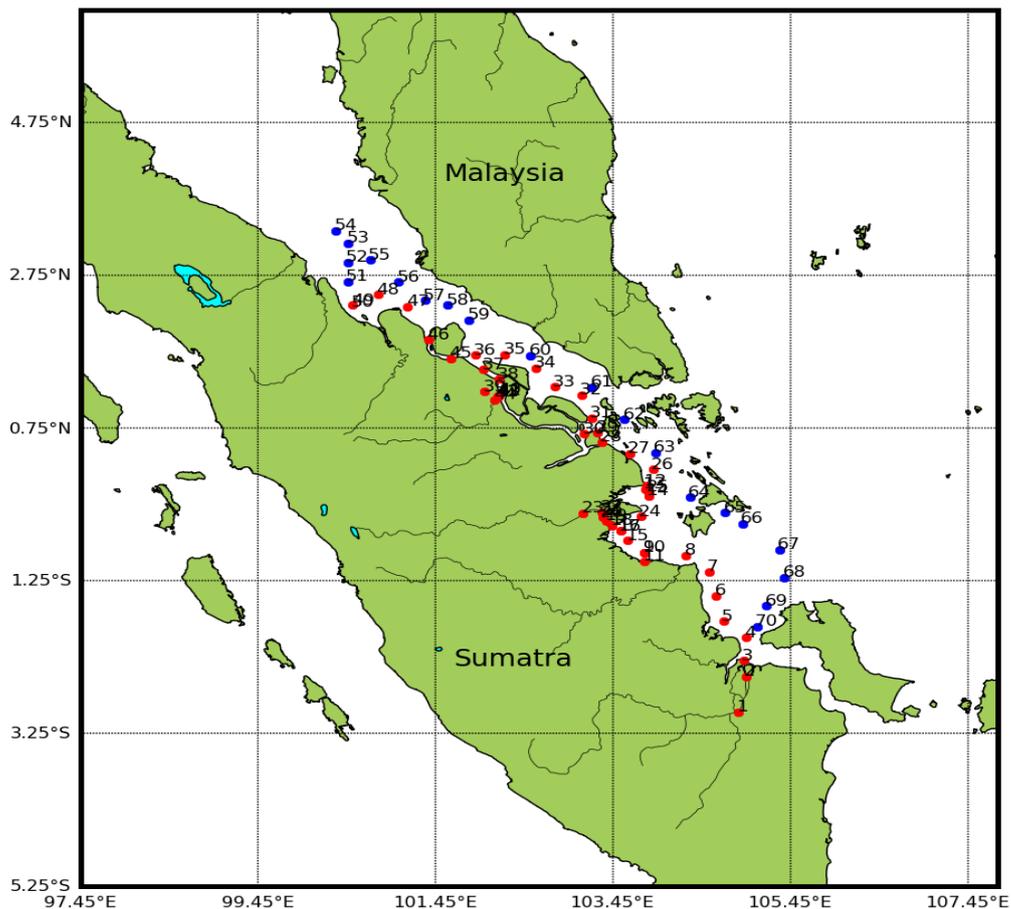


Abbildung 1: Stationen der Messkampagne 3.-16. Oktober 2009 mit der „Aliikai“. Rote Punkte stellen die küstennahen, blaue Punkte die küstenfernen Stationen dar.

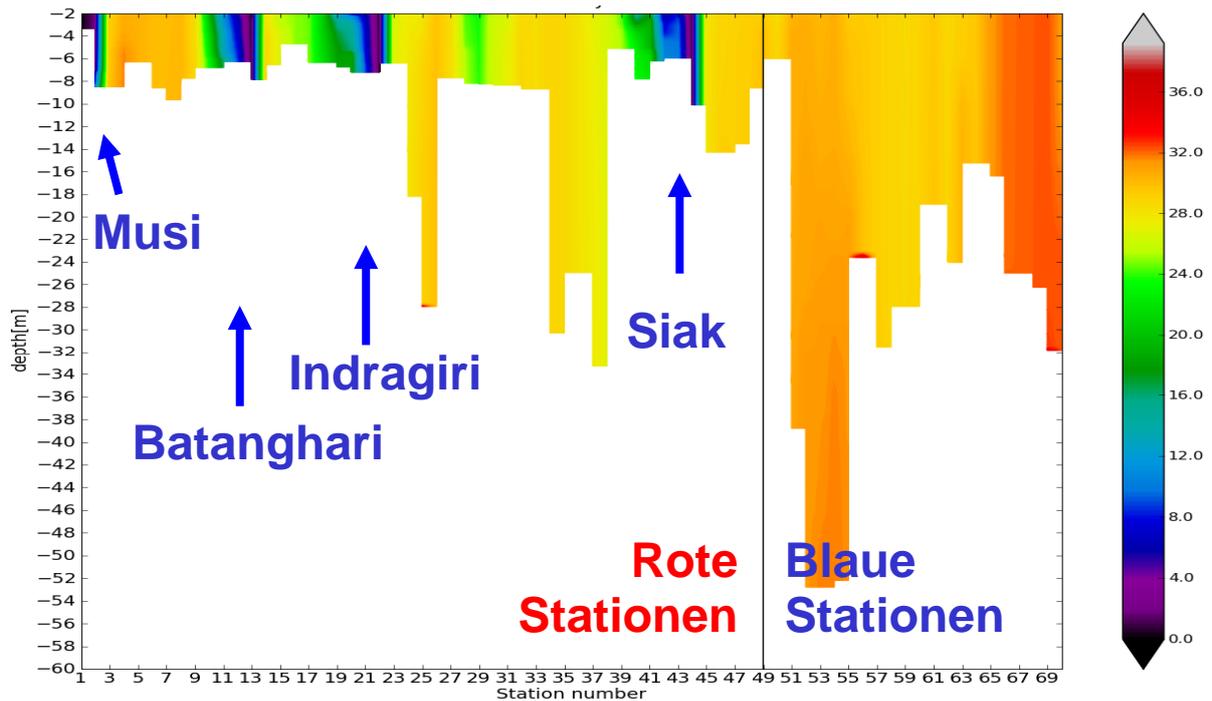


Abbildung 2: Darstellung aller CTD-Profil (Salinität in PSU) entlang der Route, wie sie in Abb. 1 dargestellt ist.

## 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.

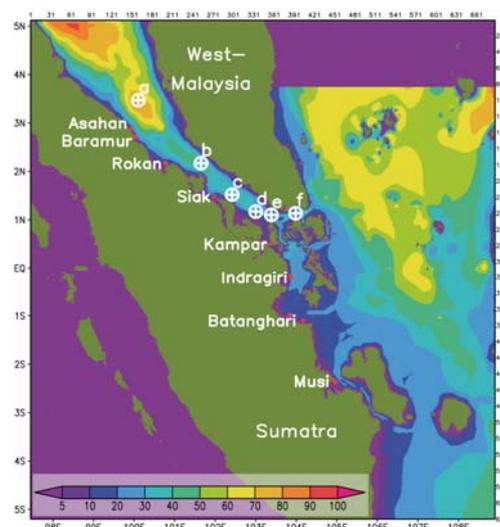


Abbildung 3: Modellgebiet für das regionale Modell HAMSOM. Tiefen sind in Metern. Die roten Punkte zeigen die Inputpunkte für die berücksichtigten Flüsse an, die weißen Marker stellen die Orte für die in Abb. 8 dargestellten Hovmöller-Diagramme.

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.

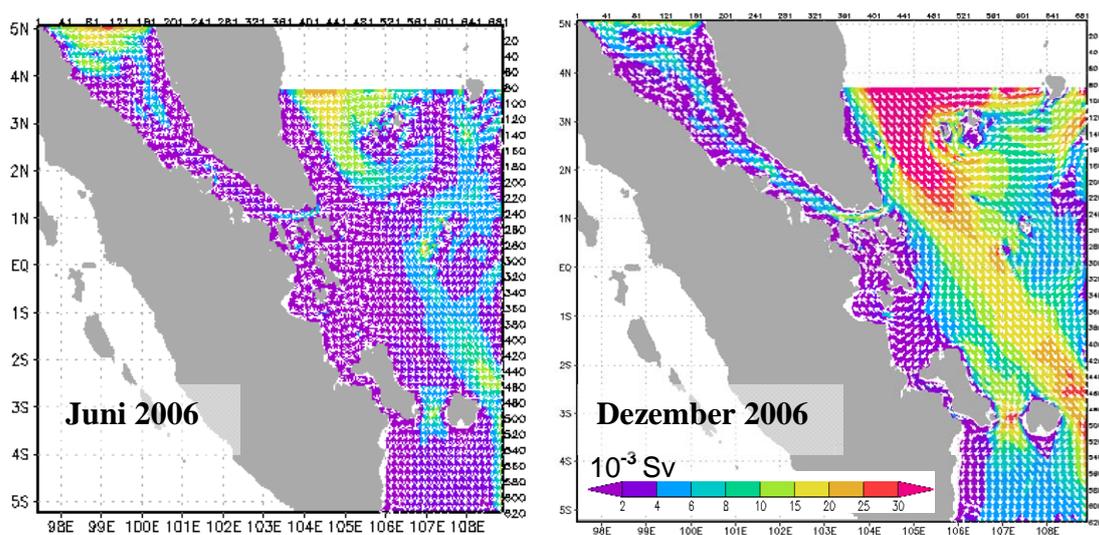


Abbildung 4: Simulierte Transporte in  $10^{-3}$  Sverdrup (=  $1.000 \text{ m}^3/\text{s}$ ), gemittelt für Juni (links) und Dezember (rechts) 2006. Die Farben geben den Betrag des Transports wider, die Pfeile zeigen die Richtung des Transports an. Die Skala im rechten Bild gilt für beide Grafiken.

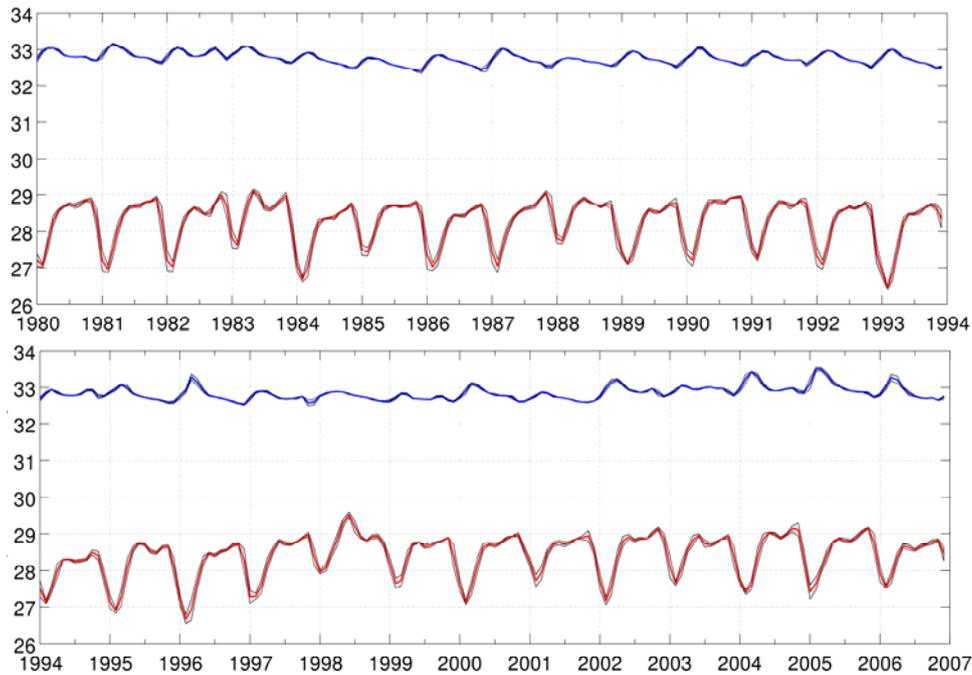


Abbildung 5: Zeitreihen der Monatsmittelwerte des über das gesamte Modellgebiet gemittelte Salzgehaltes (blaue Linie) und der Temperatur (rote Linie) für den Zeitraum 1980-1993 (oben) und 1994-2006 (unten). Der graue Bereich, der die Kurven begleitet, stellt die Standard-Abweichung für die in den Monatsmittelwert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

### c) Numerische Schadstoffausbreitungsmodellierung

Die oben beschriebenen Strömungsdaten wurden verwendet, um das POP-Transportmodell 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 offene 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 ( $\gamma$ -HCH und PCB 153), die sich vor allem durch ihre unterschiedliche hydrophobe bzw. hydrophile Eigenschaft und durch ihre Halbwertszeit.

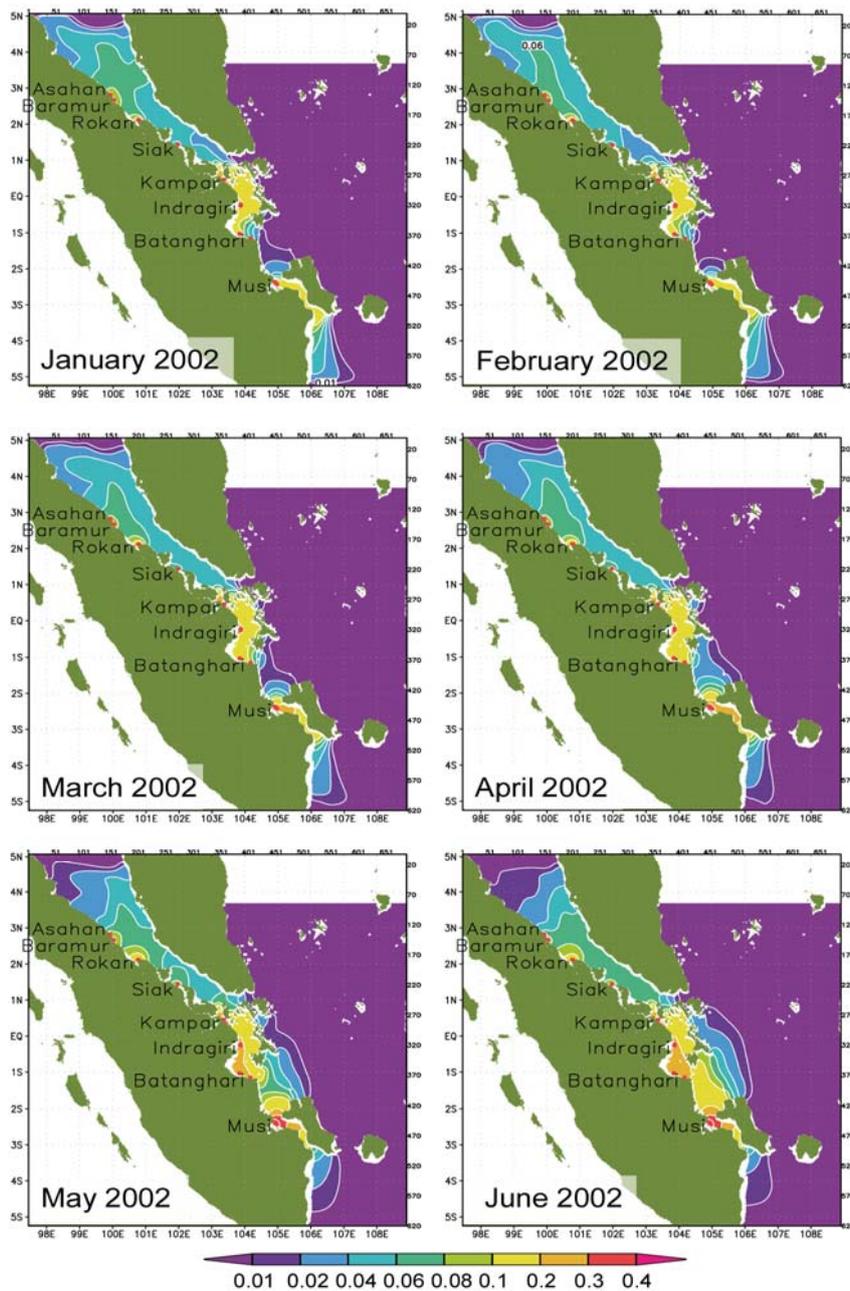


Abbildung 6a: Konzentration von  $\gamma$ -HCH in ng/l im Jahr 2002 (Januar bis Juni) als vertikales und zeitliches Mittel im jeweiligen Monat. Quellen für  $\gamma$ -HCH waren in dieser Simulation nur die Flüsse, die auch in den Grafiken eingezeichnet und benannt sind.

Abb. 6a und 6b zeigen beispielhaft die Ergebnisse der  $\gamma$ -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.

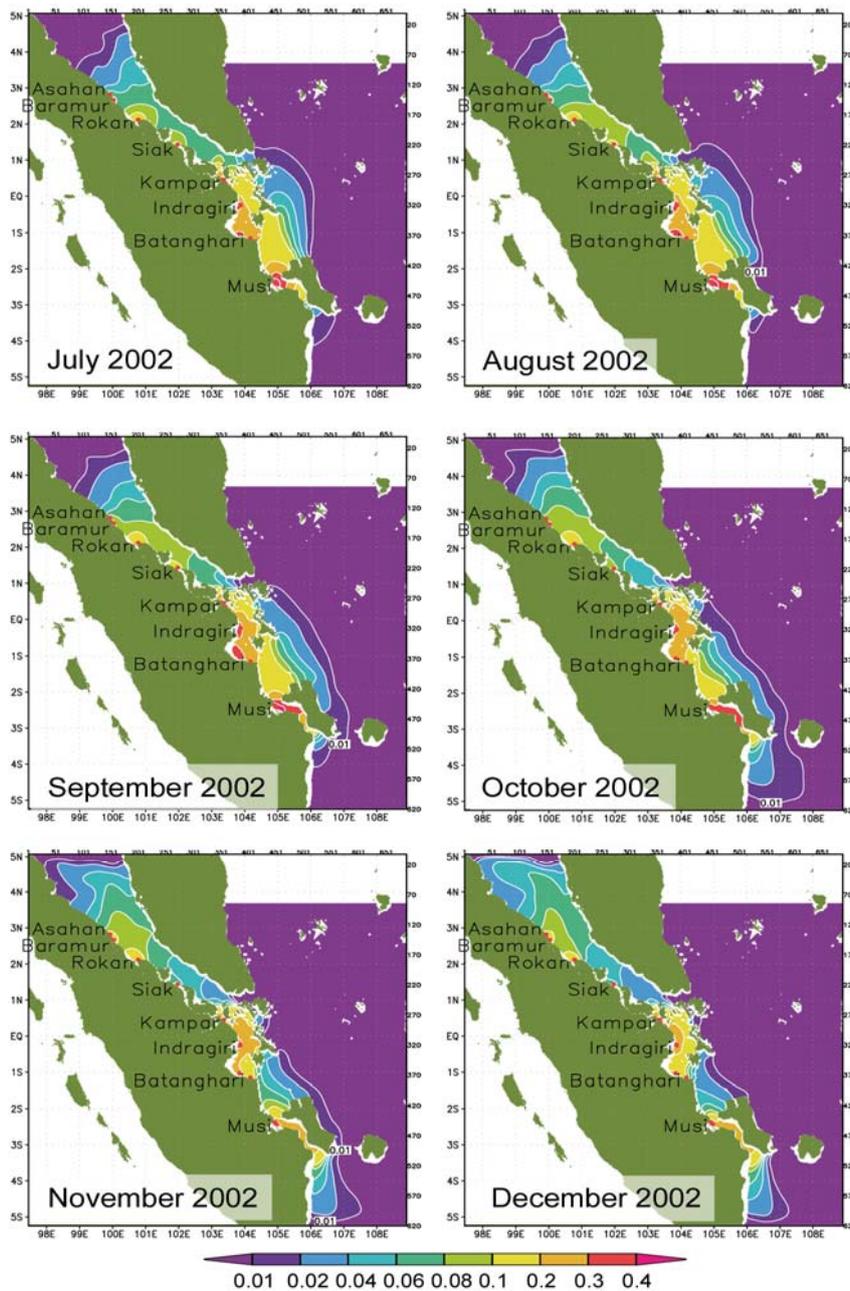


Abbildung 6b: Konzentration von  $\gamma$ -HCH in ng/l im Jahr 2002 (Juli bis Dezember) als vertikales und zeitliches Mittel im jeweiligen Monat. Quellen für  $\gamma$ -HCH waren in dieser Simulation nur die Flüsse, die auch in den Grafiken eingezeichnet und benannt sind.

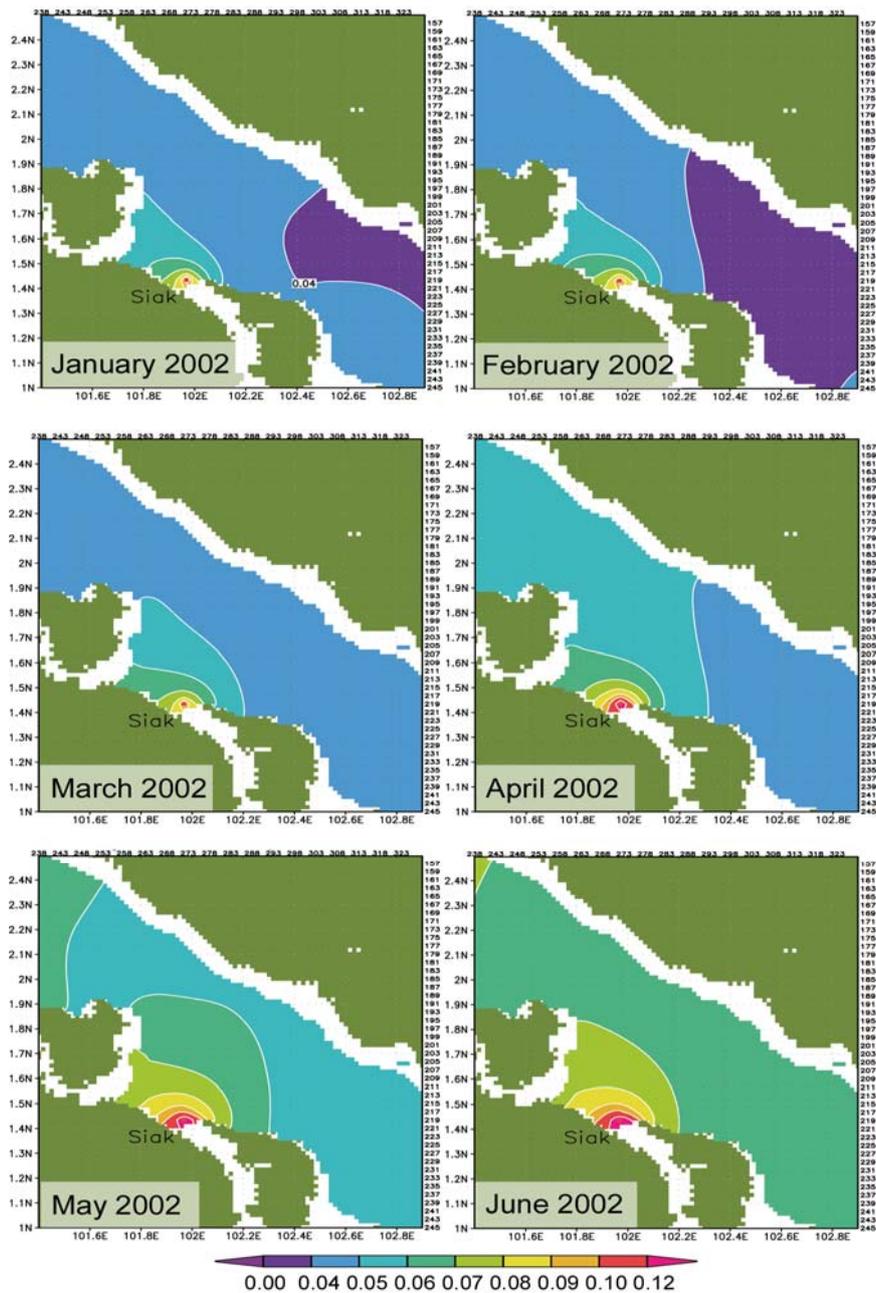


Abbildung 7a: Konzentration von  $\gamma$ -HCH in ng/l im Jahr 2002 (Januar bis Juni) als vertikales und zeitliches Mittel im jeweiligen Monat. (Ausschnitt aus Abb. 6a)

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.

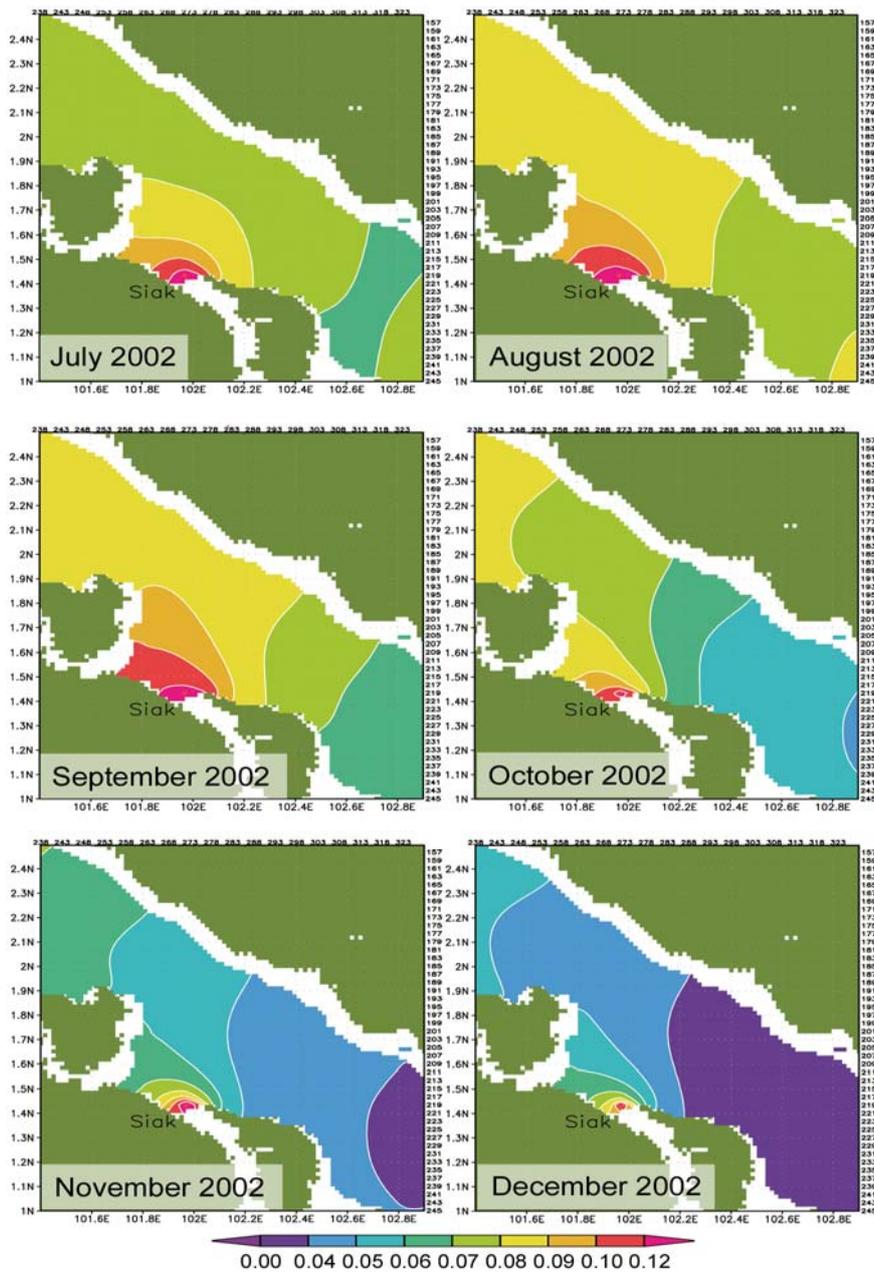


Abbildung 7b: Konzentration von  $\gamma$ -HCH in ng/l im Jahr 2002 (Juli bis Dezember) als vertikales und zeitliches Mittel im jeweiligen Monat. (Ausschnitt aus Abb. 6b)

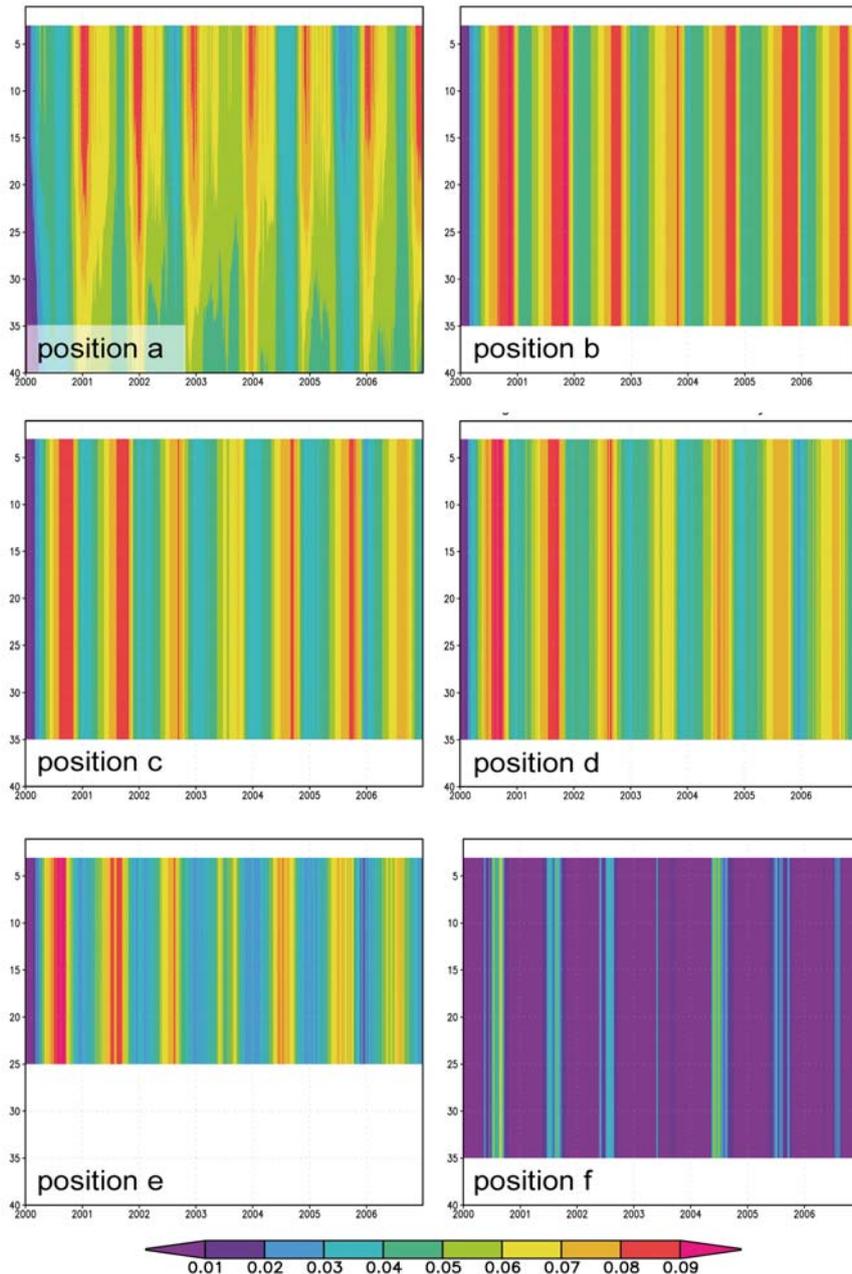


Abbildung 8: Vertikal aufgelöste  $\gamma$ -HCH-Konzentrationen in ng/l für den Zeitraum 2000 bis 2006 an den in Abb. 3 dargestellten Positionen a bis f. Tiefenskala zeigt Meter an.

Abb. 8 stellt in Hovmöller-Diagrammen die vertikal aufgelöste  $\gamma$ -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 der hier 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 Atmospheres 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.

**Wyrski, 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.

## **III. Erfolgskontrollbericht**

### **III.1. Beitrag zu förderpolitischen Zielen**

Die Kenntnis des physikalischen Hintergrundsignals und der externen antreibenden Kräfte ist eine entscheidende Voraussetzung für das Verständnis der meisten chemischen und biologischen Prozesse in Ästuaren und Küstenzonen. Von daher hat das hier dargestellte Projekt die chemisch und biologisch orientierten Aktivitäten maßgeblich unterstützt. Letztere stehen derzeit im Fokus der Deutsch-Indonesischen Kooperation in der Meeresforschung.

Die im Projekt durchgeführten Transportsimulationen dienen dazu, die durch anthropogene Einflüsse am stärksten belasteten Regionen zu identifizieren. Auf diese Weise lassen sich Managementstrategien sinnvoll unterstützen, die die Vermeidung der häufigsten und/oder riskantesten Gefährdungsszenarien zum Ziel haben. Auf diese Weise trägt das Projekt zur einer Verbesserung des Küstenzonen-Managements bei, was als eines der förderpolitischen Ziele identifiziert wurde.

### **III.2. Wissenschaftlich-technische Ergebnis des Vorhabens**

Im Projekt wurden die folgenden technischen Einzelergebnisse erzielt:

1. Erstellung einer detaillierten Topographie und der erforderlichen Antriebsdaten für die Malacca Straße inkl. benachbarter Meeresgebiete am südlich Eingang.
2. Adaptation des Zirkulationsmodells HAMSOM an die Malacca Straße.
3. Extraktion von Randwerten aus einem globalen Zirkulationsmodell.
4. Adaptation eines POP-Transportmodells an dieses Meeresgebiet.
5. Simulationen mit dem Zirkulationsmodell für die Jahre 1980 bis 2006.
6. Simulation der Ausbreitung von durch die wichtigsten Flüsse in die Küstengewässer eingetragenen POPs  $\gamma$ -HCH und PCB 153.

Zu Details bezüglich der Projektergebnisse wird auf die eingehende Darstellung der Projektergebnisse in Kapitel II verwiesen.

Als wesentliches Ergebnis des Projektes zeigte sich, dass sowohl die Strömungen als auch der Stofftransport in der Malacca Straße das gesamte Jahr über nach Norden gerichtet ist. Dieses ist trotz des im Winter vorherrschenden Nordostwindes der Fall. Trotz des unterschiedlichen Antriebs der Modelle deckt sich das Ergebnis aus diesen Modellsimulationen mit den Ergebnissen aus der ersten Phase von SPICE.

### **III.3. Finanzierungs- und Zeitplan**

Die getätigten Ausgaben entsprachen dem genehmigten Finanzplan. Der Zeitplan wurde trotz der unerwarteten Schwierigkeiten bei der Anpassung der Modelle an die neue IT-Plattform (neuer Großrechner) des Deutschen Klimarechenzentrums am Ende eingehalten.

### **III.4. Verwertbarkeit, Erfindungen, Patente, Lizenzen, Schutzrechte**

Die Verwertbarkeit der erzielten Ergebnisse dieses Projekts wurde bereits in Abschnitt II.2 des Schlussberichtes dargestellt.

Es war nicht geplant, dass sich aus dem Projekt Patente ergeben. Von daher sind auch keine Schutzrechanmeldungen etc. erforderlich oder geplant, weder vom Zuwendungsempfänger noch von Dritten. Die beiden Modelle, die im Rahmen des Projektes weiter entwickelt wurden, werden auch weiterhin gepflegt. Es ist vorgesehen, sie in einem Anschlussprojekt als Grundlage für die Simulation der Ausbreitung von Kohlenstoff zu verwenden.

### **III.5. Erfolgreiche Arbeiten**

Infolge der sorgfältigen Planung des Projektes im Vorfeld konnten erfolgreiche Arbeiten vermieden werden.

## **IV. Kurzfassung des Schlussberichts (Berichtsblatt)**

Die Berichtsblätter deutsch und englisch sind beigelegt.

## **Abschlussbericht**

**BMBF- SPICE-II-Cluster 4 FK: 03F0473E**

# **Untersuchung des Küstenabflusses in Südost-Sumatra mit Satellitendaten der Wasserfarbe und in situ Messungen**

**Gesamtlaufzeit des Projektes. 1.09.2007 – 31.12.2010**

**Projektleiter: Dr. Herbert Siegel**

**Mitarbeiter: Iris Stottmeister, Monika Gerth und Dr. Thomas Ohde**



## **Leibniz Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW)**

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie unter dem Förderkennzeichen 03F0473E gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei den Autoren.

# **I. Kurzdarstellung**

## **I.1. Aufgabenstellung**

Das Hauptziel dieses Teilprojektes war die Untersuchung des Küstenabflusses der wichtigsten Flüsse in Südostsumatra Rokan, Kampar, Indragiri, Batang Hari and Musi unter Nutzung von Satellitendaten und in situ Messungen und der Vergleich zu Flüssen an der Westküste in Padang. Alle Flüsse entspringen im Gebirge Westsumatras. Die nach Osten entwässernden Flüsse passieren auf ihrem durchschnittlich 500 km langen Weg sehr unterschiedliche Landoberflächen mit verschiedenartigen Landnutzungen, wogegen die Flüsse der Westseite nach kurzer Fließstrecke den Ozean erreichen. Satellitendaten erfassen ein großes Gebiet und gestatten die synoptische Untersuchung des Offshore-Transports der Wassermassen. Quellen verschiedener Wassermassen sowie bisher unbekannte Quellen können mit Daten hoher räumlicher Auflösung identifiziert werden. Auf der Basis dieser Satellitendaten und mit Hilfe eines Geoinformationssystems wird der Verlauf der Flüsse in den verfügbaren Kartenmaterial korrigiert. Optische Messungen und die Bestimmung der optisch wirksamen Wasserinhaltsstoffe helfen die spektralen Signaturen der Wassermassen zu verstehen und die Satellitendaten zu interpretieren.

Das Verbundvorhaben wird in enger Kooperation mit den beteiligten deutschen und indonesischen Partnern durchgeführt, was im Koordinatorplan beschrieben ist. Das Vorhaben ist eingebettet in das Land-Ozean- Wechselwirkungskonzept wie es vom internationalen LOICZ-Programm vorgeschlagen ist.

Die Ziele können untergliedert werden in in situ Messungen und Fernerkundung:

### **In situ Messungen**

- Identifikation und optische Charakterisierung verschiedener Flüsse im Vergleich zum Siak auf der Basis der Zusammensetzung der optisch wirksamen Wasserinhaltsstoffe und der Wasserfarbe
- Vergleich der Inhaltsstoffzusammensetzung und Wasserfarbe der Flüsse SE und Westsumatras mit
- Untersuchung des Einflusses der Wasserinhaltsstoffe auf die Wasserfarbe
- Beziehung zwischen gelöstem organischen Kohlenstoff und der Gelbstoffabsorption in verschiedenen Gebieten

### **Fernerkundung**

- Transport von Flusswasser (Schadstoffe) ins Ästuar und seewärtige Verbreitung unter Nutzung von Satellitendaten der Wasserfarbe in Relation zu Tiden- und Monsunphasen
- Kombination von Satellitendaten mit hydro-dynamischen Modellsimulationen für die Validation von Modellergebnissen und zum Verständnis der Prozesse, die die Verteilungsmuster erzeugen
- Untersuchung des Einflusses des Flusswassers auf Korallenriffe, Aqua-Kultur-Regionen und touristischen Gebieten

## **I.2. Voraussetzungen unter denen das Projekt durchgeführt wurde**

Das Leibniz Institut für Ostseeforschung (IOW) verfügt über langjährige Erfahrung in der Meeresoptik und Fernerkundung der Wasserfarbe speziell bei der Anwendung von Satellitendaten der Wasserfarbe und der Wasseroberflächentemperatur in der Ostsee und Nordsee, aber auch in den Auftriebsgebieten vor Nord- und Südwestafrika. Schwerpunkte waren die Identifikation und Untersuchung von Küstenabfluss, küstendynamischen Prozessen und Planktonblüten. Die langjährigen Erfahrungen waren schon in SPICE I von enormem Vorteil. Die Ausweitung der Untersuchungen auf die Hauptflüsse SO Sumatras mit kaum vorhandener Infrastruktur erschwerten die landseitige Probenahme. Die Expeditionen wurden jeweils von 2 Mitarbeitern durchgeführt, um eine größtmögliche Effizienz zu erreichen. Probenmaterial wurde während der 4 Messkampagnen gewonnen. Das Fehlen von Messungen der Inhaltsstoffe in diesem Gebiet erforderte eine intensive Beprobung. Aufgrund von logistischen Schwierigkeiten konnte z.B. ein Transport von frischem Probenmaterial ins heimische Institutslabor nicht durchgeführt werden, da eine ununterbrochene Gefrierkette nicht gewährleistet werden konnte. Deshalb wurden z.B. die Chlorophyllbestimmungen vor Ort durchgeführt.

An der aktiven Durchführung der Untersuchungen in SPICE II waren insgesamt 4 Mitarbeiter des Leibniz Instituts für Ostseeforschung Warnemünde beteiligt: Herbert Siegel, Iris Stottmeister und Thomas Ohde als Wissenschaftler, Monika Gerth als Technikerin. Darüber hinaus arbeiteten 5 Studenten zeitweise für das Projekt als Hilfskräfte, z. B. Vorbereitung und Bearbeitung des gewonnenen Probenmaterials und Durchsicht der Satellitenarchive. Die Mitarbeiter konnten die Geräte und Labore der Sektion Physikalische Ozeanographie am Leibniz Institut für Ostseeforschung Warnemünde nutzen. Weiterhin bestand eine enge Kooperation mit den anderen Teilprojekten während der Expeditionen und auch bei der Auswertung. Daten verschiedener Satellitensensoren wurden verwendet, die teilweise frei verfügbar für wissenschaftliche Fragestellungen sind. Für räumlich hoch aufgelöste Daten mussten kommerzielle Anbieter genutzt werden.

Das Untersuchungsgebiet liegt im Einflussbereich des Monsuns. Durch die Lage am Äquator und unmittelbar im Bereich der innertropischen Konvergenzzone überwiegt eine hohe Wolkenbedeckung, die die Nutzung von Satellitendaten im sichtbaren Spektralbereich einschränkt. Deshalb wurde nicht nur auf aktuelle Daten aus dem Untersuchungszeitraum zurückgegriffen, sondern darüber hinaus auch ältere Daten aus Archiven einbezogen. Für die klimatologischen Kenngrößen wie Niederschlag, Wind, Temperatur und Wasseroberflächentemperatur wurden Mikrowellensensoren genutzt, um den Fehler bei Langzeitanalysen zu minimieren.

## **I.3. Planung und Ablauf des Projektes**

Die Erfahrungen aus der ersten SPICE Phase hatten gezeigt, dass die Kombination von in situ Untersuchungen und der Auswertung von Satellitendaten unverzichtbar in unbekanntem Gebieten ist. Satellitendaten gestatten die Identifikation von verschiedenen Wassermassen unterschiedlicher Herkunft in den teilweise schwer zugänglichen

Gebieten. Die Fernerkundung unterstützt somit auch die Planung eines effektiven Messprogramms. Für die Validation von Satellitendaten sowie die Beurteilung der biologischen Aktivität in verschiedenen Flüssen werden In situ Messungen benötigt, die die wirkliche Zusammensetzung der Wasserinhaltsstoffe und ihren Einfluss auf die Wasserfarbe liefern. Die Komplexität der Küstenabflussprozesse machte eine systematische Recherche von Satellitendaten notwendig um typische Verteilungsmuster und Haupttransportrichtungen zu erkennen und Aussagen über die Antriebe der beeinflussten Küstenregionen zu treffen. Der Einfluss der Inhaltsstoffe auf die Wasserfarbe ist Grundlage für die Interpretation von Satellitendaten. Inhärente und apparente optische Eigenschaften des Wassers wurden mit in-situ und Laborinstrumente gemessen.

### a) Teilnahme an Messkampagnen

Alle im Antrag geplanten Expeditionen (3 Schnellbootmesskampagnen und 1 Forschungsfahrt in die offene Malakka und Karimata Strasse) wurden mit Beteiligung der Arbeitsgruppe durchgeführt. Die beiden Kampagnen 3/08 und 11/08 fanden zu unterschiedlichen Monsunphasen in den wichtigsten Flüssen Südostsumatras Rokan, Siak, Kampar, Indragiri, and Musi statt. Die Beprobung erfolgte von Landseite aus mit Schnellbooten. 2009 wurde die ursprünglich mit einem indonesischen Forschungsschiff geplante Expedition in die offenen Küstengewässer mit einem gecharterten Großsegler durchgeführt. Die im Frühjahr 2010 geplante vergleichenden Untersuchungen der Flüsse in der Region Padang an der Westküste wurden erst im Sommer durchgeführt. Die Verzögerungen ergaben sich einerseits durch die Beeinträchtigungen des europäischen Luftverkehrs durch den Ausbruch des isländischen Vulkans und andererseits durch die Vorbereitung des Messeinsatzes auf indonesischer Seite. Generell wurde die Identifikation und optische Charakterisierung der wichtigsten Flüsse und ihr Ausstrom im Küstengebiet analog zur ersten Projektphase auf der Basis der Zusammensetzung der optisch wirksamen Wasserinhaltsstoffe und der Wasserfarbe vorgenommen. Optisch wirksame Wasserinhaltsstoffe sind die Konzentration von Chlorophyll, Schwebstoff und die Absorption der Gelbstoffe (Siegel et al. 2005). Diese Messungen dienten zur Identifikation unterschiedlicher Wassermassen, zur Einschätzung der Bioproduktivität sowie für die Interpretation der Satellitendaten.

Vor der Probennahme wurden Transparenz und Wasserfarbe mit Secchi Scheibe und Forel Skala bestimmt. Im Anschluss wurden Strahlungsmessungen mit Strahlungsmessungen wurden mit zwei RAMSES Sensoren der Firma TRIOS im Spektralbereich von 350 bis 950 nm auf 255 Kanäle durchgeführt. Das System besteht aus einem Strahldichte- und einem Bestrahlungsstärkesensor, um die einfallende Bestrahlungsstärke unmittelbar über  $E_s(\lambda)$  und die aufwärtsgerichtete Strahldichte  $L_u(\lambda)$  unter der Wasseroberfläche zu messen. Die totale interne Reflektanz  $\mathfrak{R}(\lambda)$ , eine Variable, die die Wasserfarbe beschreibt, ergibt sich entsprechen aus Gleichung (1).

$$\mathfrak{R}(\lambda) = \frac{\pi L_u(\lambda)}{E_s(\lambda)} = \frac{t_d(R_w(\lambda))}{1 - r_u(R_w(\lambda))} \quad (1)$$

$t_d$  ist die Oberflächentransmission für abwärtsgerichtete Bestrahlungsstärke und  $r_u$  die Oberflächenreflexion für aufwärtsgerichtete Strahldichte. Die Reflektanz des Wassers

$R_w(\lambda)$  ist proportional dem Verhältnis aus Rückstreukoeffizient und  $b_b(\lambda)$  und Absorptionskoeffizient  $a(\lambda)$ .

$$R_w(\lambda) = 0.33 \frac{b_b(\lambda)}{a(\lambda)} \quad (2)$$

Der Rückstreukoeffizient besteht aus den Anteilen der Wassermoleküle und der anorganischen und organischen Partikel. Die Gesamtabsorption ist die Summe der Beiträge durch Wasser, Phytoplanktonpigmente, Gelbstoffe (CDOM) und der Schwebstoffe (SPM), gemeinsam mit den Bestimmungsmethoden beschrieben bei (Siegel et al. 2005).

Die Konzentration und Zusammensetzung der Inhaltsstoffe erzeugt die Wasserfarbe, die als spektrale Reflektanz an und über der Wasseroberfläche zur Identifikation verschiedener Wassermassen gemessen wurde. Kontinuierliche Messungen über der Wasseroberfläche gestatten die Verfolgung von Gradienten und der Verteilung von Wassermassen. Zur geographischen Zuordnung wurden die Positionen parallel mit einem GPS aufgenommen.

Im Anschluß erfolgte die Probennahme der jeweiligen Arbeitsgruppen. Die Analyse der Wasserproben wurde in den Laboren der Institute durchgeführt, bzw. während der Aliikai-Expedition wurde ein Labor auf dem Schiff eingerichtet.

- Die Chlorophyll Konzentration wurde spektro-photometrisch nach (Lorenzen and Jeffrey 1980) bestimmt. Nach Filtration durch Whatman GFF Filter wurden die Pigmente in Äthanol bzw. Azeton extrahiert und im Lovibond Spektralphotometer gemessen. Nach dem Ansäuern wird die Messung wiederholt. Die Chl-a Konzentration gibt Informationen über die biologische Aktivität des Wasserkörpers.
- Schwebstoff (SPM) wurde gravimetrisch nach der ESA Validationsvorschrift (Doerffer 2002) durch Filtration durch vorbehandelte und gewogene Whatman GFF Filter bestimmt. Die Filter wurden nach Trocknung im IOW Labor zurückgewogen. SPM gibt Auskunft über die Sedimentfracht des Wassers.
- Die Gelbstoffabsorption ist ein Maß für die gefärbten gelösten organischen Substanzen (CDOM) und gibt Hinweise zum Ursprung des Wassers. Hohe CDOM Werte resultieren aus der Entwässerung von Mooregebieten. Sie wurden nach Filtration durch Whatman GFF- Filter im gesamten sichtbaren Spektralbereich zwischen 380 und 700 nm im Lovibond Spektralphotometer mit einer spektralen Auflösung von 1 nm vor Ort vermessen.

Die Auswertung der Rohdaten erfolgte im IOW. Diese Messungen dienten zur Identifikation unterschiedlicher Wassermassen und zur Einschätzung der Bioproduktivität in den verschiedenen Flüssen sowie für die Interpretation der Satellitendaten.

## b) Auswertung von Satellitendaten

Satellitendaten der Wasserfarbe mit unterschiedlicher räumlicher und spektraler Auflösung (MODIS, MERIS, Landsat ETM+ and SPOT) ermöglichen neben der Identifikation von Flusswasser, die Untersuchung des Transports von Flusswasser (Schadstoffe) in die Ästuare und die Verteilung in der Malakka Strasse, im Riau Archipel und in der Karimata Strasse in Relation zu Tiden-und Monsunphasen. MODIS und MERIS mit einer Auflösung von 250 bzw. 300 m werden für die großräumigen Untersuchungen der Verteilung der Wassermassen genutzt. Neben Echtfarbenbildern (RGB) liefern Level-2 Produkte die Konzentration und Verteilung von CHL, CDOM und SPM. Die tägliche Wiederholungsrate von MODIS ermöglicht die Anwendung für Fallstudien wie die Beobachtungen der zeitlichen Entwicklung der Flusswasserfahnen, wird jedoch durch die hohe Bewölkung begrenzt. RGBs von Landsat und SPOT mit einer räumlichen Auflösung von 30 und 20 m dienen zur kleinskaligen Identifikation von Quellen und Strukturen wie z.B. das Ästuarine Trübungsmaximum. Die geringen Wiederholungsraten von 16 Tagen (Landsat) und 26 Tagen (SPOT) ermöglichen keine Zeitserien. Zudem musste aufgrund der begrenzten Größe der Szenen von Landsat mit 185 x 185 km und SPOT mit 60 x 60 x 80 km eine Auswahl getroffen werden insbesondere aufgrund der hohen Kosten für SPOTSzenen. Die Software VISAT 4.7. und ENVI 4.6.1. wurden für die Auswertungen und Anwendung von Algorithmen verwendet.

Da die Verteilungsmuster der Wassermassen durch Monsun und Gezeiten gesteuert werden, wurden Seewinddaten (Richtung und Stärke) von NASA's Quick Scatterometer (QuikSCAT) und Tideninformationen aus dem Tidenkalender WXTide32 herangezogen.

Die Satellitendaten dienen der Validation von Modellergebnissen des Projektpartners und zum Verständnis von Prozessen, die zu den beobachteten Verteilungsmustern führen.

Klimatologische Indikatoren wie Niederschlag, Temperatur und Wasseroberflächentemperatur wurden aus dem Tropical Rainfall Measuring Mission's (TRMM) Microwave Imager (TMI) als Tagesmittel übernommen. Die Wasseroberflächentemperatur wurde zusätzlich mit dem monatlich gemitteltem 9 km MODIS Produkt verglichen. Die räumliche Auflösung für TMI beträgt 0,25 Grad. Für Zeitserien wurden für definierte Gebiete die Daten gemittelt. Diese Zeitreihen wurden verwendet, um Monsunphasen und Besonderheiten in den untersuchten Regionen zu differenzieren.

## I.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand

Die indonesischen Gewässer wurden ozeanographisch und hydrographisch intensiv von Wyrski 1961 unter Berücksichtigung des Einflusses des Monsuns und der Gezeiten auf die Zirkulationsmuster erforscht. Roy 1996 untersuchte die Variabilität von Wasseroberflächentemperatur und Windparametern mit Hilfe des Comprehensive Oceanographic and Atmospheric Dataset (COADS). Zugrunde gelegt wurde ein Zeitraum von 40 Jahren (1950-90) für ausgewählte Gebiete u.a. Malakka- und Karimata Strasse. Schlussfolgernd führt die Zergliederung der indonesischen Gewässer zur Ausbildung eines komplexen Systems, in dem lokale Prozesse vorherrschen können.

---

Weitere ozeanographische Arbeiten für indonesische Gewässer wurden von Hatayama et al. 1996 oder von Pang and Tkalic 2003 spezifisch für die Singapur Strasse veröffentlicht.

Meist erfolgte die Anwendung von Satellitendaten (NOAA AVHRR, Landsat-TM, SPOT, MOS) nur für Einzelstudien in ausgewählten Regionen zur Differenzierung der unterschiedlichen Küstenprozesse und Küstenabflüsse sowie zur Identifizierung von Auftriebsphänomenen. Von besonderer Bedeutung ist die Validation der aus Satellitendaten abgeleiteten Wasseroberflächentemperatur (SST) und der Wasserinhaltsstoffe. Die Anwendung von SeaWiFS Daten im Kombination mit SST im Umfeld von Java verbesserten sowohl das Verständnis über die Küstenprozesse, die Ausbreitung von Küstenabflüssen, so wie deren Einfluss auf das Phytoplankton und die Entwicklung von Fischpopulationen (Hendiarti et al. 2002; Hendiarti 2003; Siegel et al. 2002).

Die Ostküste Sumatras und die Malakkastrasse mit ihren enormen Flusseinträgen sind bis heute kaum Forschungsaspekt der Fernerkundung gewesen. Populus et al. 1995 überprüften anhand von Satellitenbildern die Wasserqualität in der Küstenregion der Jambi Provinz, um die Möglichkeiten für das Anlegen von Aquakulturen auszuloten. Diese Untersuchungen zeigten die Ausbreitung der Flussfahnen mit hoher Sedimentfracht bis zu 10 km seewärts, weitere optisch aktive Wasserinhaltsstoffe wurden aus den vorhandenen Satellitenszenen nicht abgeleitet. 2003 wurden in der gleichen Region kurzzeitliche Variabilitäten der Wasserqualität von Sanderson and Taylor 2003 analysiert, die eine Dominanz von gezeitengesteuerten küstendynamischen Prozessen dokumentieren, während der Einfluss der Monsunphasen in dieser Küstenregion vernachlässigbar ist.

Die Anwendung des SeaWiFS chl<sub>a</sub> – Algorithmus von Tan et al. 2006 in der südlichen Malakka Strasse zeigt, eine für diese Küstenregion spezifische Überbewertung von Chlorophyllgehalten. Verursacht wird dies durch die sehr hohen Konzentrationen von Schwebstoffen und gelösten organischen Substanzen. In-situ Messungen in der Küstenzone sind daher notwendig, um die wirkliche Zusammensetzung der Wasserinhaltsstoffe und ihren Einfluss auf die Wasserfarbe zu analysieren

Der Einsatz von GIS in SPICE 3.1.ermöglichte erstmals die räumliche und zeitliche Analyse des Siak- Flusssystem an der Ostküste Sumatras. Georeferenzierte Satellitenbilder mit hoher Auflösung wurden in GIS implementiert, um die vorhandenen kartographischen Datengrundlagen zu verbessern. Die Synthese von Satellitenbilddauswertung und in-situ Messungen ermöglichte die Identifizierung von Gelbstoffquellen, Erosionsgebieten mit hohen Gehalten an suspendiertem Material, Gebiete mit limitierter Bioproduktivität im Siak- Fluss-System und die vorherrschende Transportdynamik im Ästuar. Da sich unterschiedliche Anteile der Wasserinhaltsstoffe in der spektralen Rückstrahlung (Wasserfarbe) widerspiegeln, können unterschiedlicher Wassermassen im Ästuar und in der Malakka Strasse klar abgegrenzt werden. Zeitserien von MODIS Daten aus unterschiedlichen Saisonen belegen die Gezeitenabhängigkeit der Verteilungsmuster des Siak Ausstromes. Die von Hendiarti et al. 2005 diskutierte Dominanz der Monsunphasen auf die ästuarine Dynamik konnte nicht bestätigt werden.

## **I.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Die Vorbereitung und Durchführung der Messkampagnen erfolgte in enger Kooperation mit allen Teilprojekten und den indonesischen Partnern.

Eine Zusammenarbeit erfolgte insbesondere hinsichtlich der Beziehung zwischen Gelbstoffabsorption und DOC mit dem ZMT (TPC) sowie zum Vergleich zwischen modellierten und aus Satellitendaten abgeleiteten Verteilungsmustern mit der Uni Hamburg (TPD) durchgeführt.

Die im Projekt beteiligten Studenten der Universität Riau in Pekanbaru wurden in die Probenahme, Bearbeitung und Messungen eingewiesen und in den Ablauf einbezogen. Sie haben teilweise Proben photometrisch vermessen. Studenten, die sich speziell für Fernerkundung interessierten, wurden ausführlich in die Thematik eingeführt und Daten für ihre Abschlussarbeiten bereitgestellt.

Satellitendaten wurden auch anderen Projekten des SPICE Programms zur Verfügung gestellt.

---

## II. Detaillierte Darstellung

### II.1. Erzielte Ergebnisse

#### Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet liegt an der SO Küste Sumatras und erstreckt sich mit 800 km Küstenlinie vom Fluss Rokan im Norden bis zum Fluß Musi im Süden.

Die Quellflüsse aller Flusssysteme entspringen in den Barisan Bergen in West-Sumatra. Die nach Osten drainierenden Flüsse münden im Norden in die Malakka Strasse und im Süden in die Karimata Strasse. Die Malakka Strasse ist die Verbindung zwischen dem Südchinesischen Meer und der Andamanensee, einem Randmeer des östlichen Indischen Ozeans, die Karimata Strasse verbindet die Java-See mit dem Südchinesischen Meer

Neben dem in SPICE I untersuchten Fluss Siak entwässern der Rokan und der Kampar in die Malakka Strasse. Der Rokan hat eine Länge von 350 km und mündet trichterförmig nordwestlich des Siaks in die Malakka Strasse. Der Kampar ist 530 km lang und seine Mündung liegt im südlichen Eingang die Malakka Straße südöstlich des Siaks und ist mit dem Siak Ästuar über die Padang Strasse verbunden. Der Indragiri mit einer Länge von 500 km liegt in der südlichen Riau Provinz .Der Batang Hari (600 km) liegt in der Jambi Provinz und weist wie der Indragiri ein weitverzweigtes mäandrierendes Flußsystem mit einem Ästuardelta auf. Vom Kampar bis Batang Hari sind die Riau Inseln vorgelagert. Der Musi mit etwa 580 km Länge ist eine bedeutende Wasserstraße in der Region Palembang. Er entwässert über die Bangka Strasse in die Karimata Strasse, welche zwischen den Inseln Sumatra und Kalimantan liegt. Vergleichend wurden 2010 Flüsse an der Westküste bei Padang beprobt. Diese entspringen ebenfalls im Barisan Gebirge, entwässern aber nur den schmalen Küstensaum und münden über die Mentawai Meerenge mit den vorgelagerten Inseln in den Indischen Ozean.

In den Projektzeitraum 2007-2010 wurden vier Messkampagnen (3/08, 11/08, 10/09 und 07/10) in verschiedenen Jahreszeiten durchgeführt und insgesamt 179 Stationen bearbeitet. Die Positionen der Messstationen sind in Abb. 1 dargestellt.

Während der Expeditionen 2008 wurden die wichtigsten Flüsse Südostsumatras Rokan, Siak, Kampar, Indragiri, and Musi von Landseite aus mit Schnellbooten bearbeitet. Die Expedition 10/2009 mit einem gecharterten Großsegler „Aliikai“ gestattete erstmals die Beprobung der offenen Seegebiete der Malakka und Karimata Strasse. Zusätzlich wurden die Mündungsgebiete bis Frischwasser mit einer Salinität = 0 bearbeitet. Im Juli 2010 wurde landseitig und mit kleinen Schnellbooten die Flüsse Anai, Kuranji und Arau im Bereich Padang durchgeführt.

Während dieser Expeditionen wurden Messungen optischer Größen und optisch aktiver Wasserinhaltsstoffe wie Chlorophyll (Chl), Gelbstoff (CDOM) und Schwebstoff (SPM) durchgeführt. Allgemeine Informationen wurde von Transparenz und Wasserfarbe, bestimmt mit Secchi Scheibe und Forel Skala abgeleitet. Diese Messungen dienten zur Identifikation unterschiedlicher Wassermassen und zur

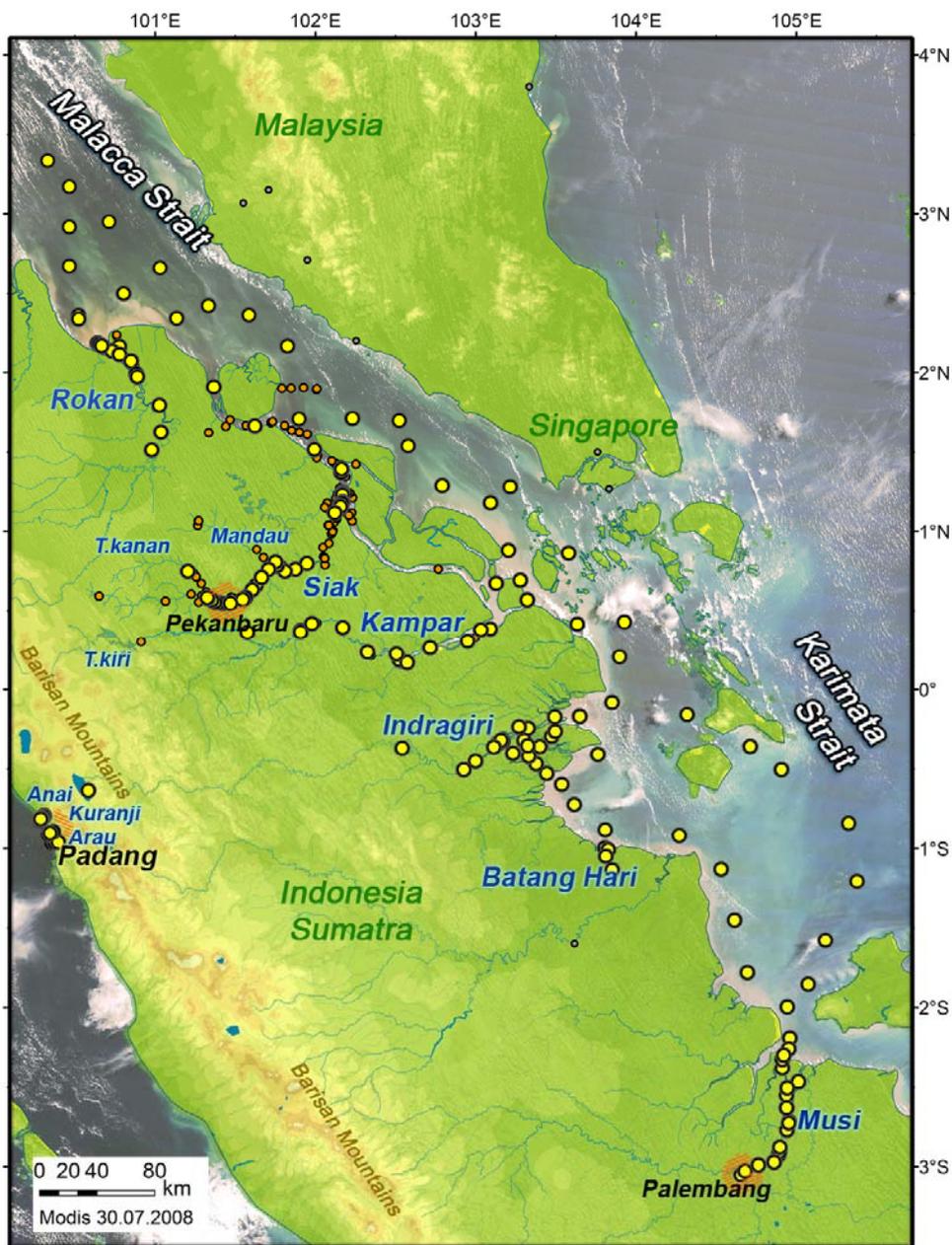


Abb. 1: Stationskarte mit beprobten Stationen der Jahre 2008-2010 in gelb (Stationen von SPICE I orange)

Einschätzung der Bioproduktivität in den verschiedenen Flüssen sowie für die Interpretation der Satellitendaten.

Der Einfluss der Inhaltsstoffe auf die Wasserfarbe ist Grundlage für die Interpretation von Satellitendaten.

## Charakterisierung der Flüsse durch optisch aktive Wasserinhaltsstoffe und Wasserfarbe

Die optisch aktiven Wasserinhaltsstoffe Chl, SPM und CDOM aller Messkampagnen der Jahren 2004-2010 sind in Abb. 2 zusammengefasst. Die Flüsse sind stark durch Gezeiten beeinflusst was starke Unterschiede in den Wasserinhaltsstoffen erzeugt. Daher wurde die Zusammensetzung der Wasserinhaltsstoffe für das Flusswasser mit Salzgehalt = 0 Teil der verschiedenen Flüsse bestimmt und in der Mündungsbereichen der Gezeiteneinfluss vergleichend untersucht. Die mittlere CHL, SPM und CDOM Werte der einzelnen Flüsse im Süßwasserteil (Salzgehalt 0 PSU) sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Die regionalen Unterschiede sind stärker ausgeprägt als die saisonalen. Der Einfluss der Monsunphasen ist nicht deutlich sichtbar. Die mittlere Konzentration von Chl (Abb. 2), ein wichtiger Indikator für Phytoplanktonaktivität war am höchsten im Rokan mit  $8 \text{ mgm}^{-3}$ . Im Siak, Kampar und Indragiri wurden Werte zwischen 1 und  $2 \text{ mgm}^{-3}$  gemessen und im Musi ca.  $1 \text{ mgm}^{-3}$ . Die mittlere SPM Konzentration liefert Hinweise über Erosions- und Resuspensionsprozesse. SPM variiert stark zwischen den einzelnen Flusssystemen mit den höchsten Werten von  $275 \text{ gm}^{-3}$  im Rokan,  $78 \text{ gm}^{-3}$  im Indragiri und  $54 \text{ gm}^{-3}$  im Musi. Die niedrigsten Werte wurden für Siak und Kampar bestimmt. Bei Ebbe wurde die 0 Salzgehaltsregion in Richtung des Astuarinen Trübungsmaximums (ETM) mit maximalem SPM von  $776 \text{ gm}^{-3}$  verschoben. Dieses Phänomen ist im Detail für den Siak (Siegel et al. 2009) beschrieben.

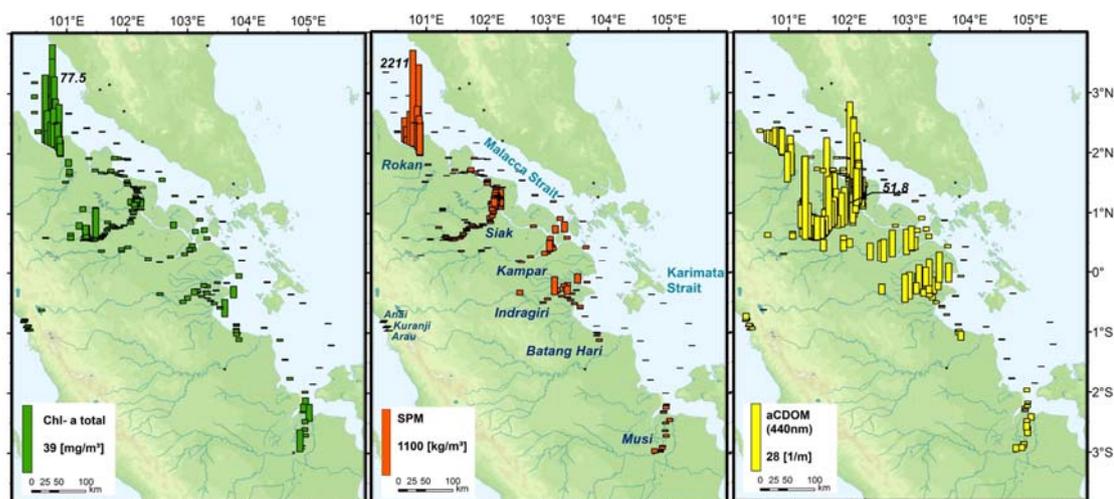


Abb. 2: Konzentration von SPM, Chl-a and CDOM Absorption ( $a_{v440}$ ) der Hauptflüsse Rokan, Siak, Kampar, Indragiri, and Musi (2004 – 2010)

CDOM ausgedrückt als Gelbstoff- Absorption  $a_y$  (440 nm) gibt Auskunft über die Herkunft der natürlichen Gewässer. CDOM ist in erster Linie ein natürliches Abbauprodukt von organischem Material und befindet sich in großen Mengen in stark humushaltigen Böden wie z.B. Torfe. Anthropogene Aktivitäten wie Holzeinschlag, Rodungen, extensive Land- und Forstwirtschaft und Trockenlegung von Feuchtgebieten verstärken den Eintrag durch Erosion und Auswaschung der Böden. Hohe Mittelwerte der CDOM Absorption von  $14,8 \text{ m}^{-1}$  waren im Rokan und Siak gefunden worden

gefolgt vom Indragiri mit  $13,1 \text{ m}^{-1}$  und Kampar mit  $10,1 \text{ m}^{-1}$ . Die niedrigste Absorption von  $3,8 \text{ m}^{-1}$  war im Musi und in den Flüssen bei Padang aufgetreten. Diese Werte liegen in der Größenordnung des Tapung Kiri einem der Quellflüsse des Siak mit einem Einzugsgebiet im Hochland. Hohe Werte im Siak Kecil, Bukit Batu und Mandau resultieren aus der Entwässerung von Mooregebieten. Die gemessenen CDOM Absorption von  $51,8 \text{ m}^{-1}$  im Siak Kecil waren nicht nur das Maximum im Rahmen dieser Untersuchungen, sondern übertreffen auch die bekannten globalen Variationsbreiten (Siegel et al. 2009).

**Tabelle 1:** Mittlere Chl, SPM, und  $\text{aCDOM}_{440}$  Werte im Süßwasserbereich der wesentlichen Flüsse SE Sumatras (Salinität 0 PSU), für die mit \* gekennzeichneten Flüsse liegen nur Einzelmessungen mit Salinität 0 vor

location	chl_ages [mg/m <sup>3</sup> ]	max	min	SPM [g/m <sup>3</sup> ]	Max	min	aCDOM 440 [m <sup>-1</sup> ]	max	min
Rokan	<b>8.1</b>	19.3	1.4	<b>274.8</b>	776.3	16.6	<b>14.8</b>	18.4	8.1
Siak Kecil	<b>2.5</b>	4.8	1.0	<b>58.4</b>	208.0	8.6	<b>36.8</b>	51.8	14.0
Bukit Batu*	<b>1.7</b>			<b>18.3</b>			<b>48.8</b>		
Siak	<b>2.3</b>	10.4	0.1	<b>40.5</b>	183.0	2.7	<b>13.8</b>	32.0	6.5
Kampar	<b>1.8</b>	3.0	1.2	<b>38.2</b>	49.4	26.1	<b>10.9</b>	15.8	6.3
Indragiri	<b>1.9</b>	3.6	0.5	<b>78.2</b>	114.4	32.9	<b>13.1</b>	16.8	5.9
Batang Hari*	<b>2.9</b>			<b>55.4</b>			<b>5.2</b>		
Musi	<b>1.0</b>	2.7	0.2	<b>54.1</b>	101.0	22.1	<b>3.8</b>	5.1	1.8
Arau*	<b>1.3</b>			<b>6.9</b>			<b>1.70</b>		
Kuranji*	<b>1.7</b>			<b>15.7</b>			<b>0.98</b>		
Anai*	<b>1.7</b>			<b>6.6</b>			<b>0.94</b>		

**Tabelle 2:** Mittlere Chl, SPM, und  $\text{aCDOM}_{440}$  Werte im ästuarinen Bereich der Hauptzuflüsse und im vorgelagerten offenen Seegebiet

location	chl_ges [mg/m <sup>3</sup> ]	max	min	SPM [g/m <sup>3</sup> ]	max	Min	aCDOM 440 [m <sup>-1</sup> ]	max	min
Malakka Strasse	<b>1.3</b>	1.5	1.0	<b>5.9</b>	11.7	2.2	<b>0.4</b>	0.5	0.2
Karimata Strasse	<b>0.6</b>	0.9	0.3	<b>2.3</b>	6.1	0.9	<b>0.2</b>	0.34	0
Rokan Ästuar	<b>35.7</b>	77.6	11.1	<b>668.6</b>	2211.7	106.3	<b>6.2</b>	15.2	1.5
Siak Ästuar	<b>2.4</b>	4.8	0.3	<b>49.8</b>	82.5	18.6	<b>22.8</b>	25.1	1.1
Kampar Ästuar	<b>2.2</b>	3.9	0.9	<b>114.0</b>	348.4	29.9	<b>10.5</b>	15.0	3.3
Indragiri Ästuar	<b>1.2</b>	3.0	0.2	<b>78.5</b>	216.8	22.9	<b>11.4</b>	18.4	6.7
Batang Hari Ästuar	<b>4.1</b>	14.0	1.0	<b>10.7</b>	16.5	3.0	<b>1.0</b>	1.8	0.3
Musi Ästuar	<b>6.1</b>	13.9	0.2	<b>59.3</b>	84.2	21.9	<b>2.5</b>	3.7	1.4
Arau Ästuar	<b>1.5</b>	1.3	1.7	<b>6.4</b>	7.2	5.6	<b>0.6</b>	0.5	0.6
Kuranji Ästuar	<b>1.4</b>	1.2	1.5	<b>13.4</b>	17.3	6.9	<b>1.25</b>	1.7	0.7
Anai Ästuar	<b>1.7</b>	1.65	1.7	<b>9.3</b>	11.8	6.7	<b>0.83</b>	0.8	0.83

Besonderheiten in den Konzentrationen traten in den Flussmündungsbereichen auf. Maximale Chlorophyll- Konzentrationen wurden im Rokan und Musi mit Werten von  $77,6 \text{ mgm}^{-3}$  und  $13,9 \text{ mgm}^{-3}$  bestimmt. Für SPM wurde die stärkste Variationsbreite für den Rokan gemessen. Im Flussmündungsbereich wurden Konzentration bis zu  $2200 \text{ gm}^{-3}$  bestimmt, die durch starke Gezeitenströmungen verursacht wurden. Erhöhte Werte entstanden auch in den Flussmündungsbereichen des Kampars und Indragiris mit 348 und  $216 \text{ gm}^{-3}$ . Malakka und Karimata Strasse zeigen eine distale Abnahme der Wasserinhaltsstoffe. In der südlichen Karimata Strasse wurden bei der Alikaii-Expedition die geringsten Konzentrationen bestimmt.

Die optisch aktiven Wasserinhaltsstoffe und die damit verbundenen inneren optischen Eigenschaften bestimmen die scheinbaren optischen Eigenschaften des Wassers wie Reflektanz und vertikale Schwächungskoeffizienten. Ein integrierender Parameter für die Lichtschwächung ist die Transparenz des Wassers, die mit einer Secchi-Scheibe (Secchi Tiefe) leicht messbar ist. Die Secchi Tiefe variierte bei allen Kampagnen zwischen 5 cm im ETM dem Gebiet mit der höchsten Schwebstoffkonzentration des Kampar und Rokan und 10 cm im Siak und bis zu 10 m im Gebiet der sieben Inseln nördlich der Bangka Insel.

Die spektrale Reflektanz (Wasserfarbe), entstanden durch die Wechselwirkung der einfallenden Sonnenstrahlung mit dem Meerwasser und den darin gelösten und suspendierten Inhaltsstoffen, gestattet eine klare Unterscheidung von Wassermassen. In Abb. 3 sind vier Beispiele ganz unterschiedlicher Wassermassen mit den Reflektanzen, Inhaltsstoffzusammensetzungen und der Secchi Tiefe zusammengestellt. Das unterste Beispiel repräsentiert das klarste Wasser, das in dem Untersuchungsgebiet gefunden worden ist. Es ist charakterisiert durch die geringsten Inhaltsstoffkonzentrationen, die zu einer Secchi Tiefe von 10 m und einem Reflektanzmaximum im blauen Spektralbereich bei 450-500 nm führten. Das Gebiet ist von dem klaren Wasser der Karimata Strasse beeinflusst. Das zweite Beispiel von unten stammt aus dem offenen Seegebiet südöstlich der Indragirimündung. Die Station liegt außerhalb der Flusswasserfahne. Der Schwebstoff- und der Gelbstoffgehalt sind sehr gering und die Chlorophyllkonzentration erreicht Werte um  $9 \text{ mgm}^{-3}$ . Durch die Inhaltsstoffzusammensetzung und die Absorption des Chla im blauen Spektralbereich verschiebt sich das Maximum der Reflektanz zu 550 nm und die Transparenz der Wassersäule beträgt 1.3 m. Das nächste Beispiel aus dem Bereich der Kamparmündung ist dominiert durch die Schwebstoffe, welche durch ihre Streueigenschaften das Wasser trüber machen, die Transparenz verringern und die Reflektanz erhöhen. Das Reflektanzmaximum ist sehr breit ausgeprägt. Das oberste Beispiel ist aus dem Siak. Die sehr hohe CDOM- Absorption mit ihrem exponentiellen Anstieg mit fallender Wellenlänge führte zu einer stärkeren Abfall im kurzwelligen Bereich und einer Verschiebung des Reflektanzmaximums bis nach 700 nm. Trotz geringer Partikelstreuung reduziert sich die Transparenz auf 20 cm.

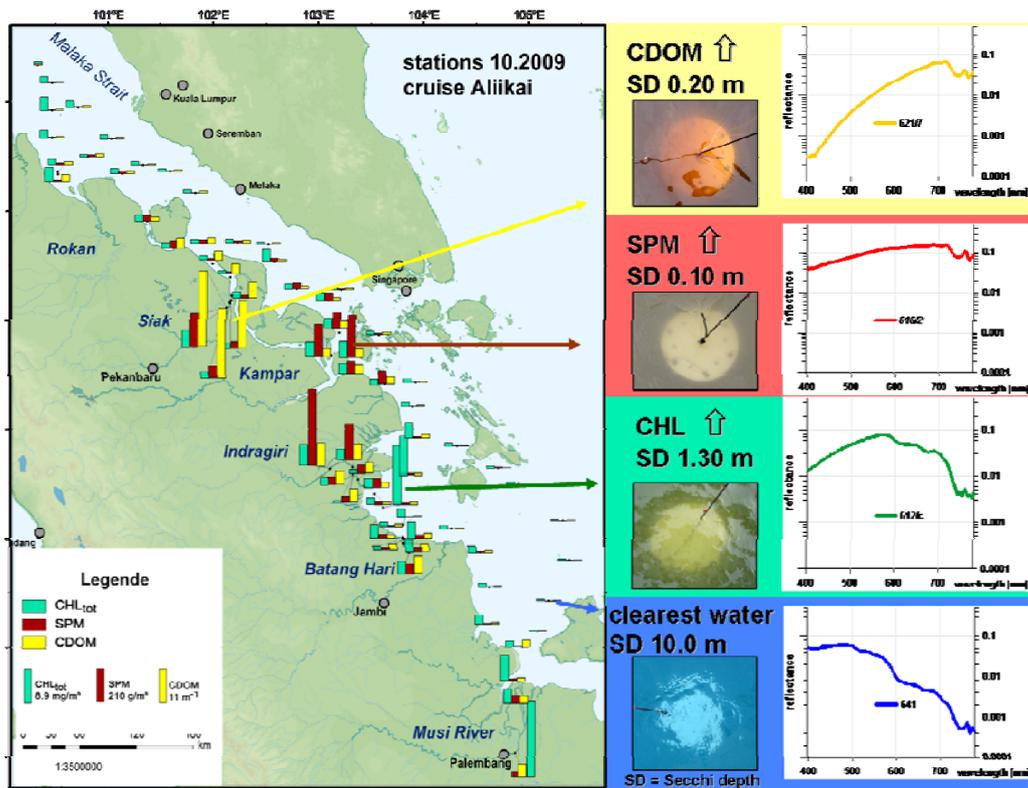


Abb. 3 Verteilung von SPM, Chlorophyll und CDOM während der Aliikai-Expedition im Oktober 2009 mit Darstellung der Wasserfarbe als Bild und als spektrale Reflektanz

Die Unterschiede in der Wasserfarbe gestattet die Anwendung von Quasi-echtfarbenbildern auch von Breitband-Satelliten-Sensoren mit hoher räumlicher Auflösung zur Identifizierung von CDOM dominierten Wassers und zum Studium der Verteilung der verschiedenen Wassermassen im Mündungsbereich und die weiteren Transportprozesse.

### Verteilung der unterschiedlichen Wassermassen und Transportprozesse in unterschiedlichen Gezeiten- und Monsunphasen

Das Untersuchungsgebiet ist ein dynamisch hochkomplexes Gebiet beeinflusst durch die monsunale Zirkulation überlagert von verschiedenen Gezeitenmoden. In den nördlichen Flusssystemen Rokan, Siak und Kampar wirkt sich eine halbtägige Gezeit aus, die im nördlichen Indischen Ozean entsteht und von Norden in die Malakka Strasse einläuft. Die trichterförmigen Mündungen von Rokan und Kampar und die maximalen Tidenhub von 4-5 m begünstigen die Ausbildung von Boren (Gezeitenwellen). Südlich des Amphidromiepunktes zwischen Singapur und Sumatra folgt ein Bereich mit gemischten Gezeiten mit vorherrschender ganztägiger Gezeit bis zum Indragiri. In der Region des Musi ist die eintägige Gezeit dominant (Wyrcki 1961). Bei Padang (Westküste) herrscht eine halbtägige Gezeit mit einem maximalen Tidenhub von ca. 1.20 m vor.

Die detaillierte Untersuchung des Gezeiteneinflusses im Siak hat gezeigt, dass sich ein ästuarines Trübungsmaximum (ETM) im Bereich der salinen Front durch erhöhte Turbulenz entwickelt, was zu erhöhten SPM- Konzentrationen und höhere Reflektanzen in den Satellitenbildern führt (Siegel et al. 2009). Außerdem wurde die Verteilung von Siak- Wasser in der Bengkalis Strasse in Relation zu den Gezeitenphasen untersucht. Bei Ebbe propagiert das Siak Wasser nordwärts in Richtung der Malakka Straße und vermischt sich mit den Flussfahnen des Siak Kecil und des Bukit Batu. Bei steigendem Wasserspiegel wird der Siakausstrom gestoppt und das Wasser der letzten Ebbephase wird weiter nach Süden in die Panjang Strasse transportiert. Bis zum Beginn der nächsten Flutphase war das Wasser vor etwa 80-85 km in der Panjang Strasse transportiert worden. Systematische Analysen von Satellitendaten aus verschiedenen Jahren und Jahreszeiten haben gezeigt, dass die Haupttransportrichtung von Siak Wasser nördlich in Richtung Malakka Strasse ist. Während der auflaufenden Gezeit variieren die Verteilungsmuster unmittelbar vor der Siak Mündung sehr stark. Das Flusswasser ist meistens sichtbar bis in die Malakka Strasse. Dort folgt der Transport der ganzjährigen nord-westlich gerichteten Strömung (Wyrтки 1961; Namba and Saadon 2001) und Wasser aus der Karimata Strasse drückt in die Malakka Strasse und verbessert die Wasserqualität.

Die Entwässerung des Rokan und Kampar Wasser folgt diesem Transport in der Malakka Strasse, wie das Beispiel vom 16. Januar 2004 für nördliche Winde in Abb. 4 zeigt. Im MODIS- quasi- echtfarbenbild wird das Wasser des Indragiris, der nicht im Einflussbereich der Malakka Straße ist nach Süden transportiert.

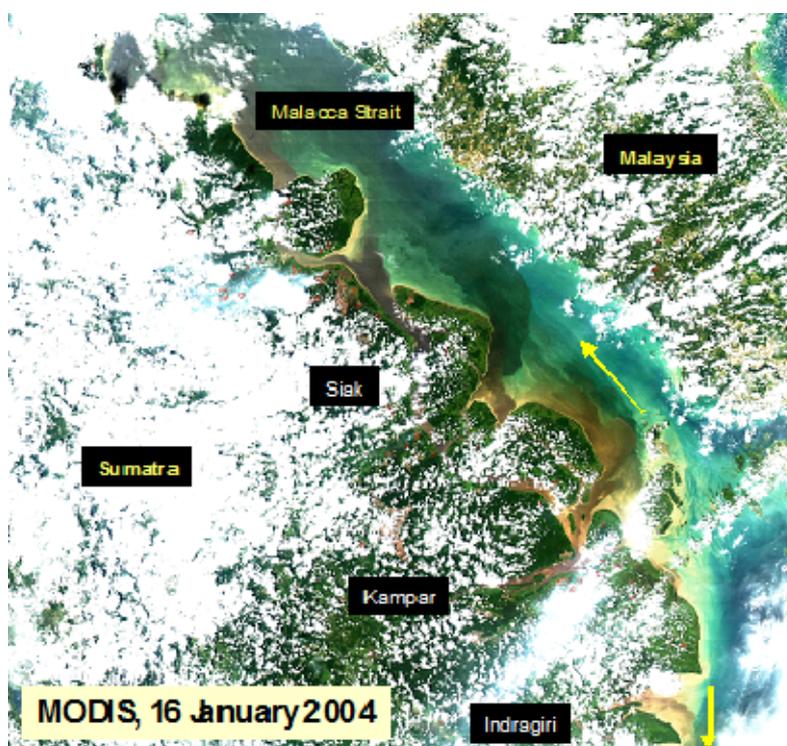


Abb. 4: MODIS quasi- echtfarbenbild vom 16. Januar 2004 zeigt nordwestlichen Transport in der Malakka Strasse bei nördlichen Winden und südwärts gerichtet im

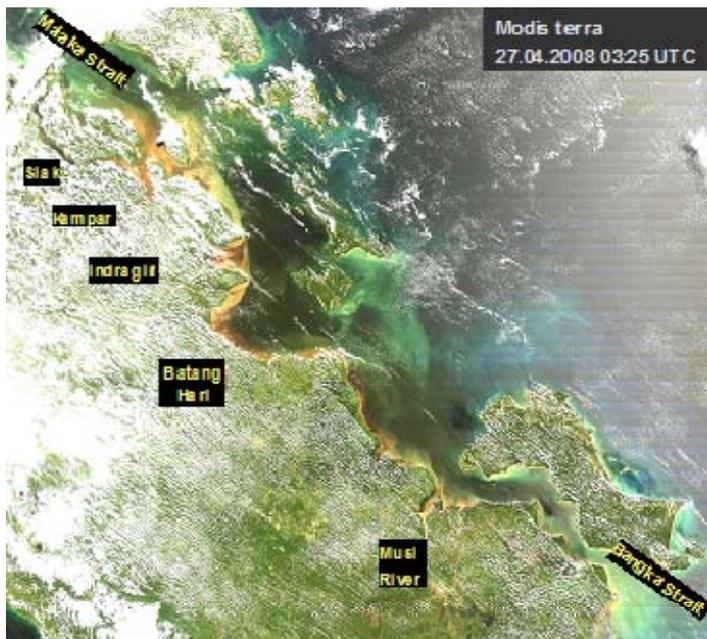


Abb. 5 MODIS Quasi-echtfarbenbild vom 27. April 2008 zeigt nach Norden gerichteten Transport bei südöstlichen Winden

Das Beispiel vom 27 April 2008 in Abb. 5 zeigt für süd-östlichen Wind das gesamte südliche Gebiet. Die Flüsse Indragiri im Norden und Musi im Süden entwässern in die Karimata Strasse nach dem Passieren der vorgelagerten Inseln. Im Gegensatz zu dem südwärts gerichteten Transport während der Nordwinde (Abb. 4) wird das Indragiri Wasser nach Norden transportiert.

Beispiele für den südlichsten Teil des Untersuchungsgebiets sind in den Abb. 7 und Abb. 6 dargestellt. Das MODIS quasi-Echtfarbenbild vom 26. März 2008 in Abb. 7 zeigt das Verteilungsmuster des Musi und der angrenzenden kleinen

Flüsse bei nördlichen Winden, die durch eine bräunliche Farbe durch die Entwässerung von Mooren gekennzeichnet sind. Das Wasser süd- und ostwärts in Richtung der Bangka Strasse transportiert. Bei Südwinde im Beispiel von 26. Juni 2007 (Abb.7) breitet sich das Flusswasser einschließlich der Musi nach Norden aus.



Abb. 7 MODIS quasi-Echtfarbenbild vom 26.03.2008 zeigt nach Westen und Südwesten gerichteten Transport im Musi Mündungsgebiet bei Nordwind



Abb. 6 MODIS quasi-echtfarbenbild vom 26.06.2007 zeigt Transport nach Norden im Musi Bereich bei Südwind

Anhand zweier Beispiele vom 22.1.2009 und 31.07.2008 soll der Einfluss der Monsunphasen belegt werden. In Abb. 8 sind für beide Termine aus MERIS Daten abgeleitete Level II Produkte wie Gelbstoffabsorption, Chlorophyll und Schwebstoff dargestellt. Beide Monsunphasen sind durch hohe Konzentrationen im Küstenstreifen Sumatras charakterisiert mit einer größeren lateralen Ausbreitung während des SE Monsuns.

Ganzjährig treten Zellen klaren Wassers im Becken zwischen Kampar und Indragiri und den vorgelagerten Inseln auf, was sich auch in den gemessenen Konzentrationen in Abb. 3 zeigt. Während des NE Monsuns ist ein Gradient in Malakka Strasse stärker ausgeprägt als während des SE Monsuns. Die Inhaltsstoffkonzentrationen sind auf der Malaischen Seite geringer als auf der indonesischen, weil durch den NE Monsun das Oberflächenwasser in Richtung indonesischer Küste transportiert und Auftrieb auf der Nordseite entsteht. Durch den SE Monsun wird der nährstoffreiche Küstenabfluss Sumatras in der Malakka Strasse stärker verteilt und es sind höhere Konzentrationen und besonders im Chl zu beobachten.

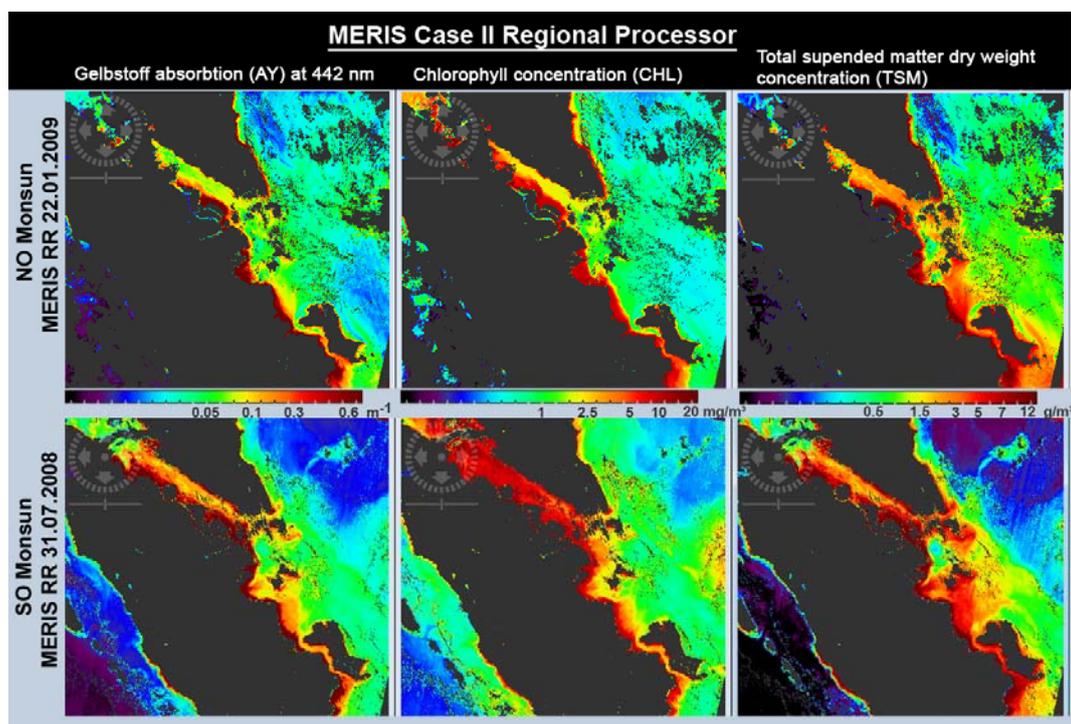


Abb. 8 Die beiden Mündungsgebiete der wichtigsten Flüsse SE-Sumatras, die Malakka und Karimata Strasse

## Vergleich zwischen den beiden Gebieten Süd-Ost-Sumatras, der Malakka und Karimata Strasse

Die fünf untersuchten Flüsse Südostsumatras entwässern in die Malakka (MS) und Karimata Strasse (KS). Die Karimata Strasse wird im Norden vom Süd-Chinesischen Meer und im Süden durch die Java-See begrenzt. Die Malakka Strasse hat Ausgänge im Norden zur Andaman See und zum Indischen Ozean und im Süden zur Karimata Strasse.

Beide Regionen sind sehr unterschiedlich. Während die nördlichen Flusssysteme durch die halbtägige Gezeit dominiert sind, herrscht im Süden eine gemischte ganztägige Gezeit vor (Wyrтки 1961). In der Straße von Malakka wird das Flusswasser durch die großräumige Zirkulation, wie bereits beschrieben ganzjährig nach Nordwesten transportiert. Das Verteilungsmuster der südlichen Flüsse in der Karimata Strasse ist stark von der Windrichtung und damit von den Monsunphasen abhängig. Ein Vergleich zwischen diesen Regionen wurde auf der Grundlage von aus Satellitendaten abgeleiteten Größen wie Wind, Niederschlag, SST und Chlorophyll durchgeführt. Die Ergebnisse für Niederschlag, Windgeschwindigkeit und SST sind in Abbildung 9 für den Zeitraum 2003-2008 mit Kennzeichnung der einzelnen Monsunphasen dargestellt.

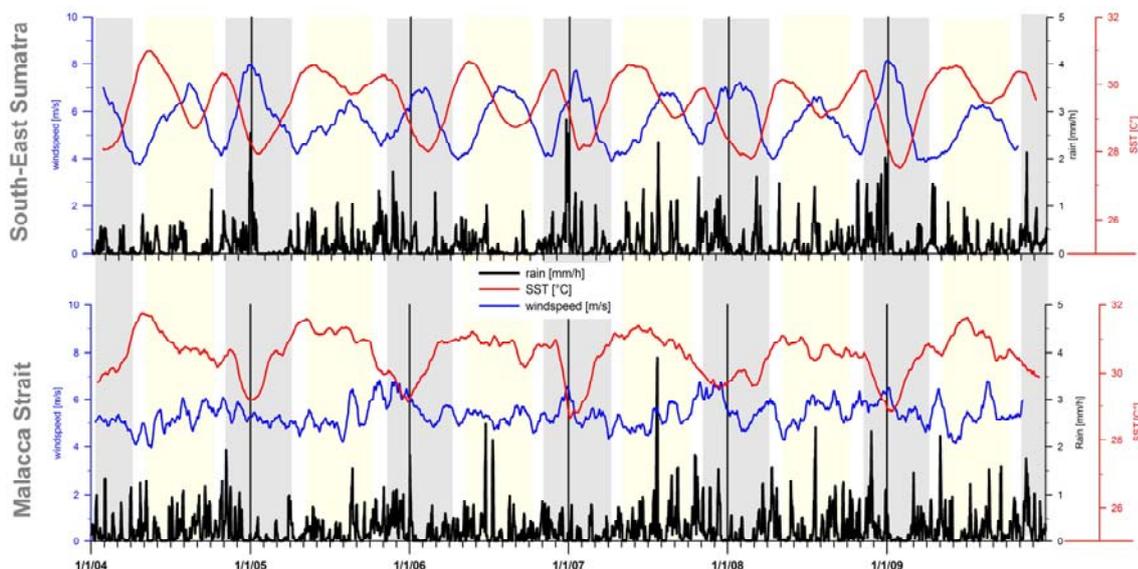


Abb. 9: Windgeschwindigkeit, SST und Niederschlag in den beiden Mündungsgebieten Malakka und Karimata Strasse

Grau hinterlegt sind die Zeiträume des NE-Monsuns von Dezember bis März mit vorherrschendem Nordostwind. Während des SE Monsun (hellgelb hinterlegt) von Mai bis September dominiert der Südostwind. In den Intermonsunphasen im April und Oktober / November sind die Windverhältnisse stark wechselnd. In der MS hat die Windgeschwindigkeit keinen deutlichen saisonalen Zyklus. Leichte Maxima traten am Ende der Inter-Monsun-Phase und zu Beginn der NE Monsun im November / Dezember auf. Die KS ist durch eine jahreszeitliche Entwicklung in der Windgeschwindigkeit charakterisiert. Windminima treten in März / April und im Oktober / November in den Intermonsunphasen auf und Windmaxima im Dez / Jan und im Jul / Aug in den

Monsunphasen. Die maximalen Niederschläge der MS korrelieren mit dem Übergang zum NE-Monsun und zunehmenden Winden. Das Niederschlagsminimum trat während des SE Monsun auf. In der KS tritt ein zusätzliches Minimum während des SE Monsuns auf.

Die Entwicklung des SST ist sehr unterschiedlich in beiden Regionen. In der MS besteht der saisonale Zyklus aus einem Minimum im Dez / Jan und einem Maximum im März / Apr. Die Erhöhung der minimalen Temperatur (28 ° C) auf die maximal (32 ° C) erfolgt sehr schnell bei geringen Windgeschwindigkeiten. Nach diesem Maximum sinkt die SST langsam während des SE Monsuns und stärker dann in der folgenden Inter-Monsun Phase im Zeitraum maximaler Windgeschwindigkeit. Die Maxima in der MS sind höher als in der KS. Dort sind die SST Minima im Dez / Jan und Aug. / Sept und die Maxima in April / Mai und Oktober / November. In der KS kann man eine klare Korrelation zwischen abnehmender Wind und zunehmender SST und umgekehrt beobachten. Bei zunehmender Windgeschwindigkeit steigt die Windmischung und die SST nimmt ab. Darüber hinaus wird während des NE Monsuns ab November kaltes Wasser aus dem Südchinesischen Meer in die Karimata Strasse transportiert, die zur stärkeren Abkühlung (SST Minimum) als während der SE- Monsun in der KS führt.

Die Auswirkungen des Monsuns Phasen auf das Ökosystem wurden auf der Grundlage eines Vergleichs zwischen Chlorophyll und SST in beiden Regionen untersucht. Aufgrund der geringen Datendichte bei Chlorophyll sind die Ergebnisse nicht dargestellt, sollen aber aufgrund des Befundes kurz dargestellt werden. Es deuten sich ein Chl- Maximum im Dez / Jan an und Minima im März / Aug in der MS. Die SST Zeitreihe zeigte das Gegenteil, die SST Minima im Dezember / Januar entsprechen den maximalen Chl- Konzentrationen und SST Maxima im März / April dem Chl Minima. Im Allgemeinen ist es das gleiche in der KS, aber die jährlichen Zyklen der SST bestehen aus zwei Perioden und die Chlorophyll-Konzentration folgt gegenläufig. Hohe Windgeschwindigkeiten erzeugt starke Mischung mit abnehmender SST und Transport von Nährstoffen in die euphotische Zone. Dies induziert dann eine Entwicklung des Phytoplanktons. Wenig Wind bedeutet wenig Durchmischung, starke Schichtung, hohe SST, Nährstoffverarmung in der Oberflächenschicht und reduzierte Chlorophyllgehalte reduziert.

## **II.2. Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse**

Der Südosten Sumatras hat umfangreichen Öl und Gasvorkommen, Schwermetallerzvorkommen und ausgedehnten Holz- und Palmölplantagen. Aufgrund des starken Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum, Entwässerung der Feuchtgebiete und die ungeklärte Einleitung von Abwässern sind die untersuchten Flüsse stark verschmutzt. Das hat natürlich auch Auswirkungen auf die Küstengewässer, die einer zunehmenden anthropogenen Belastung ausgesetzt sind. Im Rahmen von SPICE II war eine Aufgabe die Beschreibung des Siak Flusssystem in einem Buch, das unsere indonesischen Partner in ihre Landessprache übersetzen wollen. Hier sind in zwei Beiträgen auch die Ergebnisse unseres Teilprojektes zusammengefasst. Dieses Buch und die Ergebnisse in SPICE II können einen Beitrag für ein notwendiges „Coastal Zone Management“ der Gewässer leisten. Dieses Teilprojekt trägt durch die identifizierten natürlichen und antropogenen Quellen unterschiedlicher Wassermassen

wie Industrie- oder Erosionsgebiete bei, die Auswirkungen auf die Wasserqualität sowie die biologische Aktivität der Gewässer haben. Die Ergebnisse der Auswertung von Satellitendaten zeigen die Haupttransportrichtungen und die beeinflussten Küstengebiete in der Malakka und Karimata Strasse. Obwohl eine direkte wirtschaftliche Verwertung der Projektergebnisse im Antrag nicht vorgesehen war, werden die Ergebnisse in Empfehlungen für lokale Behörden münden, die im Koordinatorbericht dargestellt sind.

### **II.3. Fortschritte von anderen Stellen**

In der Projektlaufzeit hat es einige neue Publikationen gegeben. Susanto et al. 2006 veröffentlichten eine Studie zur Variabilität von Wasserfarbe, Meeresoberflächentemperatur und Seewind mittels einem, aus Satelliten abgeleiteten Datensatz ((SeaWiFS, AVHRR; ERS1/2, NSCAT, QuickSCAT) für die Jahre von 1998 bis 2003 für die gesamten indonesischen Gewässer. Grundsätzlich sind die Variabilitäten mit dem Monsun gekoppelt, aber es zeigen sich auch Gebiete mit abweichendem Muster, die u.a. auf erhöhten Flusseintrag und Unterschiede in der Küstenmorphologie zurückzuführen sind. Ebenfalls werden die nachteiligen Effekte für das El Nino Event 1997 aufgezeigt, wie u.a. die ansteigende Produktivität verursacht durch Upwelling in den Küstengebieten von Java und Sumatra (Süd- und Westküste).

Es gibt ozeanographische Arbeiten über die Wassermassencharakteristik und Modellierung der Transportprozesse in der Malakka Strasse (Amiruddin et al. 2011; Rizal et al. 2010), die ebenfalls eine ganzjährliche nach Nordwesten gerichtete Strömung in der Malakka Strasse belegen.

Hauptsächlich beschäftigen sich Veröffentlichungen mit Landklassifizierungen und der drastischen Veränderung der Landnutzung auf Sumatra ohne einen Zusammenhang zur möglichen Veränderung der Küsteneintrags in die umliegenden Meeresgebiete zu beleuchten (Miettinen and Liew 2009, 2010). Besonders ausführlich wird die Problematik von Abholzung, Verlust des Regenwaldes verbunden mit einem Verlust an Biodiversität und die zunehmende CO<sub>2</sub> Emission in der Riau Provinz im WWF Indonesia Technical Report (Uryu 2008) dokumentiert. Mit Landsat- Bildern wurden Vegetationskarten erstellt, mit NOAA AVHRR und MODIS Datensätzen das Auftreten von Feuern meist verursacht durch Brandrodungen systematisiert.

Soweit den Projektteilnehmern und den indonesischen Projektpartnern bekannt, wurden während der Laufzeit des Projektes keine weiteren meeresoptischen und fernerkundlichen Untersuchungen in den Gewässern SE Sumatras durchgeführt. Von daher waren bezüglich des hier dargestellten Untersuchungsgegenstandes keine Fortschritte von dritter Stelle zu erwarten.

## II.4. Veröffentlichungen

### Im Projekt entstandene Publikationen und Präsentationen

- Siegel, H., Stottmeister, I., Gerth, M., Ohde, T., Jose, C., Samiaji, J. 2009. Characterisation of Coastal Discharge in South- East- Sumatra and the Transport in the Adjacent Open Seas. Proceedings WOC Manado 2009,
- Siegel, H., I. Stottmeister, J. Reißmann, M. Gerth, J. Samiaji 2009. Siak River System - East-Sumatra, Characterisation of sources, estuarine processes, and discharge into the Malacca Strait. *J. Marine Systems*, 77, 1-2, 148-159
- Siegel, H., Stottmeister, I., Gerth, M., Ohde, T., 2011. Bio-optical characterisation of the Siak water. In: *The Siak, a black water river in the central Sumatran Province Riau, Indonesia: An environmental assessment study*. Ed. By T. Rixen, Springer Verlag, chapter 5, submitted.
- Siegel, H., Stottmeister, I., Gerth, M., Ohde, T., 2011. Transport of Siak water into adjacent coastal regions. In: *The Siak, a black water river in the central Sumatran Province Riau, Indonesia: An environmental assessment study*. Ed. By T. Rixen, Springer Verlag, chapter 17, submitted.
- Siegel, H., Stottmeister, I., Gerth, M., Ohde, 2011. SPICE II Project, Beitrag für IOW 2 Jahresbericht.
- Siegel, H., Stottmeister, I., Gerth, M., Ohde, T., Jose, C., Samiaji, J., 2010. Transport of River water in South- East- Sumatra in relation to forcing processes. Padang Juli 2010, workshop, Vortrag
- Siegel, H., Stottmeister, I., Gerth, M., Ohde, T., Jose, C., Samiaji, J. 2009. Characterisation of coastal discharge in South- East- Sumatra and the transport in the adjacent open seas. World Ocean Conference, Manado Indonesien, 11.-14.05.2009, Vortrag
- Siegel, H., Stottmeister, I., Gerth, M., Ohde, T., Samiaji, J., Jose, C., 2009. Coastal discharge and transport processes in South- East- Sumatra. WOC, Manado 2009, Symposium of SPICE Programme, 12.05.2009, Vortrag.
- Stottmeister I., Siegel, H., Reißmann, J., Gerth, M., and Samiaji, J. 2008. Siak River System – East Sumatra, Satellite based study of estuarine processes. SPICE Projekt Workshop, Uni Hamburg, 23.01.2008, Vortrag
- Siegel, H., Gerth, M., Stottmeister, I., Ohde, T., Alling, V., 2008. CDOM- absorption from tropical black water rivers to open ocean - Contributions of colloidal size fractions. Ocean Optics XIX, Braga, 06.10.-10.10.2008, Poster

### Im Text verwendete Publikationen

- Amiruddin AM, Ibrahim ZZ, Ismail SA (2011) Water mass characteristics in the strait of malacca using ocean data view. *Res J Environ Sci* 5 (1):49-58. doi:10.3923/rjes.2011.49.58
- Doerffer R (2002) Protocols for the Validation of MERIS Water Products, vol No. POTN-MEL-GS-0043. ESA publication,
- Hatayama T, Awaji T, Akitomo K (1996) Tidal currents in the Indonesian Seas and their effect on transport and mixing. *J Geophys Res* 101 (C5):12353-12373

- Hendiarti N (2003) Remote sensing of ocean color (SeaWiFS) in Indonesian waters. . University of Rostock, Rostock
- Hendiarti N, Siegel H, Frederik MCG, Reissmann J, Andiausti R Remote Sensing Investigation of Coastal Discharge of Siak Estuary and nearby Jakarta Bay. In: Proceedings of the 16th APEC Workshop on Ocean Models and Information System for the APEC Region, Ho Chi Minh City, 2005. OMISAR Project Publication, p 5
- Hendiarti N, Siegel H, Ohde T Distinction of different water masses in and around the Sunda Strait: satellite observations and in-situ measurements. In: PORSEC-2002, Bali, 2002. pp 681-686
- Lorenzen CJ, Jeffrey SW (1980) Determination of chlorophyll in seawater. UNESCO Technical Papers in Marine Science 35:20
- Miettinen J, Liew S (2009) Estimation of biomass distribution in Peninsular Malaysia and in the islands of Sumatra, Java and Borneo based on multi-resolution remote sensing land cover analysis. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 14 (4):357-373. doi:10.1007/s11027-009-9169-6
- Miettinen J, Liew S (2010) Status of Peatland Degradation and Development in Sumatra and Kalimantan. AMBIO: A Journal of the Human Environment 39 (5):394-401. doi:10.1007/s13280-010-0051-2
- Namba T, Saadon MN Water Characteristics of the Malacca Strait and the adjacent sea. In: International Conference on the International Oceanographic Data and Information Exchange in the Western Pacific (IODE-WESTPAC) 1999: The Needs of Scientific Research Programmes for Oceanographic and Coastal Data, Paris (France), 2001. IOC, pp 261-268
- Pang WC, Tkalic P (2003) Modeling tidal and monsoon driven currents in the Singapore. Strait. Singapore Maritime & Port Journal:151-162.
- Populus J, Hastuti W, Martin J-LM, Guelorget O, Sumartono B, Wibowo A (1995) Remote sensing as a tool for diagnosis of water quality in Indonesian seas. Ocean Coast Manage 27 (3):197-215
- Rizal S, Setiawan I, Iskandar T, Ilhamsyah Y, A.Wahi M, Musman M (2010) Currents Simulation in the Malacca Straits by Using Three-Dimensional Numerical Model. Sains Malaysiana 39 (4):519-524
- Roy C (1996) Variability of sea surface features in the western Indonesian Archipelago: Inferences from the COADS dataset. ICLARM studies and reviews. . ICLARM, MANILA (PHILIPPINES), Manila
- Sanderson PG, Taylor DM (2003) Short-term Water Quality Variability in Two Tropical Estuaries, Central Sumatra. Estuaries 26 (1):156-165
- Siegel DA, Maritorena S, Nelson NB, Hansell DA, Lorenzi-Kayser M (2002) Global distribution and dynamics of colored dissolved and detrital organic materials. J Geophys Res (C Oceans) 107 (C12):[np]
- Siegel H, Gerth M, Ohde T, Heene T (2005) Ocean colour remote sensing relevant water constituents and optical properties of the Baltic Sea. International Journal of Remote Sensing 26 (2):315-330

- 
- Siegel H, Stottmeister I, Reißmann J, Gerth M, Jose C, Samiaji J (2009) Siak River System -- East-Sumatra: Characterisation of sources, estuarine processes, and discharge into the Malacca Strait. *Journal of Marine Systems* 77 (1-2):148-159
- Susanto RD, Moore TS, II, Marra J (2006) Ocean color variability in the Indonesian Seas during the SeaWiFS era. *Geochem Geophys Geosyst* 7 (5):Q05021
- Tan CK, Ishizaka J, Matsumura S, Yusoff FM, Mohamed MH (2006) Seasonal variability of SeaWiFS chlorophyll a in the Malacca Straits in relation to Asian monsoon. *Continental Shelf Research* 26 (2):168-178
- Uryu Y, et al. (2008) Deforestation, Forest Degradation, Biodiversity Loss and CO<sub>2</sub> Emissions in Riau, Sumatra, Indonesia WWF Technical Report. Jakarta, Indonesia
- Wyrki K (1961) Physical oceanography of the southeast Asian waters. Naga Report 2. Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, CA

### **III. Erfolgskontrollbericht**

#### **III.1. Beitrag zu förderpolitischen Zielen**

Die Kenntnis des physikalischen Hintergrundsignals und der externen antreibenden Kräfte ist eine entscheidende Voraussetzung für das Verständnis der meisten chemischen und biologischen Prozesse in Ästuaren und Küstenzonen. Von daher hat das hier dargestellte Projekt die chemisch und biologisch orientierten Aktivitäten maßgeblich unterstützt. Letztere stehen derzeit im Fokus der Deutsch-Indonesischen Kooperation in der Meeresforschung.

Die im Projekt bearbeiteten Fallbeispiele für unterschiedliche Antriebe gestatten die Identifikation der durch anthropogene Einflüsse am stärksten belasteten Regionen. Auf diese Weise lassen sich Managementstrategien sinnvoll unterstützen, die die Vermeidung der häufigsten und/oder riskantesten Gefährdungsszenarien zum Ziel haben. Auf diese Weise trägt das Projekt zur Verbesserung des Küstenzonen-Management bei, was als eines der förderpolitischen Ziele identifiziert wurde.

Dazu soll insbesondere das Buch des erweiterten SPICE II Konsortiums beitragen, das augenblicklich in Vorbereitung ist.

#### **III.2. Wissenschaftlich-technische Ergebnis des Vorhabens**

Im Projekt wurden die folgenden Einzelergebnisse erzielt:

- Verbesserung des vorhandenen Kartenmaterials durch Einbindung räumlich hoch aufgelöster Satellitendaten in ein Geoinformationssystem
- Identifikation und Charakterisierung von Quellen unterschiedlicher Wassermassen anhand von Satellitendaten kombiniert mit in situ Messungen.
- generell ein ganzjähriger hoher Eintrag von Wasserinhaltsstoffen in die Küstenzone mit einem größeren lateralen Verteilungsmuster während des SE Monsuns
- Hoher Eintrag von Gelbstoff vom Rokan, Siak und Indragiri
- Positive lineare Korrelation zwischen gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) und absorbierenden gelösten organischem Kohlenstoff (CDOM)
- Ostküste Sumatras signifikante Quelle für C- Eintrag in den Ozean
- negative lineare Korrelation zwischen Gelbstoff und Salinität außerhalb des Ästuars
- Wasserinhaltsstoffe erniedrigen die Lichtausbeute in der Wassersäule, Sichttiefen unter 10 cm möglich, Auswirkung auf die photosynthetisch nutzbare Strahlung
- Bestimmung der Haupttransportrichtungen der Flusswasserfahnen: in der Malakka Strasse ganzjährig nordwärts, in der Karimata Strasse orientiert sich die Strömungsrichtung an den Monsunphasen, während des NE Monsuns nach Süden, SE Monsun nach Norden

- Einfluss der Gezeiten und resultierenden Prozesse im Gezeitenbereich: starke Resuspensionen verbunden mit hohen Schwebstoffgehalten, am Rand der Trübungszone hohe Chlorophyllgehalte,
- stark lokal differenzierte Verteilungsmuster durch unterschiedliche Gezeitenmodi entlang der Küste
- Zeitserien zeigen: jährliche klimatologische Schwankungen für den Südteil ausgeprägter durch direkte Lage an der Karimata Straße zwischen Südchinesischem Meer und Java See.

Die Details der Projektergebnisse sind in der eingehenden Darstellung der Projektergebnisse in Kapitel II dargestellt. Die wesentlichen Ergebnisse des Projektes hinsichtlich der Ausbreitung von Flusswasser in die Küstenregion wurden durch die Modellsimulationen bestätigt.

### **III.3. Fortschreibung des Verwertungsplans**

Es war nicht geplant, dass sich aus dem Projekt Patente ergeben. Von daher sind auch keine Schutzrechanmeldungen etc. erforderlich. Die im Gebiet gesammelten Erfahrungen, angewendeten Methoden und Ergebnisse aus dem Siak Flusssystem wurden in zwei Buchmanuskripten zusammengefasst. In der Zukunft möchte der indonesische Partner das Buch auch in Indonesischer Sprache erscheinen lassen.

### **III.4. Erfolgreiche Arbeiten**

Infolge der Planung des Projektes konnten erfolgreiche Arbeiten vermieden werden.

### **III.5. Präsentationsmöglichkeiten**

Die Publikationen werden in internationalen Zeitschriften erscheinen. Vorträge, die im Rahmen des Projektes erstellt worden sind, können verfügbar gemacht werden.

### **III.6. Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung**

Wie der Verwendungsnachweis gezeigt hat, dass der Finanzplan eingehalten wurde. Durch die Preisexplosion bei den indonesischen Forschungsschiffen musste ein anderes Schiff für die Arbeiten auf offener See organisiert werden. Dadurch und durch die Vulkanasche im Frühjahr konnte die Messkampagne im Bereich Padang erst im Juli 2010 realisiert werden, was zu der Beantragung der kostenneutralen Verlängerung bis Ende 2010 führte.

### **III.7. Berichtsblatt**

#### **Zusammenfassung**

Die Untersuchungen konzentrierten sich auf die wichtigsten Flüsse Südostsumatras, ihre bio-optische Charakterisierung im Vergleich zu Flüssen an der Westküste in Padang und die gebietsspezifischen Transportprozesse in den Küstengewässern unter Nutzung von Satellitendaten und in situ Messungen unter Berücksichtigung der Klimatologie. Die Flüsse drainieren unterschiedliche Einzugsgebiete, was zu starken Unterschieden in der Konzentration der Wasserinhaltsstoffe und in der Wasserfarbe vom klarem Schwarzwasser bis zum trüben, milchigen Wasser führt. Die nördlichen Flüsse Rokan, Siak, Kampar münden in die Malakka Strasse und Indragiri, Batang Hari und Musi in die westliche Karimata Strasse. Die Datengrundlage besteht aus 4 Messkampagnen (2008-2010) und Satellitendaten unterschiedlicher räumlicher und spektraler Auflösung. Für vergleichende Betrachtungen mit dem Siak wurden auch die SPICE I Daten von 2004-2006 einbezogen. Die hohe Wolkenbedeckung reduzierte die Zahl der verwendbaren Satellitendaten im sichtbaren Spektralbereich, sodass im wesentlichen nur Fallbeispiele untersucht werden konnten. Sie ermöglichten aber die Identifikation der Quellen unterschiedlicher Wassermassen und die Untersuchung der Ausbreitung des Flusswassers in den Küstenbereichen teilweise synoptisch für beide Mündungsgebiete.

Die Chl-Konzentration ein wichtiger Indikator für Phytoplanktonaktivität. SPM gibt Aufschluss über Erosion und Gelbstoff über das Einzugsgebiet. Im Süßwasserteil lag die mittlere Chl zwischen  $8 \text{ mgm}^{-3}$  im Rokan und 1 bis  $2 \text{ mgm}^{-3}$  im Siak, Kampar, Indragiri und Musi River. Die mittlere SPM Konzentration war am höchsten im Rokan ( $275 \text{ gm}^{-3}$ ), gefolgt vom Indragiri und Musi und am niedrigsten in Siak und Kampar. Die höchste SPM Konzentration wurde im ästuarinen Trübungsmaximum (ETM) mit  $776 \text{ gm}^{-3}$  (Rokan) gemessen. Hohe mittlere CDOM Absorption von  $14,8 \text{ m}^{-1}$  zeigten sich im Rokan und Siak, gefolgt von Indragiri ( $13,1 \text{ m}^{-1}$ ) und Kampar ( $10,1 \text{ m}^{-1}$ ), die primär Moor- und Feuchtgebiete entwässern und die niedrigste Absorption im Musi. Die lag in der Größenordnung des Tapung Kiri, dem klaren Quellfluss des Siak. Die Flüsse Südost Sumatras sind somit global eine bedeutende Quelle für gelösten organischen Kohlenstoff. Besonderheiten in den Flussmündungsbereichen wurden für Chl im Rokan und Musi mit maximal  $77,6 \text{ mgm}^{-3}$  und  $13,9 \text{ mgm}^{-3}$  gemessen. Die höchsten SPM Variationen wurden in der Rokan Mündung mit einem Maximum von  $2200 \text{ gm}^{-3}$  beobachtet. Diese enorme Konzentration ist von starken gezeitenbedingten Resuspensionsprozessen verursacht worden. Diese werden durch die nach Nord-Westen exponierte Mündung des Rokans unterstützt, was einen direkten Zufluss der Gezeitenwellen vom Indischen Ozean ermöglicht. Hohe CDOM und SPM Konzentrationen erniedrigen die Eindringtiefe des Lichtes in der Wassersäule teilweise auf Sichttiefen unter 10 cm und haben somit Auswirkung auf die photosynthetisch verfügbare Strahlung.

Der Haupttransport der nördlichen Flüsse, Rokan, Siak und Kampar, die in die Malakka Strasse entwässern, erfolgt ganzjährig nach Nordwesten der großräumigen Zirkulation folgend. Der Abfluss der südlichen Flüsse, von Indragiri bis Musi, die in die Karimata Strasse münden, wird von der sich umkehrenden Strömungsrichtung der

---

Monsunphasen dominiert. Bei Südwind wird der Abfluss nordwärts transportiert und bei Nordwind nach Süden in Richtung der Bangka Strait.

Regional gemittelte Zeitreihen von Wind, Niederschlag, SST, und Chl für die beiden Mündungsgebiete zeigen saisonale Unterschiede mit stärker ausgeprägten Monsunphasen in der Karimata Strasse. Im Gegensatz zu den Transportprozessen in der Malakka Straße zeigen SST und Chl Monsunabhängigkeit.

Diese identifizierten Quellen unterschiedlicher Wassermassen sowie Informationen über die dynamischen Prozesse, Haupttransportrichtungen und beeinflussten Küstenregionen sind wichtige Informationen für lokale Behörden und Bestandteil unserer Empfehlungen.

Eine besonders intensive Kooperation mit den anderen Teilprojekten erfolgte bei der Vorbereitung und Durchführung der Messkampagne.

Die im Projekt beteiligten Studenten der Universität Riau in Pekanbaru wurden in die Probenahme, Bearbeitung und Messungen eingewiesen und in den Ablauf einbezogen. Sie haben teilweise Proben photometrisch vermessen. Studenten, die sich speziell für Fernerkundung interessierten, wurden ausführlich in die Thematik eingeführt und Daten für ihre Abschlussarbeiten bereitgestellt.

Ergebnisse wurden beim Projektworkshop in Bremen im März 2009, 2 Beiträge des TP auf WOCE Konferenz in Manado im Mai 2009, bei der Evaluierung im IOW im November 2005, SPICE Workshop im Juli 2010 in Padang. Gemeinsame Publikationen sind eingereicht bzw. in Vorbereitung.

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) <b>Schlussbericht</b>
3. Titel <b>SPICE II CLUSTER 4 TP 1</b> <b>Beeinflussung der Küstenökosysteme Ost-Sumatras durch anthropogene und natürliche Flussfrachten von Schwermetallen und PAH's sowie Koordination des Gesamtprojekts</b>  Anthropogenic impacts by heavy metals and poly-nuclear aromatic hydrocarbons on the health of East Sumatran coastal environments and Coordination of cluster 4	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] <b>Balzer, Wolfgang</b> mit Beiträgen von: Bach, Björn Becker, Immo Lukman, Muhammad Müller, Marco	5. Abschlussdatum des Vorhabens <b>31. 12. 2010</b>  6. Veröffentlichungsdatum  7. Form der Publikation
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)  <b>Universität Bremen</b> FB 2 – Meereschemie Leobener Strasse 28359 Bremen	9. Ber. Nr. Durchführende Institution  10. Förderkennzeichen <b>03F0473A</b>  11. Seitenzahl <b>30</b>
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  <b>Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)</b> 53170 Bonn	13. Literaturangaben  14. Tabellen <b>7</b>  15. Abbildungen <b>7</b>
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Projektträger Jülich, Postfach 301144, 18112 Rostock	
18. Kurzfassung In Ästuaren und Küstengebieten der sechs Hauptflüsse Ost-Sumatras (Rokan, Siak, Kampar, Indragiri, Batang Hari und Musi), die in unterschiedlichem Umfang Moor- und Torfgebiete (peatland) entwässern, wurden natürliche und anthropogene Spuren/Schwermetalle sowie Polynukleare Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) während vier Expeditionen untersucht. Die Spurenmetalle wurden in Sedimenten, in Partikeln, in Kolloiden und in Lösung auf Transekte von den Fluss-Endgliedern über die Ästuarie bis in die Küstengebiete der Malakka- und Karimata Straße analysiert, um die Effekte der hohen Huminstoffgehalte auf die Spurenmetalle besser zu verstehen. Vergleichszwecken dienten einige nicht-peatland-drainierende Flüsse West-Sumatras. Die Spuren- bzw. Schwermetalle Cd, Fe, Co, Ni, Cu und Zn in den gelösten, ebenso wie in partikulären Phasen der Ästuarie Sumatras weisen geringe Konzentrationen auf und können als un- oder wenig belastet bezeichnet werden. Während der ästuarinen Mischung von Süß- und Salzwasser in den sechs Flüssen zeigen die gelösten Metalle individuelle Verhaltensweisen: der Anstieg von Cd zur Küste wird durch Komplexbildung mit marinen Chlorid-Ionen beeinflusst; Fe, z.T. auch Pb, Ni, Cu, werden häufig durch Ausflockung von Kolloiden entfernt. Pb, Fe, Cu und Ni sind in allen Ästuaren wesentlich mit kolloidalen Phasen assoziiert, deren Bedeutung mit dem Salzgehalt abnimmt. PAK's, die v.a. der unvollständigen Verbrennung von Moor- und Torf-Arealen entstammen, zeigten in Schwebstoffen und Lösung eine moderate bis hohe Belastung der aquatischen Systemen Ost-Sumatras an.	
19. Schlagwörter <b>Spurenmetalle; Lösung; Kolloide; Partikel; PAK; Huminstoffe; Ästuarie; Sumatra; Indonesien</b>	
20. Verlag	21. Preis

## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) <b>Final Report</b>
3. title <b>SPICE II CLUSTER 4 TP 1</b> <b>Anthropogenic impacts by heavy metals and poly-nuclear aromatic hydrocarbons on the health of East Sumatran coastal environments and Coordination of cluster 4</b>  Beeinflussung der Küstenökosysteme Ost-Sumatras durch anthropogene und natürliche Flussfrachten von Schwermetallen und PAH's sowie Koordination des Gesamtprojekts	
4. author(s) (family name, first name(s)) <b>Balzer, Wolfgang</b> with contributions from Bach, Björn Becker, Immo Lukman, Muhammad Müller, Marco	5. end of project <b>31. 12. 2010</b>  6. publication date  7. form of publication
8. performing organization(s) (name, address)  <b>Universität Bremen</b> FB 02 – Marine Chemistry Leobener Strasse 28359 Bremen Germany	9. originator's report no.  10. reference no. <b>03F0473A</b>  11. no. of pages <b>30</b>
12. sponsoring agency (name, address)  <b>Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)</b> 53170 Bonn	13. no. of references  14. no. of tables <b>7</b>  15. no. of figures <b>7</b>
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date) Projektträger Jülich, Postfach 301144, 18112 Rostock	
18. abstract In estuaries and coastal areas of the six main rivers of East-Sumatra (Rokan, Siak, Kampar, Indragiri, Batang Hari, Musi), which drain peatland to different extents, natural and anthropogenic trace/heavy metals as well as Polynuclear Aromatic Hydrocarbons (PAH) were investigated during four expeditions. The trace metals in sediments, in suspended particles, in colloidal fractions and in „true“ solution were analyzed during transects from the riverine end-members over the estuaries to the coastal areas of the Malacca- and the Karimata Strait, in order to better understand the effect of the high humic loadings on the trace metal behaviour. For comparison some humic-poor rivers of West-Sumatra were also investigated. The trace metals Cd, Fe, Co, Ni, Cu and Zn in both dissolved and particulate forms revealed a generally low state of contamination of the Sumatran estuaries. During the mixing of fresh and marine waters in the six estuaries the dissolved metals showed different behaviors: e.g. the increase of Cd in all rivers towards the coast was affected by complexation with chloride from the inflowing salt water; Fe, and partly also Pb, Ni, Cu, were often removed from solution by flocculation of colloids. In all rivers and estuaries Pb, Fe, Cu and Ni were associated with colloidal fractions to a large extent, which, however, decreased with rising salinity in the estuaries. PAH's, which mainly originate from incomplete combustion during land-use change from peatland to palm oil plantations, showed a moderate to high contamination in solution and in suspended particles of East-Sumatran aquatic systems.	
19. keywords: <b>trace metals; solution; colloids; particles; PAH; humics; estuaries; Sumatra; Indonesia</b>	
20. publisher	21. price

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) <b>Schlussbericht</b>
3. Titel <b>SPICE II CLUSTER 4 TP 2</b> <b>Industrielle und städtische Einleitungen von natürlichem und anthropogenem partikulärem organischem Material in Ostsumatra, Indonesien</b>  Industrial and urban discharges of natural and anthropogenic particulate organic material in East Sumatra, Indonesia	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]  <b>Liebezeit, Gerd</b> <b>Ziehe, Daniel</b>	5. Abschlussdatum des Vorhabens <b>31. 12. 2010</b>  6. Veröffentlichungsdatum  7. Form der Publikation Bericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)  <b>Carl von Ossietzky Universität Oldenburg</b> <b>ICBM-Terramare</b> Schleusenstraße 1 26382 Wilhelmshaven	9. Ber. Nr. Durchführende Institution   10. Förderkennzeichen <b>03F0473B</b>  11. Seitenzahl <b>19</b>
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  <b>Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)</b> 53170 Bonn	13. Literaturangaben <b>7</b>  14. Tabellen 0  15. Abbildungen <b>30</b>
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Projektträger Jülich, Postfach 301144, 18112 Rostock	
18. Kurzfassung  Anhand der Verteilung von <i>n</i> -Alkanen, Fettsäuren, Steroiden und Terpenoiden sollte untersucht werden, inwieweit sich diese Verbindungen eignen, Quellen und Transport von organischen Verbindungen in den Flüssen Rokan, Siak, Kampar, Indragiri, Batang Hari und Musi und in deren unmittelbarem Küstenvorfeld, zu ermitteln. Dazu wurden neben Sediment- auch Wasserproben bearbeitet. Eine eindeutige Zuordnung des sedimentären organischen Materials zu Quellen in der Vegetation gelingt nur in wenigen Fällen. Dies ist bedingt durch die relativ einheitliche Ausstattung der untersuchten Sedimentproben mit als Biomarker geeigneten Lipidverbindungen. In den untersuchten Fluss-Systemen kann keine flächendeckende Belastung mit organischen Schadstoffen festgestellt werden. Lokale Effekte, die mit dem aktuellen Probenraster nicht erfasst werden können, sind allerdings nicht auszuschließen. Einträge von Erdölprodukten lassen sich regelmäßig in den Mittel- und Unterläufen der untersuchten Fluss-Systeme sowie im Küstenvorfeld nachweisen. Coprostanol als Indikator für Einleitung ungeklärter Abwässer wurde regelmäßig gefunden. Der überwiegende Teil der suspendierten Tonfraktion und damit assoziiertes organisches Material wird nicht in den Ästuaren abgelagert, sondern offensichtlich aus dem System exportiert. Für eine Bestätigung dieser Hypothese sind ergänzende Untersuchungen der Suspensionsfracht notwendig.	
19. Schlagwörter <b>Sumatra, Flusssysteme, Biomarker, Sedimente, organische Schadstoffe, Quecksilber, Toxizität</b>	
20. Verlag	21. Preis

## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) <b>Final report</b>
3. title <b>SPICE II Cluster 4 TP 2</b> <b>Industrial and urban discharges of natural and anthropogenic particulate organic material in East Sumatra, Indonesia</b>  Industrielle und städtische Einleitungen von natürlichem und anthropogenem partikulärem organischem Material in Ostsumatra, Indonesien	
4. author(s) (family name, first name(s))  <b>Liebezeit, Gerd</b> <b>Ziehe, Daniel</b>	5. end of project <b>31.12.2010</b>
	6. publication date
	7. form of publication <b>Report</b>
8. performing organization(s) (name, address)  <b>Carl von Ossietzky Universität Oldenburg</b> <b>ICBM-Terramare</b> Schleusenstraße 1 26382 Wilhelmshaven	9. originator's report no.
	10. reference no. <b>03F0473B</b>
	11. no. of pages <b>19</b>
12. sponsoring agency (name, address)  <b>Bundesministerium für</b> <b>Bildung und Forschung (BMBF)</b> 53170 Bonn	13. no. of references <b>7</b>
	14. no. of tables <b>0</b>
	15. no. of figures <b>30</b>
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date) <b>Projekträger Jülich, Postfach 301144, 18112 Rostock</b>	
18. abstract  The aim of the project was, based on the distribution of n-alkanes, fatty acids, steroids and terpenoids, to investigate whether these compound classes are suitable to determine sources and transport of organic compounds in the rivers Rokan, Siak, Kampar, Indragiri, Batang Hari und Musi and their coastal areas. Besides sediment water samples were also taken. An unambiguous relation between plant sources and sedimentary organic material is successful only in a few cases. This is due to the relatively uniformity of lipid biomarkers in the investigated sediments. In the investigated river systems no area-wide loadings with organic contaminants could be established. Local effects, however, cannot be excluded as they might not have been sampled with the actual sampling grid. Inputs of oil-derived products can be detected regularly in the middle and lower reaches of the investigated river systems and in the adjacent coastal area. Coprostanol as indicator compound for untreated sewage discharges was also regularly found. The largest part of the clay fraction and associated organic material is not deposited in the estuaries but rather exported out of the river systems. To support this hypothesis further investigations of the suspended matter are necessary.	
19. keywords <b>Sumatra, river systems, biomarker, sediment, organic contaminants, mercury, toxicity</b>	
20. publisher	21. price

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) <b>Schlussbericht</b>
3. Titel <b>SPICE II CLUSTER 4 TP 3 - ZMT</b> <b>Untersuchung des DOC-Exports aus den Torfwäldern Sumatras und dessen Auswirkung auf aquatische Ökosysteme</b>  Riverine, estuarine and near-coastal transport and transformation of organic matter and nutrients: impacts on water quality and coastal ecosystems	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]  <b>Rixen, Tim</b> <b>Baum, Antje</b>	5. Abschlussdatum des Vorhabens <b>31. 12. 2010</b>  6. Veröffentlichungsdatum  7. Form der Publikation
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)  <b>Leibniz-Zentrum für Marine Tropenökologie (ZMT) GmbH</b> Fahrenheitstr. 6 28359 Bremen Deutschland Tel: +49(0)421 238 00-55 Fax: +49(0)421 238 00-30                      www.zmt-bremen.de	9. Ber. Nr. Durchführende Institution  10. Förderkennzeichen <b>03F0473C ZMT</b>  11. Seitenzahl <b>14</b>
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  <b>Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)</b> 53170 Bonn	13. Literaturangaben <b>9</b>  14. Tabellen <b>1</b>  15. Abbildungen <b>6</b>
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Projektträger Jülich, Postfach 301144, 18112 Rostock	
18. Kurzfassung  Im Rahmen der Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass: <ul style="list-style-type: none"> <li>• die an der Ostküste Sumatras gelegenen torfentwässernden Flüsse extrem hohe DOC-Konzentrationen aufweisen, was auf die Auswaschung der teilweise stark gestörten Torfgebiete zurückzuführen ist,</li> <li>• der Abbau des organischen Materials zu hypoxischen Bedingungen führt, die durch zusätzliche Einleitungen von häuslichen oder industriellen Abwässern noch verstärkt werden können,</li> <li>• die die Ostküste Sumatras entwässernden Flüsse jährlich etwa 3 Tg Kohlenstoff in den Küstenozean eintragen,</li> <li>• jährlich etwa 40 Tg Kohlenstoff aus den Torfgebieten Indonesiens in den Ozean eingetragen werden,</li> <li>• die Adsorption von DOC an Partikeln in Flussästuaren und das anschließende Absedimentieren eine bedeutende Senke terrestrischen Kohlenstoffs darstellt,</li> <li>• der Küstenozean, besonders in den Mündungsbereichen der Schwarzwasserflüsse, erhöhte DOC- und verringerte Sauerstoff-Konzentrationen aufweist,</li> <li>• das Plankton von Diatomeen dominiert wird und</li> </ul> die Produktion und Sedimentation von karbonatschaligem Plankton erst beginnt, wenn der pH auf Werte >7.6 steigt.	
19. Schlagwörter <b>Tropische Torfmoore, DOC-Export, Sauerstoff</b>	
20. Verlag	21. Preis

## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) <b>Final Report</b>
3. title <b>SPICE CLUSTER 4 TP 3 – ZMT</b> <b>Riverine, estuarine and near-coastal transport and transformation of organic matter and nutrients: impacts on water quality and coastal ecosystems</b>  Untersuchung des DOC-Exports aus den Torfwäldern Sumatras und dessen Auswirkung auf aquatische Ökosysteme	
4. author(s) (family name, first name(s))  <b>Rixen, Tim</b> <b>Baum, Antje</b>	5. end of project <b>31. 12. 2010</b>  6. publication date  7. form of publication
8. performing organization(s) (name, address)  <b>Leibniz-Zentrum für Marine Tropenökologie (ZMT) GmbH</b>  Fahrenheitstr. 6 28359 Bremen Deutschland Tel: +49(0)421 238 00-55, Fax: +49(0)421 238 00-30 www.zmt-bremen.de	9. originator's report no.  10. reference no. <b>03F0473C ZMT</b>  11. no. of pages <b>14</b>
12. sponsoring agency (name, address)  <b>Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)</b> 53170 Bonn	13. no. of references <b>9</b>  14. no. of tables <b>1</b>  15. no. of figures <b>6</b>
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date) Projektträger Jülich, Postfach 301144, 18112 Rostock	
18. abstract  Within the frame work of SPICE II it could be demonstrated that: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rivers draining the peat-dominated East coast of Sumatra show very high DOC-concentrations which can be explained by leaching of the heavily disturbed peat soils.</li> <li>• Degradation of organic matter leads to hypoxic conditions. Domestic and industrial wastewater effluents could additionally reduce riverine oxygen concentrations.</li> <li>• Rivers draining the East coast of Sumatra discharge <math>\sim 3 \text{ Tg yr}^{-1}</math> dissolved organic carbon into the coastal ocean</li> <li>• Indonesian peat soils export annually <math>\sim 40 \text{ Tg DOC}</math> into the ocean.</li> <li>• Adsorption of DOC by particulate matter in river estuaries and subsequent sedimentation was identified as important sink of terrestrial carbon.</li> <li>• In the coastal ocean, particularly in the discharge areas of peat-draining rivers, increased DOC and depleted oxygen concentrations were observed.</li> <li>• Plankton is dominated by diatoms and</li> </ul> The production and sedimentation of carbonate plankton depends on pH values $>7.6$ .	
19. keywords:  <b>Tropical peat, DOC-Export, Oxygen</b>	
20. publisher	21. price

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN Geplant	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) <b>Schlussbericht</b>
3. Titel <b>SPICE II Cluster 4 TP 4</b> <b>Simulation der Hydrodynamik und der Schadstoffausbreitung in den Gewässern von Ostsumatra</b>  Simulation of organic pollutants: first step towards an adaptation to the Malacca Strait	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]  <b>Dr. Mayer, Bernhard</b> <b>Dr. Pohlmann, Thomas</b>	5. Abschlussdatum des Vorhabens <b>31. 08. 2010</b> 6. Veröffentlichungsdatum Geplant 7. Form der Publikation Kapitel in Buch
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)  <b>Institut für Meereskunde, Universität Hamburg</b>	9. Ber. Nr. Durchführende Institution Spice II TP04 FinRep 10. Förderkennzeichen <b>03F0473D</b> 11. Seitenzahl <b>19</b>
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  <b>Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)</b> 53170 Bonn	13. Literaturangaben 24 14. Tabellen <b>keine</b> 15. Abbildungen <b>10</b>
16. Zusätzliche Angaben --	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Projektträger Jülich, Postfach 301144, 18112 Rostock	
18. Kurzfassung <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Stand von Wissenschaft und Technik: Dieses Projekt hatte die Untersuchung einer Region zum Inhalt (Malacca Straße mit angrenzenden Meeresgebieten am südlichen Eingang), die bislang nur wenig untersucht wurde. Dies betrifft sogar so grundlegende Eigenschaften wie Strömungsverhalten und darauf basierend Verteilungsmuster von Schadstoffen. Durch dieses Projekt konnten wir weitere Erkenntnisse erzielen. Technisch wurden ein Zirkulationsmodell und ein Schadstoffausbreitungsmodell an diese Region angepasst, stehen damit uns und auch unseren Indonesischen Partnern für weitere Untersuchungen zur Verfügung.</li> <li>2. Begründung der Untersuchung: Für das Ziel Küsten- und Umweltschutz ist es zwingend erforderlich, zunächst die physikalischen Gegebenheiten zu untersuchen, Strömungsverhältnisse und Schadstoffausbreitungen zu kennen. Dies sollte hier angegangen werden.</li> <li>3. Methode: Anwendung von numerischen Modellen</li> <li>4. Wichtigste Ergebnisse: Die Anwendung der Modelle und die Ergebnisse der Messkampagne haben ergeben, dass die Strömungen in der Malacca Straße, auch nahe der Küste von Sumatra, generell Richtung Norden gerichtet ist. Die Monsune sorgen nur für stärkere oder schwächere Ausprägungen und für ein ausgeprägtes Vertikalprofil in der Strömung. Nichtsdestotrotz besteht aufgrund der Gezeitenströmung starke vertikale Durchmischung. Die allein durch Flüsse von Sumatra eingetragene Schadstoffe <math>\gamma</math>-HCH und PCB 153 verhalten sich in den Verteilungsmustern ähnlich: Sie breiten sich vor allem entlang der Küste von Sumatra Richtung Norden aus.</li> <li>5. Schlussfolgerung: Die Ergebnisse können den lokalen politischen Entscheidungsträgern und den Anwohnern bekannt gemacht werden, um entsprechende Maßnahmen zur Verhinderung von tiefgreifenden Umweltschäden zu entwickeln.</li> </ol>	
19. Schlagwörter <b>Malacca Straße, Zirkulation, Hydrodynamik, POP, Schadstoffausbreitung, <math>\gamma</math>-HCH, PCB 153, Flusseinträge</b>	
20. Verlag Springer, Berlin	21. Preis --

## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN Planned	2. type of document (e.g. report, publication) <b>Final report</b>
3. title <b>SPICE II Cluster 4 TP 4</b> <b>Simulation of organic pollutants: first step towards an adaptation to the Malacca Strait</b>  Simulation der Hydrodynamik und der Schadstoffausbreitung in den Gewässern von Ostsumatra	
4. author(s) (family name, first name(s))  <b>Dr. Mayer, Bernhard</b> <b>Dr. Pohlmann, Thomas</b>	5. end of project <b>31. 08. 2010</b>  6. publication date Planned  7. form of publication Chapter in book
8. performing organization(s) (name, address)  <b>Institut für Meereskunde, Universität Hamburg</b>  (Institute of Oceanography, University of Hamburg)	9. originator's report no. Spice II TP04 FinRep  10. reference no. <b>03F0473D</b>  11. no. of pages <b>19</b>
12. sponsoring agency (name, address)  <b>Bundesministerium für</b> <b>Bildung und Forschung (BMBF)</b> 53170 Bonn	13. no. of references 24  14. no. of tables <b>none</b>  15. no. of figures <b>10</b>
16. supplementary notes --	
17. presented at (title, place, date) Projektträger Jülich, Postfach 301144, 18112 Rostock	
18. abstract 1. State of the art: this project aimed at investigating a region (Malacca Strait and adjacent areas at the southern entrance), about which very little is known oceanographically. This extends even to general properties such as the current system and the distribution patterns of environmental contaminants. Technically, a circulation model and a dispersion model for the contaminants was adapted to the region, which can be used by us and our Indonesian partners for further investigations. 2. Reason for the study: for coastal and environmental protection is indispensable, to investigate the physical system, the current fields and the dispersion of contaminants. 3. Method: Development and runs of numeric models 4. Important results: the results from the sampling campaigns and the different model runs revealed that the currents in the Malacca Strait and even close to the Sumatran coast are generally directed to the north. The seasonal changes of the monsoon system have consequences for the intensity of these surface currents and their vertical structure. There is also strong vertical mixing due to the action of tidal currents. Typical organic pollutants such as $\gamma$ -HCH and PCB 153 originating from the rivers of East-Sumatra show similar flow patterns with northern directions along the Sumatran coast. 5. Conclusion: these results may be conveyed to political decision makers and to the local inhabitants for management actions to prevent future environmental damage.	
19. keywords <b>Malacca Strait, circulation, hydrodynamics, POP, dispersion of pollutants, <math>\gamma</math>-HCH, PCB 153, river input</b>	
20. publisher Springer, Berlin, Germany	21. price --

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) <b>Schlussbericht</b>
3. Titel <b>SPICE II Cluster 4 TP 5</b> <b>Untersuchung des Küstenabflusses in Südost- Sumatra mit Satellitendaten der Wasserfarbe und in situ Messungen</b>  Investigation of coastal discharge in Southeast- Sumatra using ocean colour satellite data and in situ measurements	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]  <b>Siegel, Herbert</b> <b>Stottmeister, Iris</b> <b>Ohde, Thomas</b> <b>Gerth, Monika</b>	5. Abschlussdatum des Vorhabens <b>31.12.2010</b>
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)  <b>Leibniz Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW)</b> Seestrasse 15 18119 Rostock	6. Veröffentlichungsdatum geplant
	7. Form der Publikation Scientific Journal
	9. Ber. Nr. Durchführende Institution SPICE II TP05 FinRep
13. Fördernde Institution (Name, Adresse)  <b>Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)</b>  53170 Bonn	10. Förderkennzeichen  <b>03F0473E</b>
	11. Seitenzahl <b>27</b>
	12. Literaturangaben <b>23</b>
14. Tabellen <b>2</b>	15. Abbildungen <b>9</b>
	16. Zusätzliche Angaben
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Projektträger Jülich, Postfach 301144, 18112 Rostock	
18. Kurzfassung Anhand von Satellitendaten der Wasserfarbe und optisch wirksamen Wasserinhaltsstoffen wurden die wichtigsten Flüsse Südostsumatras im Vergleich zu Flüssen der Westküste (Padang) bio-optisch charakterisiert und die gebietsspezifischen Transportprozesse in den Küstengewässern untersucht. Die verschiedenen Einzugsgebiete bewirkten Unterschiede in den Wasserinhaltsstoffen und in der Wasserfarbe vom Schwarzwasser bis hin zu sedimentdominierten Flüssen. Die Datengrundlage besteht aus 4 Messkampagnen (2008-2010) und Satellitendaten unterschiedlicher räumlicher und spektraler Auflösung der Sensoren MODIS, MERIS, Landsat ETM+ und SPOT. Die Flüsse Rokan, Siak, Kampar münden in die Malakka Strasse und Indragiri, Batang Hari und Musi in die Karimata Strasse. Im Süßwasserteil ist Chlorophyll (Chl) ein wichtiger Indikator für Phytoplanktonaktivität, Schwebstoffe (SPM) für Erosion und Gelbstoff (CDOM) für die Zusammensetzung des Einzugsgebietes. Chl lag bei $8 \text{ mgm}^{-3}$ im Rokan und ansonsten bei 1 bis $2 \text{ mgm}^{-3}$ . SPM war am höchsten im Rokan ( $275 \text{ gm}^{-3}$ ), gefolgt von Indragiri, Musi, Siak und Kampar. Noch höhere SPM Konzentrationen wurden im ästuarinen Trübungsmaximum (ETM) mit $776 \text{ gm}^{-3}$ (Rokan) gemessen. Hohe CDOM Absorptionen wurden im Rokan ( $14,8 \text{ m}^{-1}$ ), Siak und Indragiri bestimmt, die primär Mooregebiete entwässern. Dadurch ist das Gebiet Südost Sumatras eine der wichtigsten Quellen für gelösten organischen Kohlenstoff für den Weltozean. Hohe CDOM und SPM Konzentrationen erniedrigen die Lichtausbeute in der Wassersäule teilweise mit Sichttiefen unter 10 cm und haben Auswirkung auf die photosynthetisch verfügbare Strahlung. Besonderheiten in den Mündungsbereichen sind die hohen Chl- Gehalte wie im Rokan ( $77,6 \text{ mgm}^{-3}$ ) und Musi ( $13,9 \text{ mgm}^{-3}$ ) neben hohen SPM Variationen z.B. in der Rokan Mündung mit einem Maximum von $2200 \text{ gm}^{-3}$ hervorgerufen durch starke Gezeitenströmungen. Der Transport der in die Malakka Strasse mündenden Flüsse, erfolgt ganzjährig nach Nordwesten. Die unterschiedlichen Strömungsrichtungen während der Monsunphasen dominieren den Abfluss der Flüsse in die Karimata Strasse. Bei SE Monsun wird der Abfluss nordwärts und bei NE Monsun nach Süden in Richtung Bangka Strasse transportiert. Regional gemittelte Zeitreihen von Wind, Niederschlag, SST und Chl zeigen saisonale Unterschiede für die beiden Mündungsgebiete mit stärker ausgeprägten Monsunphasen in der Karimata Strasse.	
19. Schlagwörter <b>Südost- Sumatra, Indonesien, Ausbreitung von Flusswasser, Fernerkundung der Wasserfarbe, optisch wirksame Wasserinhaltsstoffe, Transportprozesse</b>	
20. Verlag	21. Preis

## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) <b>Final Report</b>
3. title <b>SPICE II CLUSTER 4 TP 5</b> <b>Investigation of coastal discharge in Southeast- Sumatra using ocean colour satellite data and in situ measurements</b>  Untersuchung des Küstenabflusses in Südost- Sumatra mit Satellitendaten der Wasserfarbe und in situ Messungen	
4. author(s) (family name, first name(s))  <b>Siegel, Herbert</b> <b>Stottmeister, Iris</b> <b>Gerth, Monika</b> <b>Ohde, Thomas</b>	5. end of project <b>31. 12. 2010</b>  6. publication date planned  7. form of publication Scientific Journal
8. performing organization(s) (name, address)  <b>Leibniz Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW)</b> Seestrasse 15 18119 Rostock	9. originator's report no. SPICE II TP05 FinRep  10. reference no. <b>03F0473E</b>  11. no. of pages <b>27</b>
12. sponsoring agency (name, address)  <b>Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)</b> 53170 Bonn	13. no. of references 23  14. no. of tables <b>2</b>  15. no. of figures <b>9</b>
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date) Projektträger Jülich, Postfach 301144, 18112 Rostock	
18. abstract Using ocean colour satellite data and optically active water constituents, the main rivers of SE Sumatra were bio-optically characterized in comparison to rivers of the West Coast (Padang) and the region-specific transport processes in coastal waters were investigated. The rivers Rokan, Siak, Kampar discharge into the Malacca Strait and Indragiri, Batang Hari and Musi into the Karimata Strait. The different catchment areas caused differences in water constituents and water colour from black to sediment-dominated rivers. The data base consists of four field campaigns (2008-2010) and satellite data of different spatial and spectral resolution of the sensors MODIS, MERIS, Landsat ETM + and SPOT. Chlorophyll (Chl) is an indicator for phytoplankton activity, particulate matter (SPM) for erosion and yellow substances (CDOM) for the composition of the catchment. In the fresh water part Chl was 8 mgm <sup>-3</sup> in the Rokan and otherwise 1 to 2 mgm <sup>-3</sup> . SPM was highest in Rokan (275 gm <sup>-3</sup> ), followed by Indragiri, Musi, Siak and Kampar. Higher SPM concentrations were measured in the estuarine turbidity maximum (ETM) with 776 gm <sup>-3</sup> (Rokan). High CDOM absorptions were determined in Rokan (14.8 m <sup>-1</sup> ), Siak and Indragiri that drain primarily peats. Southeast Sumatra is one of the main sources of dissolved organic carbon for the world ocean. High CDOM and SPM concentrations decrease the light penetration in the water column with Secchi depths partly below 10 cm and effect the photosynthetically available radiation. Special features in the estuary are high chlorophyll in Rokan (77.6 mgm <sup>-3</sup> ) and Musi (13.9 mgm <sup>-3</sup> ) as well as high SPM variations in the Rokan estuary with a maximum of 2200 gm <sup>-3</sup> caused by strong tidal currents. The transport of river water in the Malacca Straits occurs northwestwards throughout the year. The different monsoon phases dominate the transport of river water in the Karimata Strait. During SE monsoon the transport is directed northwards and during NE monsoon southwards towards Bangka Strait. Regionally averaged time series of wind speed, precipitation, SST and Chl show seasonal differences for the two estuaries with more pronounced monsoon phases in the Karimata Strait.	
19. keywords: <b>Southeast Sumatra, Indonesia, river discharge, ocean colour remote sensing, optically active water constituent, transport processes</b>	
20. publisher	21. price