

BMBF-Verbundprojekt JGOFS-Indik

Teilprojekt 13

**Radionuklid-Traceruntersuchungen zur Partikelmodifikation
im Arabischen Meer**

Endbericht für die Projektlaufzeit

01.01.97 - 31.12.98

Dr. Jan Scholten & Jan Fietzke

Institut für Geowissenschaften

Universität Kiel

Olshausenstr. 40

24098 Kiel

Prof. Dr. Augusto Mangini

Akademie der Wissenschaften

Heidelberg

Im Neuenheimer Feld 366

61290 Heidelberg

Inhalt

1 Einleitung	1
2 Ziele und Stellung im Verbundprojekt	2
3 Durchgeführte Arbeiten	3
4 Ergebnisse	5
4.1 Nuklidverteilung in der Wassersäule	5
4.2 Radionuklidflüsse in Sinkstoffallen	7
4.3 Fangeffizienz der Sinkstoffallen	10
4.4 Bilanz zwischen Sinkstoffallen und Sedimenten	13
4.5 Lateraler Sedimenttransport und Boundary Scavenging	15
5 Relevanz der Ergebnisse für die JGOFS-Ziele	17
6 Ausblick	18
7 Literatur	19

1 Einleitung

Die Fähigkeit des Ozeans, atmosphärisches CO₂ aufzunehmen und teilweise in Sedimenten zu deponieren, ist ein wesentlicher biogeochemischer Teilprozeß im globalen Kohlenstoffkreislauf. Die Untersuchung der zeitlich variablen Flüsse von Kohlenstoff und den mit ihm assoziierten Elementen im Ozean auf globalen Maßstab ist deshalb der Schwerpunkt der JGOFS-Aktivitäten.

Ein großer Teil der erhobenen Daten beruht dabei auf der Analyse von Sinkstoffallenmaterial. Dabei wird in den meisten Untersuchungen davon ausgegangen, daß diese Fallen den vertikalen Partikelfluß quantitativ vollständig erfassen. In einer Reihe von Arbeiten wurde allerdings gezeigt, daß die Fangeffizienz der Fallen z.B. durch hydrodynamische Effekte (lokale Strömung, Fallenneigung) beeinflusst wird (Gust et al. 1992 & 1994, Baker et al. 1988, Gardener 1996).

Die natürlichen Radionuklide ²³⁴Th (T_{1/2} = 24d), ²³⁰Th (T_{1/2} = 75.4ka) und ²³¹Pa (T_{1/2} = 32.5ka) werden deshalb zur unabhängigen Abschätzung der Fangeffizienz verwendet (Bacon et al. 1986, Anderson et al. 1983, Buesseler et al. 1991 & 1995). Bei bekannter Quelle (homogen über die Ozeane verteiltes gelöstes Uran) ist, aufgrund ihrer Partikelreaktivität, die Verteilung dieser Nuklide direkt an den Partikelfluß gekoppelt (Scavenging). Aus der Produktion in der Wassersäule und der gemessene lokalen Verteilung kann der zu erwartende Fluß des Tracers in die Falle bestimmt werden. Dabei müssen allerdings die horizontalen Nuklidflüsse, z.B. aufgrund von Wassermassentransport oder Boundary Scavenging, berücksichtigt werden, da diese die Bilanz deutlich beeinflussen können (Moran et al. 1997, Scholten et al. 1995, Vogler et al. 1998, Rutgers vd Loeff & Berger 1993).

Insbesondere für flache Verankerungen wurde anhand von ²³⁴Th-Messungen eine Abweichung des von der Falle gefangenen Partikelflusses gegenüber dem tatsächlichen Vertikalfluß von einer ganzen Größenordnung gefunden (Buesseler et al. 1995, Bacon et al. 1996). In diesem Zusammenhang wird der Einfluß schnell sinkende große Flocken diskutiert (Shaw et al. 1998). Diese könnten für die schlechten Fangeffizienzen bei flach verankerten Fallen verantwortlich sein.

2 Ziele und Stellung im Verbundprojekt

Im Rahmen des Teilprojektes „Radionuklid-Traceruntersuchung zur Partikeldynamik im Arabischen Meer“ sollten die Fangeffizienzen der Fallen der deutschen JGOFS-Verankerungen bestimmt werden, um anderen Teilprojekten einen für die jeweilige Falle spezifischen Korrekturfaktor zu liefern. Dabei wird nach systematischen Beziehungen der Fangeffizienz zu Größen wie Tiefe, Gesamtumfang des Partikelflusses und Zusammensetzung der sinkenden Partikel gesucht.

Desweiteren sollten regionale und saisonale Unterschiede der Radionuklidverteilung und ihre gegebenenfalls bestehende Beziehung zum Monsun untersucht werden. Der Vergleich der aus Wassersäulen- und Sinkstoffallendaten ermittelten Tracerflüsse mit den in Oberflächensedimenten bestimmten, könnte Aufschlüsse über den Umfang lateralen Sedimenttransports sowie des Boundary Scavengings liefern.

Es bestehen enge Beziehungen zu den anderen Teilprojekten des deutsche „JGOFS-Indik“. Mit Teilprojekt 11 (Prof. Ittekkot/ Dr. Haake) wird hinsichtlich der Fangeffizienzbestimmung, der Variabilität im vertikalen Partikelfluß und des äolischen Einflusses auf den Stofftransport zusammengearbeitet. Mit Teilprojekt 10 (Prof. Balzer/ Dr. Schüssler) bestehen Verbindungen bezüglich der Partikelmodifikation während des Vertikaltransports, zur Arbeitsgruppe von Prof. Zeitschel (TP 7) bei Untersuchungen zur Partikelbildung und den Zusammenhängen von Partikelart und Tracertransport. Die Ergebnisse fließen außerdem in die Partikelmodelle des Teilprojektes 6 (Prof. v. Bodungen) ein.

3 Durchgeführte Arbeiten

Die Felduntersuchungen wurden 1997 während der Forschungsfahrten SONNE 117 und SONNE 120 durchgeführt. Dabei wurde die Wassersäule an den Fallenlokationen WAST, CAST und EAST sowie an drei weiteren Lokationen beprobt. Die Proben wurden zur Konzentrationsbestimmung der Isotope ^{228}Th , ^{230}Th , ^{232}Th , ^{234}Th , ^{231}Pa , ^{210}Pb und ^{210}Po gewonnen. In Zusammenarbeit mit Teilprojekt 10 wurden in-situ-Pumpen eingesetzt, um die partikulär gebundenen Nuklidkonzentrationen zu ermitteln. An den Fallenlokationen wurden außerdem Multicorerproben genommen.

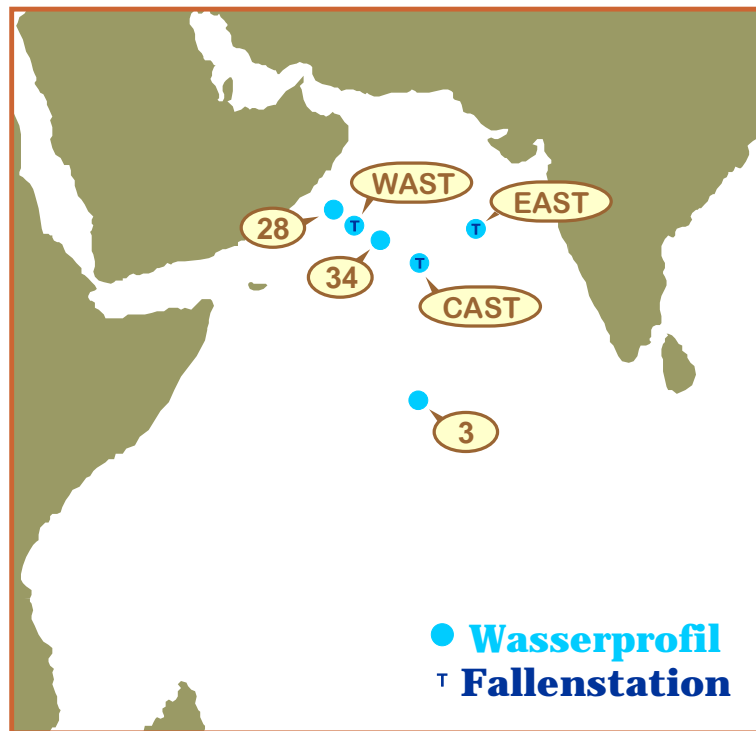


Abb. 1: Lokationen an denen die Wassersäule beprobt wurde.

Die alphaspektrometrischen Messungen (an Oberflächensedimenten und Sinkstoffallenmaterial) erfolgten in Kiel. Die Wasserproben (partikulär und gelöst) wurden in Kiel aufbereitet und in Heidelberg am Thermionenmassenspektrometer gemessen.

Die meßmethodischen Arbeiten zur ^{231}Pa -Bestimmung an der HR-ICP-MS in Kiel konnten weitergeführt werden. Diese Arbeiten sollen zu einer Methode führen, mit der Pa-, Th- und U-Isotope simultan an geologischen Proben bestimmt werden können.

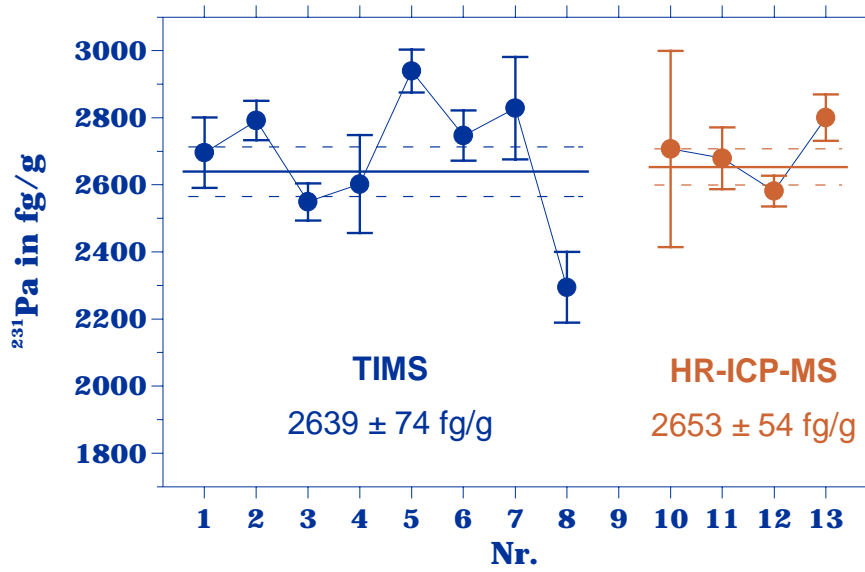


Abb. 2: Vergleich der ^{231}Pa -Standard-Eichmessungen durchgeführt mit TIMS bzw. HR-ICP-MS; Probengröße jeweils ca. 0.05dpm ^{231}Pa .

4 Ergebnisse

4.1 Nuklidverteilung in der Wassersäule

Zur Fangeffizienzberechnung muß zuerst die Verteilung des betreffenden Nuklides in der Wassersäule bestimmt werden. Hieraus kann der zu erwartende vertikale Fluß abgeschätzt werden, der dann der Messung am Fallenmaterial gegenübergestellt wird.

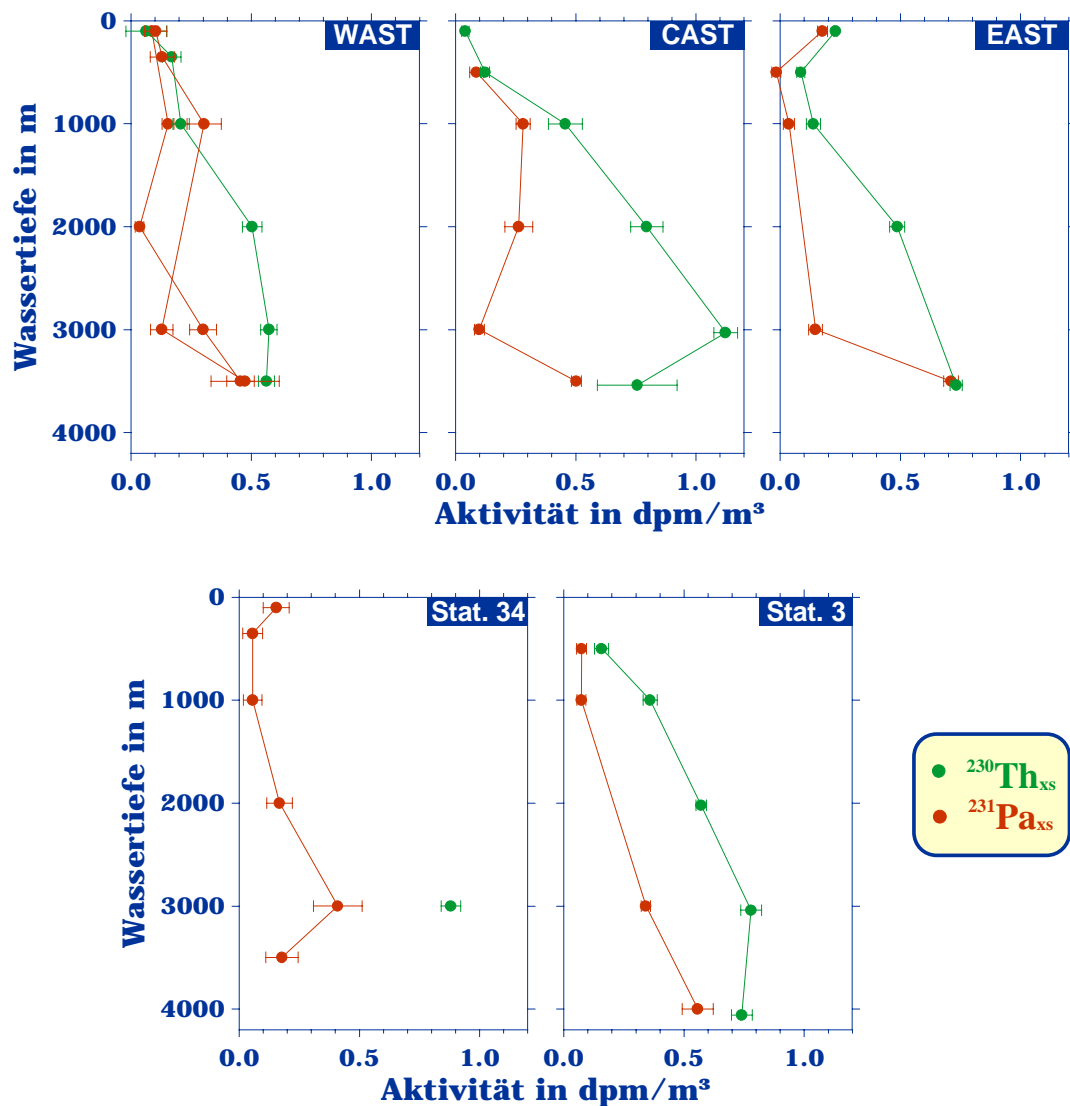


Abb. 3: Konzentration von ^{230}Th und ^{231}Pa in der Wassersäule.

Die gemessenen Thoriumprofile zeigen den auch aus anderen Gebieten bekannten typischen linearen Anstieg der Konzentration mit der Wassertiefe, was auf Scavenging zurückzuführen ist. Zusätzlich ist aber die Thoriumverteilung im Arabischen Meer wesentlich durch Boundary

Scavenging geprägt. Aufgrund der Partikelflußgradienten, welche sich vom offenen Ozean zu den Upwellinggebieten an den Küsten des Arabischen Meeres aufbauen, kommt es zu einer unterschiedlich starken Verarmung der Wassersäule an ^{230}Th und ^{231}Pa . Durch „lateral mixing“ werden die Tracer in die Küstengebiete transportiert und dort abgelagert. Letzteres führt dann auch zu markanten Verteilungen in den Oberflächensedimenten (siehe 4.3).

Der Effekt des Boundary Scavenging spiegelt sich auch in den Verweilzeiten der Nuklide in der Wassersäule wider. Diese nehmen von CAST aus in Richtung beider Küsten kontinuierlich ab. Die Verweilzeiten liegen dabei für ^{230}Th (5...22a) und ^{231}Pa (70...110a) im typische Größenbereich der bisher auch für andere Gebiete publizierten Werte (Anderson et al. 1983, Rutgers vd Loeff & Berger 1993, Scholten et al. 1995).

Die erhöhten Oberflächenkonzentrationen beider Nuklide an EAST könnten auf hydrodynamische Effekte zurückzuführen sein. Dazu müßten dort Wassermassen aus tieferen Schichten an die Oberfläche gelangt sein.

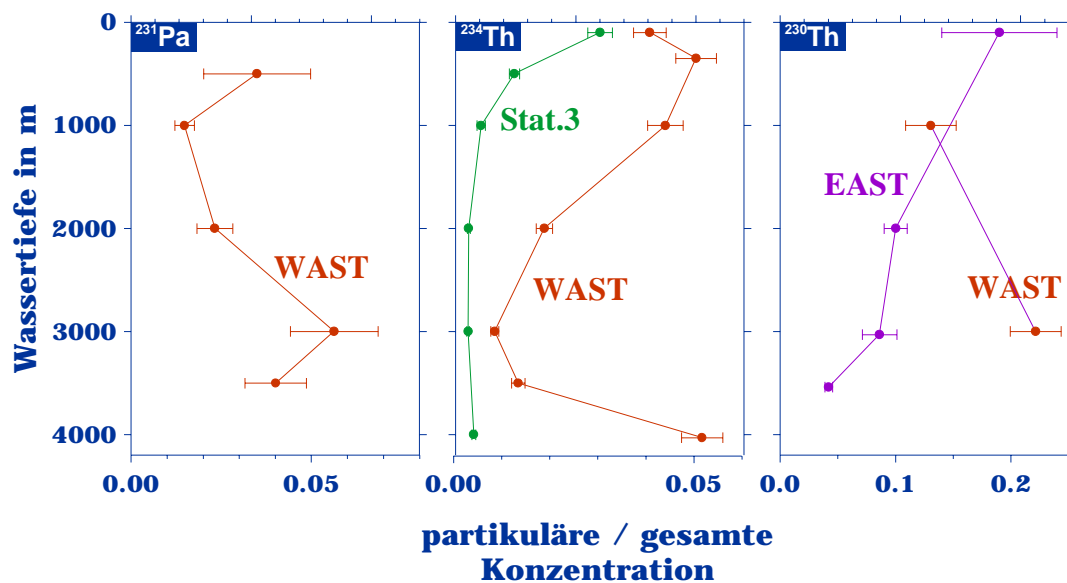


Abb. 4: Verhältnis von partikulärer zu gesamter Konzentration in der Wassersäule für ^{231}Pa , ^{234}Th und ^{230}Th .

Zur Modellierung des Tracertransportes sind die separate Messung von partikulärer und gelöster bzw. gesamter Konzentration erforderlich. Aufgrund seiner kurzen Halbwertzeit bei hoher Partikelreaktivität, ist die ^{234}Th -Verteilung am engsten an die Partikelkonzentration gekoppelt. Deutlich sieht man an den in Abb. 4 dargestellten Profilen den Unterschied

zwischen Stat. 3 und WAST, hohe partikuläre ^{234}Th -Konzentrationen und entsprechend hohe Partikelkonzentrationen an WAST gegenüber jeweils niedrigen Werten an Stat. 3. Dies entspricht wiederum gut dem bereits beschriebene Boundary Scavenging.

Das Verhältnis von partikulärer zur gesamten Konzentration ist für ^{230}Th und ^{231}Pa weniger direkt von den Partikelkonzentrationen abhängig. Die Verhältnisse entsprechen denen, die auch in anderen Regionen gefunden wurden (Moran et al. 1997, Vogler et al. 1998). Aus den zur Verfügung stehenden Daten wurden Parameter für den gängigen ^{230}Th -Scavenging-Modellansatz abgeschätzt. Diese ergaben sich wie folgt (Tab. 1) und stimmen ebenfalls gut mit den bereits publizierten überein (Rutgers vd Loeff & Berger 1993, Vogler et al. 1998).

Tab. 1: Scavenging-Modell-Parameter.

Parameter	diese Untersuchung	Literaturwerte
Aggregationsrate in a^{-1}	0.05 (Stat.3, Tiefenwasser) 0.25 (Stat. 3, oberflächennah) 0.15 (WAST, Tiefenwasser) 0.65 (WAST, oberflächennah)	0.2 ... 2.6
Disaggregationsrate in a^{-1}	2 ± 1	0.9 ... 2.7
Sinkgeschwindigkeit in m/a	740 ± 110 (aus ^{231}Pa an WAST) 650 ± 90 (aus ^{230}Th an WAST)	300 ... 1000

4.2 Radionuklidflüsse in Sinkstoffallen

In Abbildung 5 ist der Jahresgang im Partikel-, ^{230}Th -, ^{232}Th - und ^{228}Th -Fluß sowie das $^{230}\text{Th}/^{231}\text{Pa}$ -Verhältnis an der Fallenlokation WAST-Deep für die Jahre 1992 und 1995 dargestellt. Bedingt durch die höhere zeitliche Auflösung der Isotopenmessungen in der Falle WAST 95 (14 Tage pro Probe) zeigen die Flüsse eine höhere Variabilität als in der Falle WAST 92 (Auflösung pro Probe 26 Tage). Höhere Thorium-Flüsse zeigen sich während des SW-Monsuns in den Monaten August/September. Deutlich ist zu dieser Zeit der Anstieg der ^{232}Th -Flüsse, was auf einen verstärkten äolischen Eintrag zurückzuführen sein dürfte. Die $^{230}\text{Th}/^{231}\text{Pa}$ -Verhältnisse zeigen auch saisonale Unterschiede mit hohen Verhältnissen bei niedrigen Partikelflüssen und niedrigen Verhältnissen während der Monsunzeit.

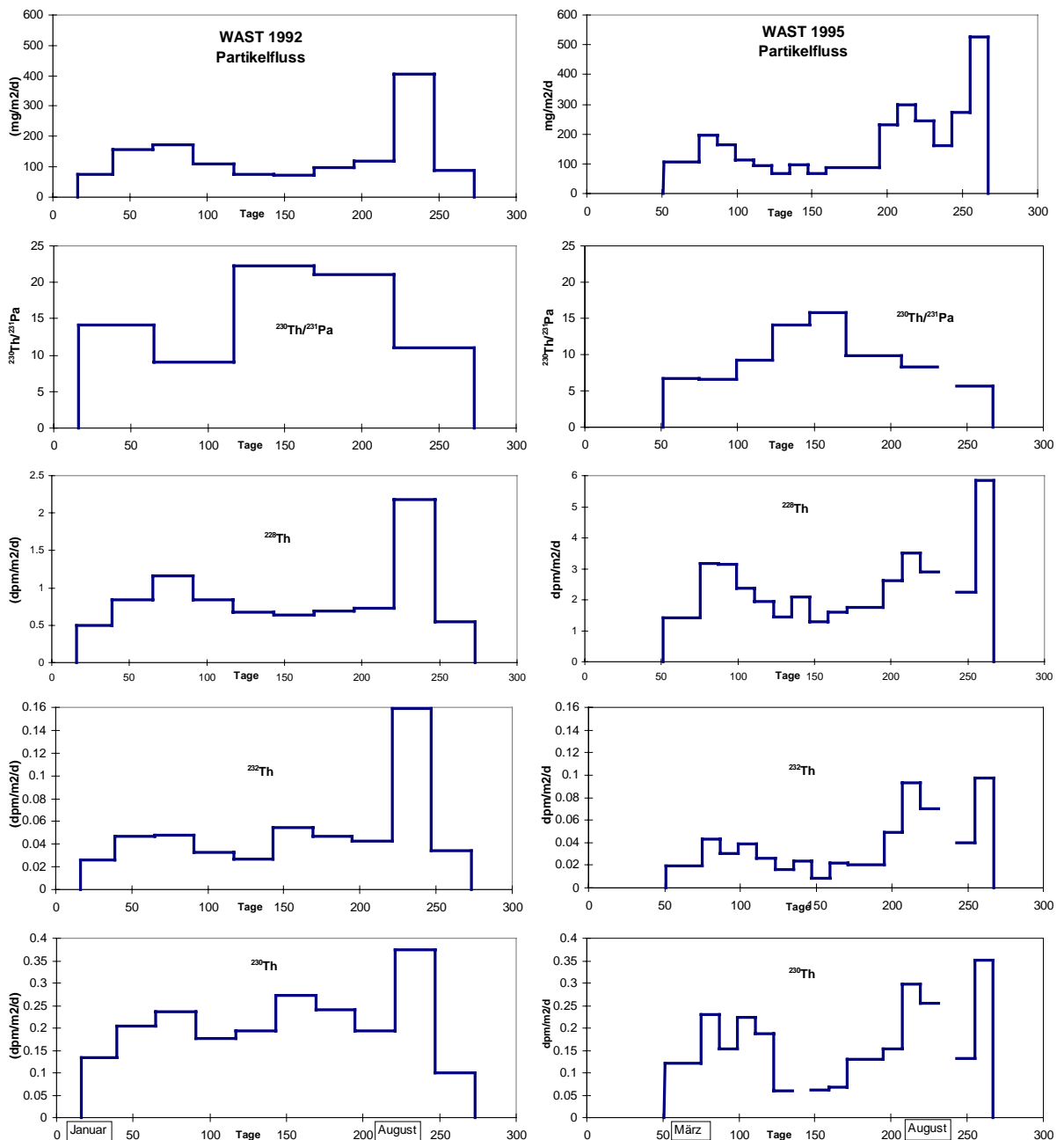


Abb. 5: Radionuklidflüsse und Partikelfluß der Sinkstoffallen WAST 8 und WAST 11. Deutlich ist der Einfluß des SW-Monsuns (August/September) auf die Radionuklidflüsse zu erkennen.

^{231}Pa ist weniger partikelreaktiv als ^{230}Th und reagiert daher stärker auf Variationen des Partikelflusses, d. h. mit Zunahme des Partikelflusses nimmt auch der ^{231}Pa -Fluß zu und das $^{230}\text{Th}/^{231}\text{Pa}$ -Verhältnis wird kleiner. Erstaunlich ist aber, daß sich diese Änderungen in dem $^{230}\text{Th}/^{231}\text{Pa}$ -Verhältnis schon im Zeitraum eines Jahresganges an der Station WAST bemerkbar machen. Vergleichbare Fallenuntersuchungen z. B. im Golf von Kalifornien (Lao et al., 1990) haben gezeigt, daß das $^{230}\text{Th}/^{231}\text{Pa}$ -Verhältnis nicht auf saisonale Änderungen im Partikelfluß reagiert. Dies wurde damit begründet, daß die Adsorptionszeiten von gelöstem

^{231}Pa bzw. ^{230}Th , d. h. die Verweilzeit dieser gelösten Isotope relativ zu ihrer Adsorption an Partikel im Bereich von 2 Jahren liegt.

Eine mögliche Ursache für saisonale Änderungen im $^{230}\text{Th}/^{231}\text{Pa}$ -Verhältnis könnte in einer unterschiedlichen Fraktionierung von ^{230}Th und ^{231}Pa liegen. So vermuten Walter et al. (1997), daß bei hohen Opalgehalten, Scavenging von ^{231}Pa relativ stärker ist im Vergleich zu ^{230}Th . Buesseler (1998) konnte für das Arabische Meer zeigen, daß während des SW-Monsun die hohen Partikel Flüsse aus der euphotischen Zone auf Diatomeenblüten zurückzuführen sind.

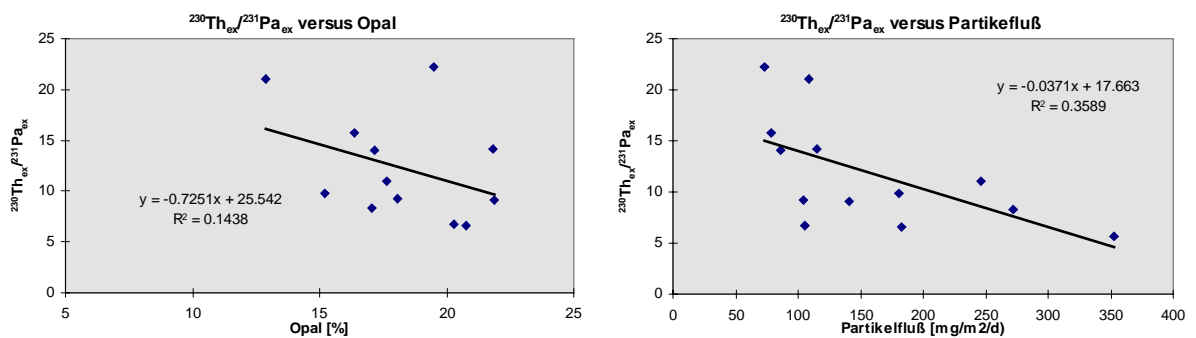


Abb.6.: Beziehung zwischen dem $^{230}\text{Th}/^{231}\text{Pa}$ -Verhältnissen und dem Opalgehalt bzw. dem Partikelfluß an der Fallenstation WAST.

Wie aus Abbildung 6 hervorgeht, ist eine eindeutige Korrelation zwischen dem $^{230}\text{Th}/^{231}\text{Pa}$ -Verhältnis und dem Opalgehalt in der Sedimentfalle WAST nicht zu erkennen. Auch eine Korrelation zwischen dem Partikelfluß und dem Isotopenverhältnis ist nicht offensichtlich, so daß die variablen $^{230}\text{Th}/^{231}\text{Pa}$ -Verhältnisse an der Station WAST bisher nicht erklärt werden können.

In Abb. 7 ist die spezifische Aktivität von ^{230}Th und ^{231}Pa in Beziehung zu dem Gehalt an C_{org} , CaCO_3 , Opal und terrigenem Material an der Station WAST dargestellt. Es zeigen sich keinerlei Korrelationen zwischen den Hauptkomponenten des Fallenmaterials und den Radioisotopenkonzentrationen. Dies ist ein Hinweis dafür, daß insbesondere der ^{230}Th -Fluß in die Sinkstofffallen nicht vom Fluß einzelner Komponenten abhängt, sondern allgemein vom Scavenging von ^{230}Th aus der Wassersäule.

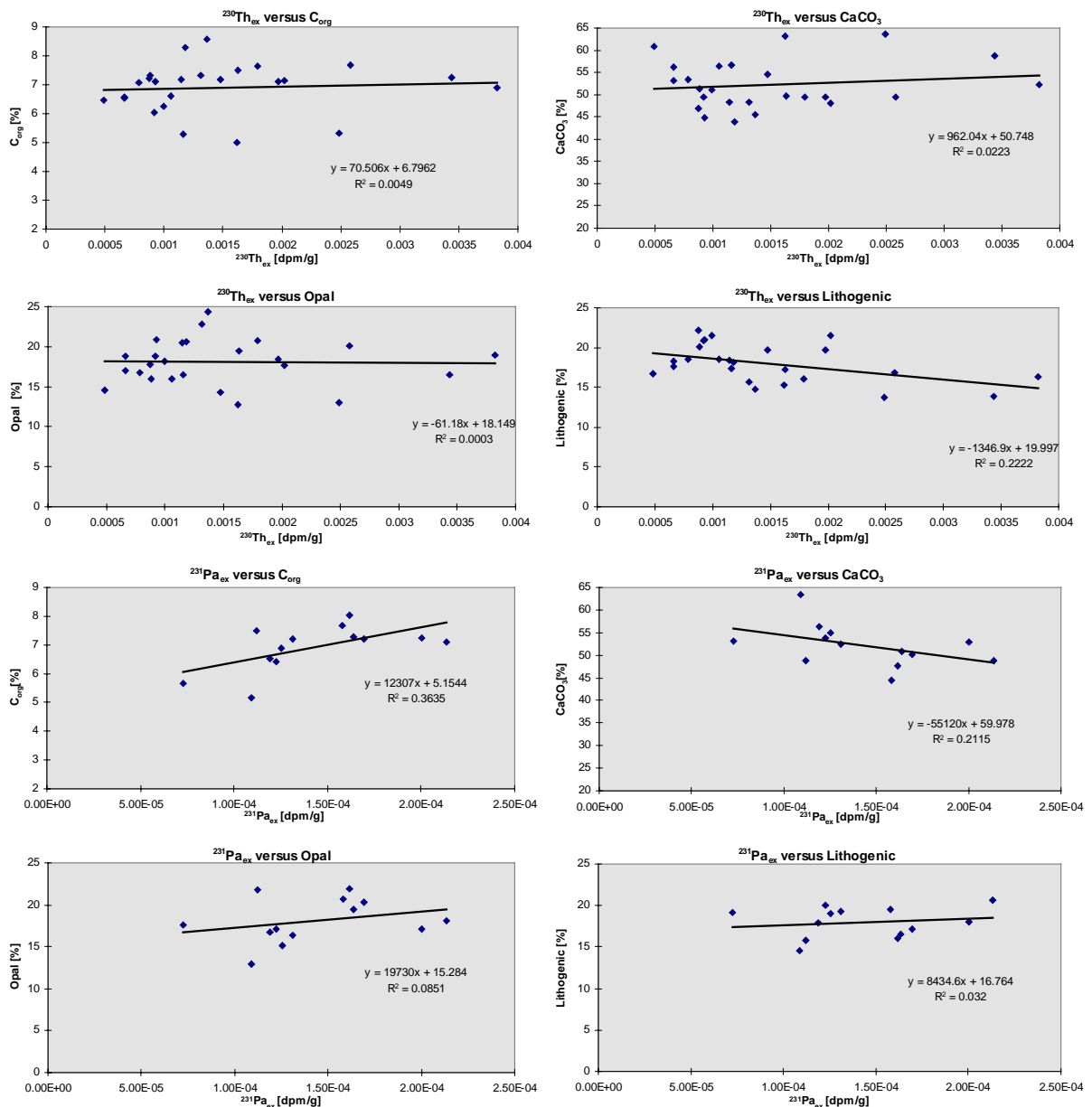


Abb. 7: Spezifische Aktivität von ^{230}Th und ^{231}Pa in Relation zu der Zusammensetzung des Fallenmaterials an der Station WAST. Eine Korrelation zwischen einzelnen Komponenten und den Radionukliden ist nicht festzustellen

4.3 Fangeffizienz der Sinkstoffallen

Ein wesentliches Ziel des Projektes ist es, die Fangeffizienzen der im Arabischen Meer verankerten Sinkstoffallen abzuleiten. Die Berechnung der Fangeffizienz von Sinkstoffallen beruht auf einer Massenbilanz von ^{230}Th . Hierbei werden der Produktionsrate von ^{230}Th in der Wassersäule diejenigen Prozesse gegenübergestellt, die ^{230}Th aus der Wassersäule entfernen

(partikulären vertikalen und diffusiven lateralen Abtransport). Die Fangeffizienz (E) ergibt sich aus:

$$E = \frac{F_a}{V} = \frac{F_a}{P - H} \quad (1)$$

mit F_a = durchschnittlich gemessener Fluß in die Sinkstoffalle; V = vertikaler ^{230}Th -Fluß; P = Produktionsrate von ^{230}Th in der Wassersäule ($0.0739 \text{ dpm/m}^2/\text{d} * z$; z = Wassertiefe); H = horizontaler ^{230}Th Fluß. Der Umfang des horizontalen Transportes (z. B. durch Boundary Scavenging) läßt sich mit Hilfe einer Massenbilanz von ^{230}Th und ^{231}Pa ableiten (Bacon et al, 1985):

$$\begin{aligned} H_{\text{Th}} + V_{\text{Th}} &= P \\ H_{\text{Pa}} + V_{\text{Pa}} &= P \\ H_{\text{Th}} &= R_H * H_{\text{Pa}} \\ V_{\text{Th}} &= R_V * V_{\text{Pa}} \end{aligned} \quad (2)$$

mit H = horizontaler Fluß von $\text{Th}(^{230}\text{Th})$ und $\text{Pa}(^{231}\text{Pa})$; V = vertikaler Fluß von Th und Pa ; P = Produktionsrate von ^{230}Th und ^{231}Pa in der Wassersäule; $R_V = ^{230}\text{Th}_{\text{ex}} / ^{231}\text{Pa}_{\text{ex}}$ -Verhältnis in den Sinkstoffallen; $R_H = ^{230}\text{Th}_{\text{ex}} / ^{231}\text{Pa}_{\text{ex}}$ -Verhältnis im Meerwasser.

Die Vertrauenswürdigkeit der ^{230}Th -Bilanz und damit die Güte der abgeleiteten Fangeffizienz beruht im wesentlichen darauf, wie gut man zum einen die Verteilung von ^{230}Th und ^{231}Pa in der Wassersäule beschreiben kann. Dies kann durch z.B. schnelle Tiefenwasserzirkulation erschwert werden (Vogler et al., in press). Zum anderen sind möglichst lange ^{230}Th -Flußmessungen in Sinkstoffallen notwendig. Bacon et al. (1985) und auch die hier untersuchten Fallen (Abb. 6) zeigten saisonale Schwankungen im ^{230}Th -Fluß. Somit ist das Verhältnis von in den Fallen gemessenem ^{230}Th -Fluß (F_a) zum aus der ^{230}Th Produktion in der Wassersäule (F_p) zu erwartenden Fluß nicht konstant und stark abhängig vom Beobachtungszeitraum. Wie Untersuchungen im Atlantik gezeigt haben kann das F_a/F_p -Verhältnis in einer Falle bis zu einem Faktor von 2 schwanken, je nachdem ob man z. B. ein Beobachtungszeitraum von ca. 200 oder 300 Tagen zugrunde legt (Scholten et al., 1997). Vergleicht man hingegen das F_a/F_p -Verhältnis einer Falle zwischen verschiedenen Jahren (aber gleiche Lokation und Wassertiefe) mit Beobachtungszeiträumen > 300 Tagen, so sind die interannuellen Unterschiede im F_a/F_p -Verhältnis $< 10\%$ (Scholten et. al, 1997).

Tab. 2: Untersuchte Sinkstofffallen und abgeleitete Fangeffizienzen. Fa/Fp ist das Verhältnis von gemessenem ^{230}Th (Fa) zum aus der Produktion von ^{230}Th zu erwartenden Fluß (Fp).

Lokation	Jahr der Exposition	Tiefe m	Exposition Tage	$^{230}\text{Th}/^{231}\text{Pa}$	Fa/Fp	Fangeffizienz %
NAST DEEP	1995	2465	47		0,39	
EAST						
Shallow	1986	1705	162	10,6	0,92	92
Deep	1986	2772	162	18,2	1,09	114
CAST						
Shallow	1995	1000	200		1,06	110
Shallow	1986	1028	169	14,2	0,66	69
Deep	1995	2870	19		2,21	
Deep	1986	2900	169	13,9	0,92	103
WAST						
Shallow	1986	1085	162	9,9	0,85	84
Deep	1995	3246	192	9,5	0,70	68
Deep	1992	3030	257	7,6	0,98	90
Deep	1986	3030	162	12,8	0,90	93

Unterschiede im Fa/Fp-Verhältnis in Abhängigkeit vom Expositionszeitraum konnten auch in den Sinkstofffallen aus dem Arabischen Meer festgestellt werden (Tab. 2). So beträgt das Fa/Fp-Verhältnis der Falle CAST Shallow bei einem Expositionszeitraum von 169 Tagen (1986) 0,66, bei einem Expositionszeitraum von 200 Tagen (1995) ist das Verhältnis 1,06. Dementsprechend unterscheiden sich die Fangeffizienzen um fast 50% (Tab. 2; Abb. 8).

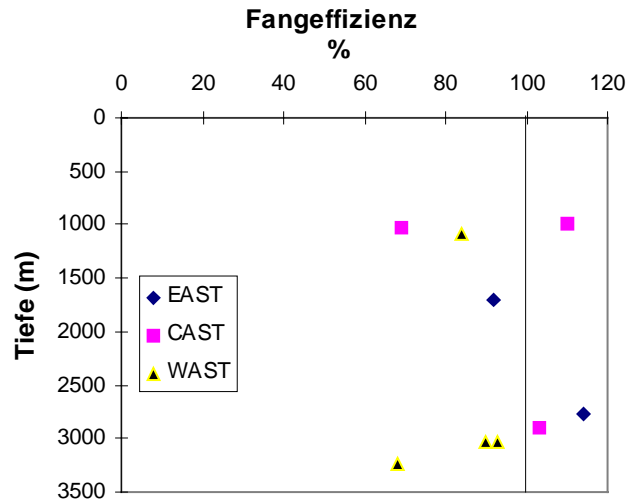


Abb. 8. Fangeffizienzen der untersuchten Sinkstofffallen im Arabischen Meer.

In Abbildung 8 sind die für die bisher untersuchten Fallen abgeleiteten Fangeffizienzen dargestellt. Da alle bisherigen ^{230}Th -Messungen in den Fallen auf Beobachtungszeiträumen < 300 Tage beruhen, sind die abgeleiteten Effizienzen mit hohen Unsicherheiten behaftet und ihre Bewertung ist daher noch nicht möglich (siehe Fortsetzungsantrag).

4.4 Bilanz zwischen Sinkstofffallen und Sedimenten

Die Bestimmung von ^{210}Pb und ^{230}Th in Sinkstofffallen und in Oberflächensedimenten erlaubt einen Vergleich zwischen Stoffflüssen in die Sinkstofffallen und die Sedimente um festzustellen, ob bodennaher lateraler Sedimenttransport einen Einfluß auf die Sedimentakkumulation im Arabischen Meer hat.

Diese Bilanzierung erfolgte über zwei Ansätze: Zum einen wurde der ^{210}Pb -Fluß in die Sinkstofffallen verglichen mit dem $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ -Inventar in den oberen Sedimentschichten (0 bis ca. 15cm Tiefe). Zum anderen wurden die ^{230}Th -Konzentrationen in den Sedimenten gemessen und mit Hilfe der Altersdatierungen von Sirocco et al. (1991) der ^{230}Th -Fluß bestimmt. Aus dem Vergleich zwischen diesem gemessenen Fluß (Fa) mit dem aus der Produktion von ^{230}Th in der Wassersäule zu erwartenden Fluß (Fp) ergibt sich eine ^{230}Th -Bilanz. Eine solche ^{230}Th -Bilanz wurde auch für die Sinkstofffallen erstellt (siehe Tab. 3). Stimmen die Fa/Fp-Verhältnisse in den Fallen mit denen im Sediment überein, so ist davon auszugehen, daß

lateral Sedimenttransport (Sedimentfokussierung und/oder Erosion) keine wesentliche Rolle bei der Sedimentakkumulation spielt und der vertikale Partikelfluß quantitativ im Sediment akkumuliert. Gleiches gilt bei Übereinstimmung von ^{210}Pb -Inventar in den Sinkstoffallen mit dem ^{210}Pb -Inventar der Sedimente.

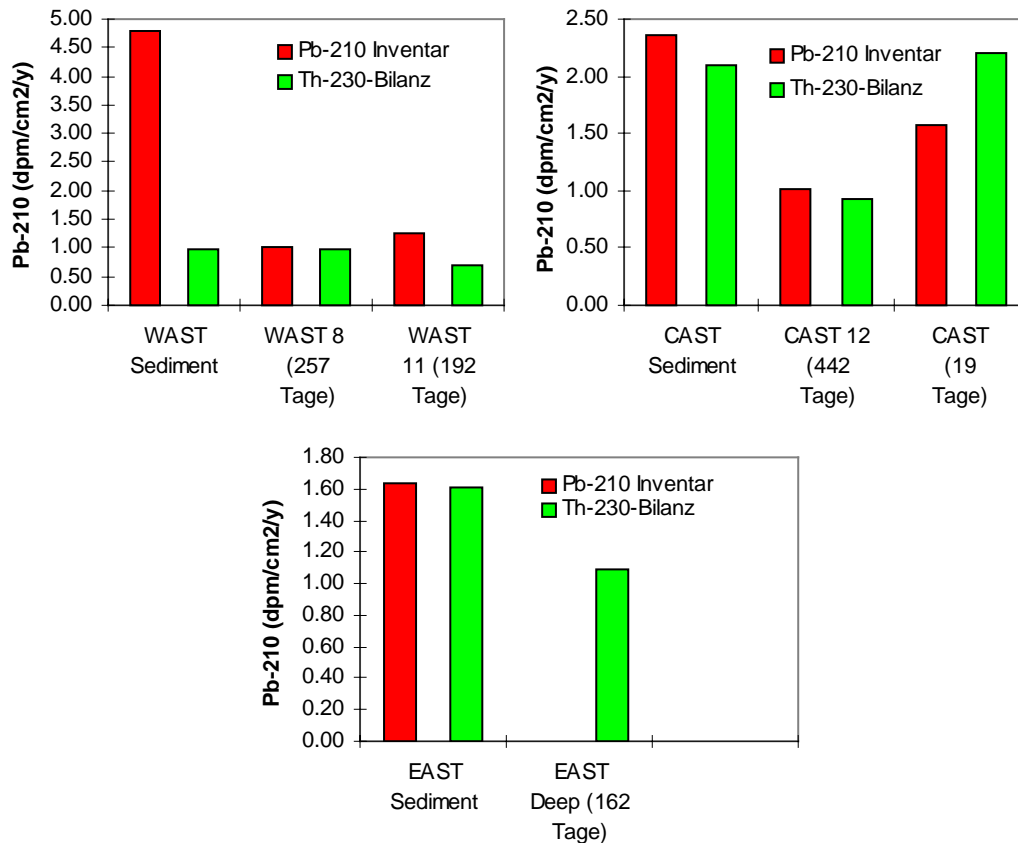


Abb. 9: Bilanzierung zwischen tiefen Sinkstoffallen und Oberflächensedimenten anhand des ^{210}Pb -Inventars und der ^{230}Th -Bilanz (Erläuterungen siehe Text).

Wie die Abbildung 9 zeigt, stimmt an der Station WAST die ^{230}Th -Bilanz in den Sedimenten mit der in den Fallen (WAST 8, 11) überein. Das ^{210}Pb -Inventar in den Sedimenten ist jedoch um ca. einen Faktor 4 höher als in den Fallen. Dieser Unterschied zwischen ^{230}Th -Bilanz und ^{210}Pb -Inventar ist möglicherweise auf unterschiedliche Zeitskalen zurückzuführen. Die ^{230}Th -Bilanz der Sedimente beruht auf einer Mittlung des ^{230}Th -Flusses über ca. 8000 Jahre. Das ^{210}Pb -Inventar der Sedimente ist ein Durchschnittswert über die letzten ca. 100 Jahre. Hingegen basiert das ^{210}Pb -Inventar und die ^{230}Th -Bilanz der Fallen nur auf einem Zeitraum von maximal 257 Tagen.

An der Station CAST zeigt sowohl das ^{210}Pb -Inventar als auch die ^{230}Th -Bilanz im Sediment eine um ca. Faktor 2 höhere Akkumulation im Vergleich zu den Sinkstofffallen (CAST 12, CAST) an. Auch für die Station EAST ist anhand der ^{230}Th -Bilanz eine leicht höhere Akkumulationsrate der Sedimente relativ zu der Sinkstofffalle zu erkennen.

4.5 Lateraler Sedimenttransport und Boundary Scavenging

Um den Umfang von lateralem Sedimenttransport im Arabischen Meer zu untersuchen, wurde der ^{230}Th -Fluß für die Oberflächensedimente (Abb. 10) bestimmt, für die Sedimentationsraten bekannt waren (Sirocko et al., 1991).

Es lassen sich drei Gebiete unterscheiden (Abb. 11): im nördlichen Arabischen Meer in der Nähe der Kontinente liegen die Fa/Fp-Verhältnisse > 2 . Dies dürfte auf den lateralen Sedimenteintrag aus dem Schelfbereich zurückzuführen sein. Im zentralen Arabischen Meer liegen die Verhältnisse zwischen 1 und 2, ein Hinweis dafür, daß die pelagische Sedimentation hier verhältnismäßig wenig von lateralem Sedimenttransport beeinflusst wurde. Hohe Fa/Fp-Verhältnisse finden sich im südwestlichen Teil des Arabischen Meeres (Abb. 11).

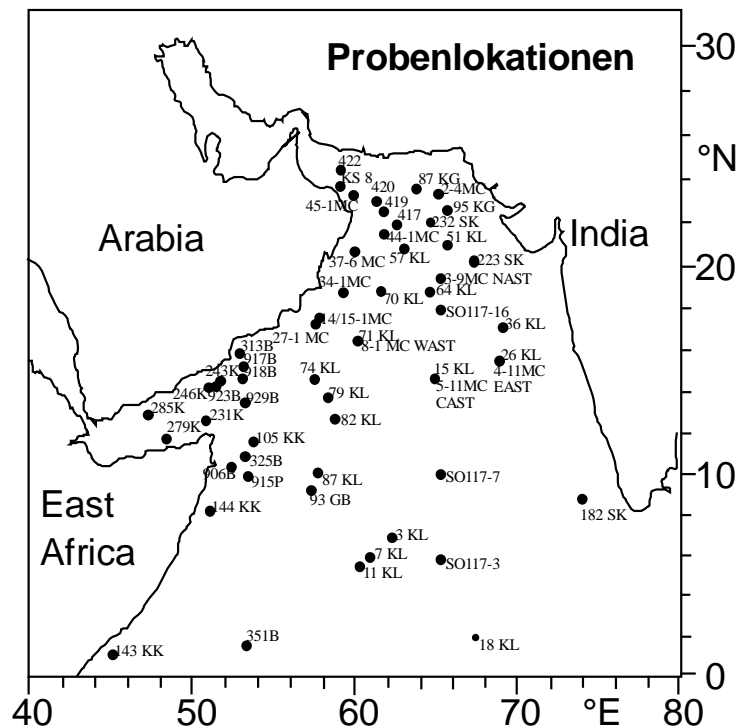


Abb. 10: Lokationen der zur Verfügung stehenden Oberflächensedimentproben

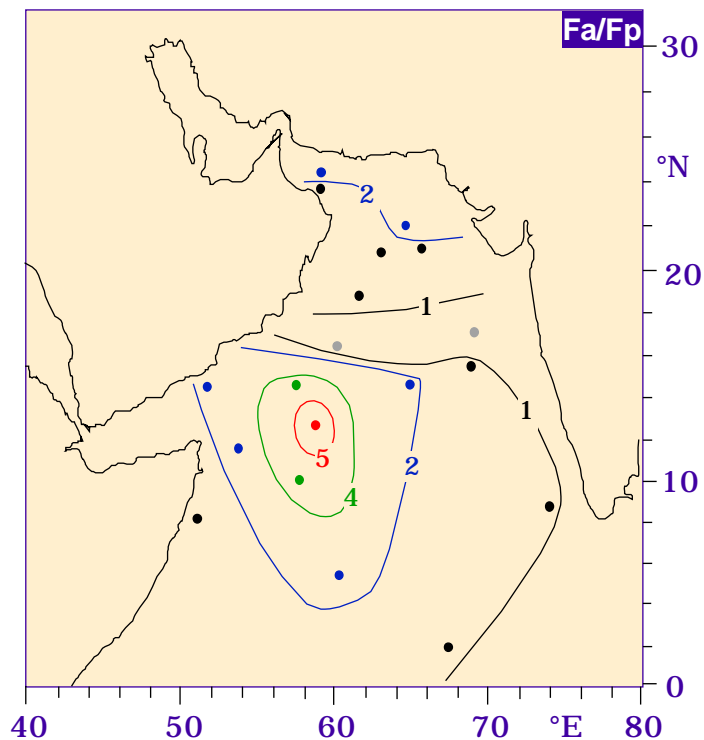


Abb. 11: Verhältnis von gemessenem ^{230}Th -Fluß (Fa) zum zu erwartenden ^{230}Th -Fluß (Fp) in den Oberflächensedimenten. Verhältnisse >1 deuten auf lateralen Sedimenttransport (Fokussierung) hin.

Als Ursache kommt zum einen antarktisches Bodenwasser in Frage, das vom Äquator kommend nach Norden fließt und nach der Passage des Carlsberg-Rückens einen Teil seiner Sedimentfracht ablagert. Zum anderen ist eine laterale Sedimentzufuhr aus dem Bereich der Oman Bruchzone denkbar. Ein Boundary Scavenging Effekt, d. h. ein lateraler advektiver Transport von Stoffen in der Wassersäule, der durch höheren Partikelfluß im Bereich der Kontinentalränder als im offenen Ozean zustandekommt, läßt sich aufgrund der Verteilung der $^{230}\text{Th}/^{231}\text{Pa}$ -Verhältnisse in Oberflächensedimenten nachweisen. Das $^{230}\text{Th}/^{231}\text{Pa}$ -Produktionsverhältnis liegt im Ozean bei 10,8. Bei Verhältnissen $< 10,8$ in Oberflächensedimenten ist von einer advektiven Zufuhr, bei Verhältnissen $> 10,8$ von einem Export von ^{231}Pa relativ zu ^{230}Th auszugehen.

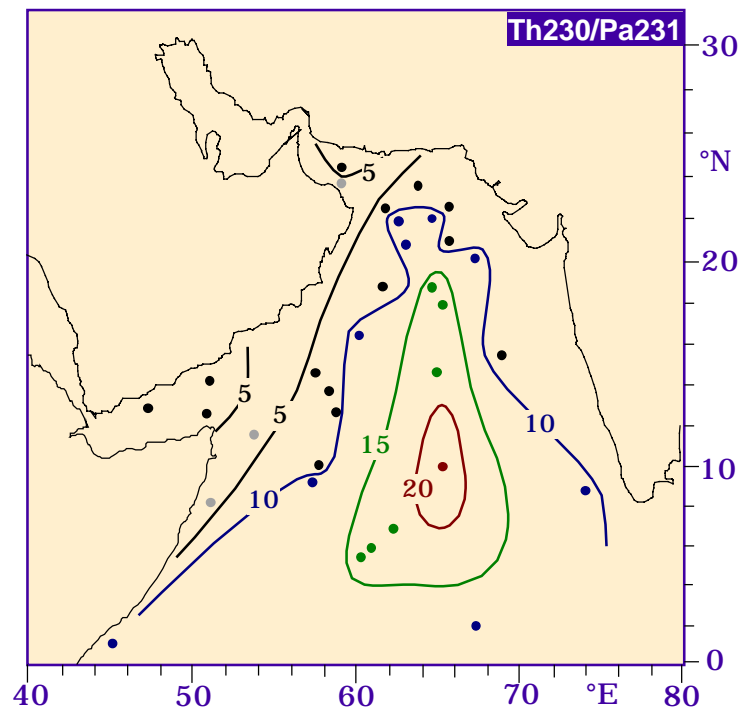


Abb. 12: $^{230}\text{Th}/^{231}\text{Pa}$ -Verhältnisse in den Oberflächensedimenten des Arabischen Meeres. Die Unterschiede in den Verhältnissen zwischen dem zentralen Arabischen Meer und denen an den Kontinentalrändern deuten auf Boundary Scavenging hin.

Wie die Messungen der Isotope in den Oberflächensedimenten zeigen, liegt im zentralen Arabischen Meer das Verhältnis bei 20 und nimmt zu den Kontinentalrändern hin auf Verhältnisse < 10 ab. Diese Verteilung deutet auf einen diffusiven Stofftransport (Boundary-Scavenging) vom pelagischen Ozean zu den Gebieten mit hohen Partikelflüssen hin. Die Verteilung der Isotopenverhältnisse macht auch deutlich, daß die kleinsten $^{230}\text{Th}/^{231}\text{Pa}$ -Verhältnisse in den Gebieten des Arabischen Meeres auftreten, in denen der ozeanische Auftrieb zu einer starken Bioproduktivität führt.

5. Relevanz der Ergebnisse für JGOFS Ziele

Die bisherigen Ergebnisse erlauben eine bessere Quantifizierung des vertikalen Partikeltransportes aus der euphotischen Zone zum Meeresboden. Sie lassen auch Rückschlüsse zu auf die Bedeutung der Partikelzusammensetzung für Scavenging und den Einfluß von Boundary Scavenging auf den Stofftransport. Auch eine erste Bilanzierung

zwischen vertikalem Partikelfluß in der Wassersäule und der Sedimentakkumulation ist aufgrund der bisher vorliegenden Daten möglich. Diese ersten Ergebnisse erlauben ein besseres Verständnis für die Prozesse, die den Stofftransport im Arabischen Meer kontrollieren.

6. Ausblick

Ein wesentliches Ziel des vorliegenden Projektes ist die Berechnung der Fangeffizienzen der Sinkstofffallen. Wie im Kapitel 4.5 dargestellt, ist eine vertrauenswürdige Ableitung der Fangeffizienzen nur möglich, wenn mindestens ein vollständiger Jahresgang der jeweiligen Verankerungen zur Bearbeitung vorliegt. Abgesehen von der Falle CAST 12 Deep (sie ist zur Zeit in Bearbeitung) ist dies für keine Verankerung aus dem Arabischen Meer bisher der Fall. Insbesondere von den Sinkstofffallen in geringen Wassertiefen konnten wegen Ausfall der Fallen o. ä. kaum Daten erhoben werden.

Wesentlich für das Gelingen des Projektes ist daher eine Fortführung der Radionuklidmessungen an Fallenmaterial, das im Frühjahr dieses Jahres aus dem Arabischen Meer gewonnen werden soll. An den Station EAST und WEST sollen noch einige Wasserproben auf ^{230}Th und ^{231}Pa hin bestimmt werden, um die bisher gemessenen Profile zu verifizieren bzw. verständlich zu machen.

In letzter Zeit wird als eine mögliche Ursache von geringen Fangeffizienzen von Sinkstofffallen diskutiert, ob die Fallen insbesondere die großen Flocken, wie sie während einer Blüte vermehrt auftreten, nicht fangen. Vergleichbare Flocken wurden während der SO119 Ausfahrt als "Fluffy layer" an der Sedimentoberfläche beprobt. Durch einen Vergleich von Radionuklidverhältnissen in den Flocken mit denen in den Sinkstofffallen soll dieser Frage nachgegangen werden.

7. Literaturhinweise

- ANDERSON, R. F. & A. P. FLEER (1982): Determination of natural actinides and plutonium in marine particulate matter.- *Anal. Chem.*, 54: 1142-1147.
- ANDERSON R.F., M.P. BACON, and P.G. BREWER. (1983) Removal of ^{230}Th and ^{231}Pa at ocean margins. *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 66, 73-90.
- BAKER, E. T.; H. B. MILBURN & D. A. TENNANT (1988): Field assessment of sediment trap efficiency under varying flow conditions.- *J. Mar. Res.*, 46: 573-592.
- BACON, M. P. (1996): Evaluation of sediment traps with naturally occurring radionuclides.- In V. Ittekkot; P. Schäfer, S. Honjo & P. J. Depetris, *Particle Flux in the ocean*, J. Wiley & Sons, 85-90.
- BACON M. P., J. K. COCHRAN, D. HIRSCHBERG, T. R. HAMMAR and A. P. FLEER (1996) Export flux of carbon at the equator during the EqPac time-series cruises estimated from ^{234}Th . *Deep-Sea Res.*, 43, 1133-1153.
- BACON M. P., C.-A. HUH; A. P. FLEER and W. G. DEUSER (1985) Seasonality in the flux of natural radionuclides and plutonium in the deep Sargasso Sea.- *Deep-Sea Res.*, 32, 273-286.
- BUESSELER K. O., J. A. ANDREWS, M. C. HARTMANN, R. BELASTOCK and F. CHAI (1995) Regional estimates of the export flux of particulate organic carbon derived from thorium 234 during JGOFS EqPac program. *Deep-Sea Res.*, 42, 777-804.
- BUESSELER, K. O (1991): Do upper ocean sediment traps provide an accurate record of the particle flux? *Nature.*, vol. 353:420-423.
- LAO, Y.; R.F. ANDERSON; W. S. BROECKER; H. J. HOFMANN & W. WOLFLI (1993): Particulate fluxes of ^{230}Th , ^{231}Pa , and ^{10}Be in the northeastern Pacific Ocean.- *Geochem. Cosmochem. Acta.*, vol. 57: 205-217.
- GARDENER, W. D. (1996) Sediment trap technology and sampling in surface waters, Report Texas A&M University, College Station.
- GUST G., R. H. BYRNE, R. E. BERNSTEIN, P. R. BETZER, and W. BOWLES (1992) Particle flux and moving fluids: experience from synchronus trap collections in the Sragasso Sea. *Deep-Sea Res.*, 39, 1071-1083.
- GUST, G.; R. H. BYRNE, R. E. BERNSTEIN, P. R. BETZER & W. BOWLES (1994): Mooring line motions and sediment trap hydromechanics: in situ intercomparison of three common deployment designs.- *Deep-Sea Res.*, 39: 1071-1083.
- MORAN S. B., M. A. CHARETTE, J. A. HOFF, R. L. EDWARDS and W. M. LANDING (1997) Distribution of ^{230}Th in the Labrador Sea and its relation to ventilation. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 150, 151-160.
- RUTGERS VAN DER LOEFF M. M., and G. W. BERGER (1993) Scavenging of ^{230}Th and ^{231}Pa near the Antarctic Polar Front in the South Atlantic. *Deep-Sea Res.*, 40, 339-357.
- SCHOLTEN J.C., M.M. RUTGERS VAN DER LOEFF, and A. MICHEL (1995) Distribution of ^{230}Th and ^{231}Pa in the water column in relation to the ventilation of the deep Arctic basins. *Deep-Sea Res.*, 42, 1519-1531.
- SCHOLTEN, J. C.; S. VOGLER, A. MANGINI, M. RUTGERSVD. LOEFF & P. STOFFERS (1997): Trapping efficiency of sediment traps from the deep North Atlantic: the ^{230}Th calibration.-EUG 9, Strasbourg, 600.

- SIROCKO, F (1989): Zur Akkumulation von Staubsedimenten im nördlichen Indischen Ozean; Anzeiger der Klimageschichte Arabiens und Indiens. Berichte Geolog.-Paläont. Inst. Uni. Kiel, 185 S.
- VOGLER, S; J. C. SCHOLTEN; M. RUTGERS VD. LOEFF & A. MANGINI: ^{230}Th in the eastern North Atlantic: the importance of water mass ventilation in the balance of ^{230}Th . Earth Planet. Sci. Lett., in press.
- WALTER H. J., M. M. RUTGERS VAN DER LOEFF and R. FRANCOIS (in press) Reliability of the $^{231}\text{Pa}/^{230}\text{Th}$ activity ratios as a tracer for bioproductivity of the ocean, in: G. Fischer and G. Wefer (eds.), Proxies in Paleoceanography - examples from the South Atlantic