



**INTERNATIONALE KOMMISSION ZUM SCHUTZE DES RHEINS
COMMISSION INTERNATIONALE POUR LA PROTECTION DU RHIN**

**Integrierte Bestandsaufnahme der aktuellen Qualität der Teilbereiche
Wasser, Schwebstoff/Sediment und Organismen Im Rhein**

**Integrierte Bestandsaufnahme der aktuellen Qualität
der Teilbereiche Wasser, Schwebstoff/Sediment
und Organismen im Rhein**

Orientierende Untersuchungen und Vorschläge für künftige Untersuchungen

INHALTSVERZEICHNIS

0	ZUSAMMENFASSUNG	5
1	EINLEITUNG	11
2	MESSPROGRAMME 1988	13
	2.1 Allgemeines	13
	2.2 Schwebstoff	15
	2.3 Wasser	17
	2.4 Sediment	17
	2.5 Organismen	18
	2.5.1 Dreikantmuscheln	19
	2.5.2 Aquatische Moose	20
3	UNTERSUCHUNGSMETHODEN	21
	3.1 Allgemeines	21
	3.2 Vergleiche der Teilbereiche	22
	3.3 Berechnungen	25
4	ERGEBNISSE	29
	4.1 Erläuterung der Abbildungen	29
	4.2 Cadmium	30
	4.3 Quecksilber	31
	4.4 Blei	32
	4.5 Zink	33
	4.6 Chrom	33
	4.7 Kupfer	34
	4.8 Nickel	35
	4.9 Arsen	36
	4.10 Lindan (γ -HCH)	36

4.11	Hexachlorbenzol (HCB)	37
4.12	p,p'-DDE	37
4.13	PCB-28	38
4.14	PCB-138	39
4.15	Fluoranthen	39
4.16	Benzo(b)fluoranthen	40
5	DISKUSSION	41
5.1	Zusammenhang	41
5.2	Verhältnis Wasser - Schwebstoff	42
5.2.1	Allgemeines	42
5.2.2	Metalle	42
5.2.3	Organische Mikroverunreinigungen	47
5.3	Relation Schwebstoff - Sediment	49
5.4	Gehalte der Organismen und deren Verhältnis zu Wasser, Schwebstoff und Sediment	51
5.5	Repräsentativität der Schwebstoffproben	53
5.6	Empfehlungen für künftige Bestandsaufnahmen	56
6	SCHLUSSFOLGERUNGEN	61
	Quellenverzeichnis	67
	ABBILDUNGEN	69
	ANLAGE 1. Analysenergebnisse und Berechnungsergebnisse.	91

0 ZUSAMMENFASSUNG.

In den Arbeitsplan für die Durchführung des Aktionsprogramms Rhein, 1. Phase (8. Ministerkonferenz vom 1. Oktober 1987), ist eine Vertiefung der Kenntnisse über die Qualität des Wassers, der Lebensgemeinschaften, der Schwebstoffe und der Sedimente aufgenommen worden. Neben den ökologischen Forschungsprogrammen werden für die Vertiefung der Kenntnisse integrierte Bestandsaufnahmen der aktuellen Qualität der Teilbereiche Wasser, Schwebstoffe/Sedimente und Organismen für unentbehrlich gehalten.

Im Rahmen des APR hat die Untergruppe Ps der Internationalen Kommission zum Schutze des Rheins gegen Verunreinigungen (IKSR) 1988 Untersuchungen bezüglich der aktuellen Qualität der Teilbereiche Wasser, Schwebstoff, Sediment und Organismen im Rhein durchgeführt. In diesem Bericht werden die unterschiedlichen Ergebnisse, über die getrennt berichtet wurde, miteinander verglichen, mit den folgenden zwei Zielen:

1. Die Zusammenhänge zwischen den Gehalten der Schadstoffe im Wasser und denen im Schwebstoff, Sediment und Organismen im Rhein zu analysieren.
2. Aufgrund der Ergebnisse und Zusammenhänge Empfehlungen zu geben für die weiteren Bestandsaufnahmen und für die Überwachung der Belastung des Rheins mit Schadstoffen.

Die Schwebstoffe wurden zwischen dem 4. und 8. Juli 1988 mit einer Durchflußzentrifuge gesammelt. Während der Schwebstoffprobenahme sind auch Wasserstichproben für die Bestimmung der gesamten und gelösten Schadstoffkonzentrationen und der Schwebstoffkonzentrationen entnommen worden. Die Sedimentproben wurden vom 13. bis 16. September 1988 gesammelt. Als Organismen verwendete man Dreikantmuscheln (*Deissena polymorpha*) und aquatische Moose (*Fontinalis antipyretica*). Die Dreikantmuscheln wurden in den Niederlanden im IJsselmeer in der Nähe der Afsluitdijk

gesammelt und danach den Rhein entlang ausgesetzt und nach einer Periode von 5 Wochen wieder eingesammelt. Die Moose wurden in Belgien in der Ourthe bei Nizamont gesammelt. Danach wurden die Moose ebenfalls den Rhein entlang ausgesetzt und nach 5 Wochen wieder eingesammelt.

Mehrere Laboratorien sind mit der Analyse der Proben betraut worden:

			Sediment	Schwebstoff	Wasser	Muscheln	Moose
E.A.W.A.G.	Dübendorf	(CH)		+			
IRH	Nancy	(F)	+	+			
BfG	Koblenz	(D)	+	+			
LWA	Düsseldorf	(D)	+	+			
D.B.W./RIZA	Lelystad	(NL)	+	+	+		
RIVO	Ijmuiden	(NL)				+	
TNO	Den Helder	(NL)				+	
Univ. Metz	Metz	(F)					+

Die in den Meßprogrammen betrachteten Schadstoffe sind nur die Stoffe, von denen bekannt ist, daß sie adsorbierende Eigenschaften haben, d.h. sie adsorbieren an Ton und/oder organischen Stoffen, und sie reichern sich in Organismen an.

Aus praktischen Erwägungen sind in diesem Bericht aus diesen Untersuchungen die wichtigsten Schwermetalle und einige organische Mikroverunreinigungen ausgewählt worden (siehe Tabelle 2.2).

In Tabellen 1 und 3 der Anlage 1 sind die nicht standardisierten Schadstoffgehalte aus den Schwebstoff- b.z.w. Sedimentuntersuchungen dokumentiert. Bei der Berechnung von Schadstofffrachten ist grundsätzlich von diesen Originaldaten auszugehen. Um ein Vergleich der Meßwerte aus Sediment und Schwebstoff durchzuführen ist es notwendig für organische Mikroverunreinigungen die Meßwerte zu standardisieren, d.h. daß die Gehalte der Verunreinigungen basiert werden auf Standardgehalten organischem Kohlenstoff. Durch diese Umrechnung sind die Zusammenhänge besser zu erkennen, insbesondere die Relation Schwebstoff - Sediment. Die Ergebnisse sind wie folgt:

Relation Wasser - Schwebstoff

Allgemein:

- Die Ergebnisse der einmaligen IKSR-Schwebstoffuntersuchung können, aufgrund eines Vergleichs mit Ergebnissen des niederländischen Überwachungsprogrammes für Lobith, als repräsentativ für das Jahr 1988 bei Lobith betrachtet werden.

Metalle:

- Die aus Gehalten im Schwebstoff berechnete gesamte Konzentration im Wasser weicht durchschnittlich 30 - 50 % von der gemessenen gesamten Konzentration ab (Nickel mehr als 100%).
- Die Ursache davon ist die Unzuverlässigkeit der Verteilungskoeffizienten. Diese Unzuverlässigkeit wird teils durch die niedrige und damit nicht gut zu bestimmende gelöste Konzentration verursacht und teils durch die Methoden der Probenahmen.
- Es sollte versucht werden für die Metalle aufgrund mehrere Daten bessere Verteilungskoeffizienten festzustellen. Für die Metalle Cadmium, Quecksilber, Blei und Zink sind dabei niedrigere Bestimmungsgrenze notwendig.

Organische Mikroverunreinigungen:

- Für die organischen Mikroverunreinigungen ist es nicht möglich Verteilungskoeffizienten aus den Untersuchungen abzuleiten, weil die untersuchten Stoffe im Wasser in Konzentrationen vorlagen, die niedriger waren als die Detektionsgrenze.

Relation Schwebstoff - Sediment

- Für mehrere Stoffe (insbesondere alle Metalle) stimmen die Gehalte im Schwebstoff und im Sediment ziemlich gut überein, speziell bei den Probenahmeorten Seltz, Koblenz und Bimmen.
- Es gibt deshalb deutliche Hinweise, daß an diesen 3 Probenahmeorten die Sedimente aus rezent abgelagertem Material bestanden haben.
- Für die Lokation Lobith sind die Gehalt im Sediment im Vergleich mit Schwebstoff höher, vermutlich infolge Mischung mit älteren Sedimentschichten.
- Für die Lokationen im Oberrhein konnten Gehalte im Sediment und im Schwebstoff nicht miteinander verglichen werden, weil es zwischen den Schwebstoffprobenahmeorten und den Sedimentprobenahmeorten Einleitungen gibt.

Relation Wasser - Schwebstoff - Organismen

- Quecksilber, Blei und Chrom adsorbieren am besten an Schwebstoff;
- Cadmium und Kupfer adsorbieren ungefähr gleich gut an Schwebstoff und an Moosen;
- HCB, PCB-28 und PCB-138 reichern sich besser in Muscheln als in Schwebstoffen an.

Empfehlungen für zukünftige Bestandsaufnahmen

- Für Stoffe wie Metalle und organische Mikroverunreinigungen, die stark am Schwebstoff adsorbieren (Verteilungskoeffizient > 500 l/g oder $\log K_{ow} > 7.2$), bietet die Messung der Gehalte in Schwebstoffen, die mit einer Durchflußzentrifuge gesammelt wurden, eine zuverlässige Methode um die Qualität des Rheins im Laufe der Zeit zu verfolgen. Die gelösten Konzentrationen sind für diese Stoffe vernachlässigbar.
- Für Stoffe mit Verteilungskoeffizienten < 500 l/g sind die gelösten Konzentrationen nicht mehr vernachlässigbar. Eine Abschätzung der Wasserqualität ist wegen der großen Variation der Verteilungskoeffizienten mit den heutigen Ergebnisse noch nicht möglich, so daß die Bestimmung der Schwebstoffqualität und der Wasserqualität (wo möglich gesamte und gelöste Konzentrationen) notwendig wird.
- Bei Verteilungskoeffizienten < 1 l/g (oder $\log K_{ow} < 4.5$) sind die an Schwebstoff adsorbierten Gehalte vernachlässigbar im Vergleich zu den gelösten Konzentrationen. Für Stoffe mit solchen Verteilungskoeffizienten bietet die Messung der (gesamten) Konzentrationen in der Wasserphase eine zuverlässige Methode um die Qualität des Rheins im Laufe der Zeit zu verfolgen.
- Zusammengefaßt:
 - * Verteilungskoeffizient > 500 l/g oder $\log K_{ow} > 7.2$:
Bestimmung der Schwebstoffqualität;
 - * 1 l/g $<$ Verteilungskoeffizient < 500 l/g oder $4.5 < \log K_{ow} < 7.2$:
Bestimmung der Schwebstoffqualität und der Wasserqualität
(wenn möglich gesamte und gelöste Konzentrationen);
 - * Verteilungskoeffizient < 1 l/g oder $\log K_{ow} < 4.5$:
Bestimmung der Wasserqualität.

- Für die ganze Gruppe der prioritären Stoffen der IKSR die für Überwachung oder momentane Bestandsaufnahmen in Betracht kommen, kann damit die folgende Einteilung gemacht werden:

	Wasser	Schwebstoff		Wasser	Schwebstoff
Phosphate	+	+	PCBs		+
Ammonium	+		Drins		+
Cadmium	+	+	Endosulfan	+	
Chrom	+	+	Hexachlorbutadien	+	
Kupfer	+	+	Pentachlorofenol	+	(+)
Quecksilber	+	+	Chloraniline	+	
Blei	(+)	+	Azinfos-methyl	+	
Nickel	+	+	Parathion	+	
Zink	+	+	Parathion(-methyl)	+	
Benzol	+		Fenthion	+	
1,1,1-trichlorethan	+		Bentazon	+	
1,2-dichlorethan	+		Dibutylzinnverbindungen	+	+
Tetrachlorethan	+		Tributylzinnverbindungen	+	+
Tetrachlormethan	+		Tetrabutylzinnverbindungen	+	+
Trichlorethan	+		Atrazin	+	
Trichlormethan	+		Simazin	+	
Trichlorbenzol	+	+	Chlornitrobenzol	+	
HCB		+	Trifluralin	+	

- Es ist zur Zeit nicht gut möglich, nur den Teilbereich zu betrachten, wo die Akkumulation am größten ist, wenn diese Daten angewendet werden, um die Qualität in anderen Teilbereichen abzuschätzen. Die Unzuverlässigkeit der Verteilungskoeffizienten ist dafür zu groß. In diesem Fall wird es notwendig bleiben, die Qualität im Wasser und Schwebstoff festzustellen. Vielleicht ist es möglich, aus diesen neuen Daten bessere Verteilungskoeffizienten abzuleiten.
- Die Messungen in Organismen (Moosen oder Muscheln) bieten zur Überwachung der Gehalte an Verunreinigungen entlang des Rheins keine bessere Methode als die Messung der Schwebstoffqualität und der Wasserqualität. Messungen in Organismen bleiben jedoch notwendig, um die spezifische Qualität und die Probleme des Wasserökosystems abzuschätzen.
- Bei der Anwesenheit älterer Verunreinigungen im Sediment ist es ergänzend notwendig, auch das Sediment zu untersuchen, da die Schwebstoffqualität keinen Hinweis auf diese älteren Verunreinigungen gibt.

1 EINLEITUNG

Im Laufe der letzten hundert Jahre haben sich die ökologischen Bedingungen den Rhein entlang geändert. Einerseits haben die menschlichen Aktivitäten im Rheineinzugsgebiet die hydrologische und die morphologische Situation wesentlich verändert, andererseits hat die Abwasserbelastung die Wasserqualität stark beeinträchtigt.

Aufgrund der Folgen des Brandunfalls in Schweizerhalle am 1. November 1986 haben die zuständigen Minister der Rheinanliegerstaaten und der Vertreter der Europäischen Gemeinschaft die IKSR in der 7. Ministerkonferenz in Rotterdam am 19. Dezember 1986 beauftragt, ein Aktionsprogramm "Rhein" (APR) zu entwickeln.

Die 8. Ministerkonferenz legte am 1. Oktober 1987 in Straßburg die nachstehenden Ziele für das APR fest:

- Das Ökosystem des Rheins soll in einen Zustand versetzt werden, bei dem heute verschwundene, aber früher vorhandene höhere Arten (z.B. der Lachs) im Rhein als großem europäischen Strom wieder heimisch werden können.
- Die Nutzung des Rheinwassers für die Trinkwasserversorgung muß auch künftig möglich sein.
- Die Belastung des Rheins durch Schadstoffe muß weiterhin verringert werden, auch mit dem gemeinsamen Ziel einer deutlichen Reduzierung der Belastung des Flußsediments mit Schadstoffen und zwar derart, daß dieses Sediment wieder als Aufspülmaterial auf dem Lande verwendet oder ins Meer gebracht werden kann.

Die Vertiefung der Kenntnisse über die Qualität des Wassers der Lebensgemeinschaften, der Schwebstoffe und des Sediments wurde in den Arbeitsplan für die Durchführung der 1. Phase des APR aufgenommen (Punkt A.1 des APR). Neben den ökologischen Forschungsprogrammen gelten integrierte Bestandsaufnahmen der aktuellen Qualität der Teilbereiche Wasser, Schwebstoffe/Sedimente und Organismen als unentbehrlich für die Vertiefung der Kenntnisse.

Für die Stichjahre 1985, 1990 und 1995 sind Bestandsaufnahmen vorgesehen. Für die Teilbereiche "Organismen" und "Schwebstoffe/ Sedimente" fehlt für 1985 systematisches und abgestimmtes Datenmaterial.

Für die Bestandsaufnahmen "Schwebstoffe/Sedimente" sollten Methoden entwickelt werden, die in den Jahren 1990 und 1995 die Bestimmung der Sediment- und Schwebstoffbelastung im Längsprofil des Rheins ermöglichen, so daß eine Aussage über die Entwicklung in diesen Teilbereichen gemacht werden kann.

Die IKSR-Untergruppe Ps hat 1988 im Rahmen der Durchführung der 1. Phase des Aktionsprogramms "Rhein" Untersuchungen der aktuellen Qualität der Teilbereiche Wasser, Schwebstoff, Sediment und Organismen im Rhein durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Berichten festgehalten worden (Ref. 3, 4, 5, 6).

Im vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse dieser Untersuchungen miteinander verglichen, mit den folgenden zwei Zielen:

- 1. Die Zusammenhänge zwischen den Gehalten der Schadstoffe im Wasser und denen im Schwebstoff, Sediment und Organismen im Rhein zu analysieren.**
- 2. Aufgrund der Ergebnisse und Zusammenhänge Empfehlungen zu geben für die weiteren Bestandsaufnahmen und für die Überwachung der Belastung des Rheins mit Schadstoffen.**

2 MESSPROGRAMME 1988

2.1 Allgemeines

In der Untergruppe Ps sind folgende Untersuchungen im Längsprofil des Rheins durchgeführt worden:

04.07. - 08.07.1988	Schwebstoffqualität (s. Bericht Ps 63/89) und Wasserqualität
01.06. - 06.07.1988	Schadstoffanreicherung in aquatischen Moosen (s. Bericht Ps 20/89)
01.06. - 12.08.1988	Schadstoffanreicherung in Dreikantmuscheln (s. Bericht Ps 33/89)
13.09. - 16.09.1988	Sedimentqualität (s. Bericht Ps 34/89)

Alle Untersuchungen wurden an mehreren Probenahmestellen entlang des Rheins durchgeführt. Abbildung 2.1 vermittelt einen Überblick über alle Probenahmestellen. Soweit möglich, wurden die Untersuchungen zumindest an den internationalen Meßstellen durchgeführt:

- Rekingen (km 91)
- Village-Neuf (km 174)
- Seltz (km 340)
- Koblenz (km 590)
- Bimmen (km 865)
- Lobith (km 863)

Die Proben wurden in mehreren Labors analysiert (s. Tabelle 2.1).

Tabelle 2.1 An den Sediment-, Schwebstoff-, Wasser-, Muschel- und Moosuntersuchungen beteiligte Labors

			Sediment	Schwebstoff	Wasser ¹	Muscheln	Moose
E.A.W.A.G.	Dübendorf	(CH)		+			
IRH	Nancy	(FR)	+	+			
BfG	Koblenz	(D)	+	+			
LWA	Düsseldorf	(D)	+	+			
D.B.W./RIZA	Lelystad	(NL)	+	+	+		
RIVO	Urniden	(NL)				+	
TNO	Den Helder	(NL)				+	
Univ. Metz	Metz	(FR)					+

¹ Es betrifft hier die einmalige Meßung in Wasserstichproben während der Schwebstoffuntersuchung.

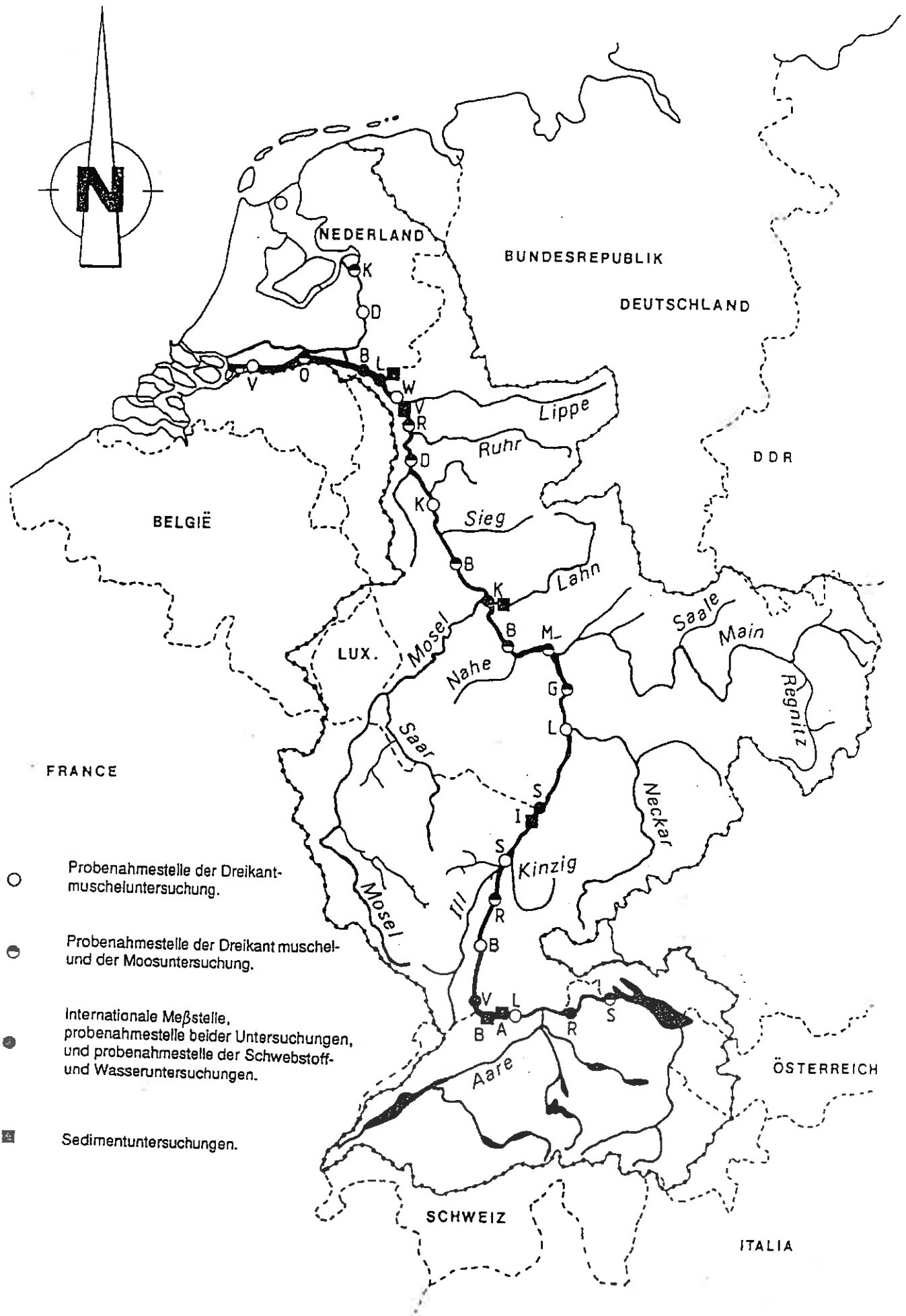


Abbildung 2.1 Probenahmestellen bei der Untersuchungen der ICSR 1988.

Um möglichst gut vergleichbare Ergebnisse der verschiedenen Probenahmestellen zu erreichen, wurde vereinbart, daß die beteiligten Labors die an allen Probenahmestellen entnommenen Proben analysieren. Um den Erfahrungsaustausch bei den Messungen der Gehalte in Schwebstoff und Sediment zu fördern und die Ergebnisse besser vergleichen zu können, sind die Parameter meistens von 3 oder 4 Labors analysiert worden.

Bei den in die Meßprogramme aufgenommenen Schadstoffe handelt es sich nur um solche von denen bekannt ist, daß sie an Ton und/oder organischen Substanzen adsorbieren und sich in Organismen anreichern. Aus praktischen Erwägungen wurden nur die wichtigsten Schwermetalle und einige organische Mikroverunreinigungen in diesen integrierten Untersuchungsbericht aufgenommen:

- Metalle: Cadmium, Quecksilber, Blei, Zink, Kupfer, Nickel, Chrom und Arsen;
- organische Mikroverunreinigungen: γ -HCH (Lindan), HCB (Hexachlorbenzol), p,p'-DDE, PCB-28, PCB-138, Fluoranthen und Benzo(b)fluoranthen.

Tabelle 2.2 vermittelt einen Überblick über die analysierten Schadstoffe.

2.2 Schwebstoff (s. auch Ps 63/88)

Die Schwebstoffe wurden im Zeitraum 4. - 8. Juli 1988 bei mittlerem Abfluß mittels einer mobilen Durchflußzentrifuge gesammelt. Eine Untersuchung der fließenden Welle fand nicht statt. Proben wurden an folgenden Stellen gesammelt: Rekingen (km 91), Village-Neuf (km 174), Seltz (km 340), Koblenz (km 590), Bimmen (km 865 L) und Lobith (km 863 R). In Lobith wurde die Zentrifuge des Meßpontons verwendet. Bei der Probenahme wurde das Wasser in etwa 10 m Entfernung vom Ufer in einer Tiefe von etwa 1 m entnommen. Pro Stunde wurde 1 m³ Wasser zentrifugiert. Insgesamt wurde pro Probenahmestelle etwa 8 Std. lang zentrifugiert. Nach der Probenahme wurde der gesammelte Schwebstoff eingefroren und in einer mobilen Gefriertruhe aufbewahrt. Anschließend wurden die Proben beim DBW/ RIZA zentral gefrier-

Tabelle 2.2 In die Untersuchungsprogramme 1988 aufgenommene Schadstoffe. Die in den vorliegenden Bericht aufgenommenen Schadstoffe sind unterstrichen.

Parameter	log K_{ow}	Wasser	Schwebstoff	Sediment	Moose	Muscheln
<u>Cadmium</u>		+	+	+	+	+
<u>Quecksilber</u>		+	+	+	+	+
<u>Blei</u>		+	+	+	+	+
<u>Zink</u>		+	+	+	+	+
<u>Kupfer</u>		+	+	+	+	+
<u>Nickel</u>		+	+	+	+	+
<u>Chrom</u>		+	+	+	+	+
Kobalt				+		
Mangan		+	+	+		
Barium				+		
Phosphor				+		
Brom				+		
<u>Arsen</u>		+	+	+		
Eisen		+	+	+		
Titan				+		
Calcium			+	+		
Aluminium			+	+		
Pentachlorphenol	4			+		
Pentachlorbenzol	5.3			+		
α -HCH	3.7		+	+		
β -HCH	3.7		+	+		+
<u>γ-HCH</u>	3.7		+	+		+
Hexachlorbenzol (HCB)	6.1		+	+	+	+
o,p-DDE	6			+		+
<u>p,p'-DDE</u>	6		+	+		+
o,p-DDD	6			+		+
p,p'-DDD	6		+	+		+
o,p-DDT	6			+		+
p,p'-DDT	6			+		+
Heptachlor	4.6			+		+
Heptachlorepoxyd	5.1			+		+
Aldrin	7.4			+		+
Dieldrin	6.2			+		+
Endrin	5.3			+		+
α -Endosulfan	4.5			+		+
<u>PCB-28</u>	5.6		+	+	+	+
PCB-52	6.1		+	+	+	+
PCB-101	6.1		+	+	+	+
PCB-118	7.1		+	+	+	+
<u>PCB-138</u>	6.4		+	+	+	+
PCB-149				+		+
PCB-153	6.6		+	+	+	+
PCB-170				+		+
PCB-180	6.7		+	+	+	+
PCB-194				+		+
<u>Fluoranthren</u>	5.1		+	+		
Benzo(k)fluoranthren	6		+	+		
<u>Benzo(b)fluoranthren</u>	6.6		+	+		
Benzo(a)pyren	6		+	+		
Indeno(1,2,3,c,d)pyren	6.4		+	+		
Benzo(ghi)perilen	6.6		+	+		
Anthracen	4.5			+		
Pyren	5.2			+		
Benzo(a)anthracen	5.6			+		
Chrysen	5.6			+		
Dibenzo(a,h)anthracen	6.0			+		
Perylen				+		

getrocknet. Nach Homogenisierung pro Probenahmestelle und Sieben über 200 μm wurden die Proben aufgeteilt und an die an der Untersuchung beteiligten Labors verteilt.

2.3 Wasser

Während der Schwebstoffprobenahme wurden an allen Probenahmestellen auch Wasserstichproben (Probenahmedauer: einige Sekunden) zur Bestimmung der gesamten und gelösten Schadstoffkonzentrationen und der Schwebstoffkonzentrationen entnommen.

Die Wasserstichproben wurden beim DBW/RIZA auf Metalle und organische Mikroverunreinigungen untersucht. Einige gelöste Metallkonzentrationen lagen unterhalb der Bestimmungsgrenze. In diesen Fällen wurde für weitere Berechnungen die Hälfte der Bestimmungsgrenze angewandt. Die organischen Mikroverunreinigungen sind in beschränktem Maße analysiert worden. Die Konzentrationen der analysierten Stoffe lagen alle unterhalb der Bestimmungsgrenze. Daher wurden alle Konzentrationen der organischen Mikroverunreinigungen außer Betracht gelassen.

2.4 Sediment (s. auch Ps 34/89)

Die Sedimentproben wurden im Zeitraum vom 13. - 16. September 1988 an folgenden Stellen entnommen: Augst (km 158), Birsfelden (km 160), Iffezheim (km 334), Koblenz (km 590), Vynen (km 830), Lobith (km 863 R) und Keken-Bimmen (km 863,8 L) (s. auch Abb. 2.1).

Die Sedimentproben wurden nach etwa 4 Monaten mit mittlerem Abfluß entnommen. Daher war an den ausgewählten Probenahmestellen kürzlich sedimentiertes Material zu erwarten. Abhängig von den örtlichen Gegebenheiten ist es jedoch auch möglich, daß

nur wenig rezentes sedimentiertes Material anwesend ist. Bei allen Meßstellen sollte außerdem die Möglichkeit einer Mischung mit älteren Sedimentschichten berücksichtigt werden.

Im allgemeinen wurden die Sedimentproben mit einem Greifer entnommen. Nur an den Meßstellen Augst und Birsfelden ist das Sediment von einem Taucher mit PVC-Rohren gesammelt worden. Es wurden unterschiedliche Greifer verwendet, die jedoch in bezug auf das Sammeln von Sedimenten gut vergleichbar waren.

An jeder Probenahmestelle wurden mehrere Sedimentstichproben entnommen, die an Bord zu einer Mischprobe vermischt und auf mehrere Glasflaschen verteilt wurden. Die Probenahme wurde von Mitarbeitern der verantwortlichen Wasserbehörde durchgeführt. Um eine größtmögliche Vergleichbarkeit zu gewährleisten, führten Mitarbeiter des DBW/RIZA ein Protokoll.

Die gesammelten Proben wurden beim DBW/RIZA vorbehandelt, wobei die Hälfte des Materials jeder Probenahmestelle für die Metallanalysen gefriergetrocknet wurde. Das übrige Material wurde nicht besonders vorbehandelt, da für die Bestimmung der Gehalte der organischen Mikroverunreinigungen nasses Sediment verwendet worden ist. Anschließend wurden die Proben für den Versand an die beteiligten Labors aufgeteilt.

2.5 Organismen

Zwei Arten von Testorganismen wurden ausgesetzt und später wieder eingesammelt: Dreikantmuscheln (*Dreissena polymorpha*) und aquatische Moose (*Fontinalis antipyretica*). Ziel der Untersuchungen war festzustellen, in welchem Maße Organismen durch Verunreinigungen belastet sind und ob diese Organismen für die Bestimmung von Schadstoffen in Wasser, Schwebstoff oder Sediment eine gute Alternative darstellen oder ob zusätzliche Information geliefert wird.

Obwohl die Stoffgehalte in Muscheln normalerweise auf die Fettgehalte bezogen werden, hat man sich bei dieser Untersuchung für die Angabe der Gehalte relativ zum Trockensubstanzgehalt (T.S.) entschieden. Dadurch kann man die Gehalte in Moosen und in Dreikantmuscheln miteinander vergleichen. Auch die abgeleiteten Biokonzentrationsfaktoren basieren auf Trockenstoffgehalt und sind daher mit dem Wasser-Schwebstoff Verteilungskoeffizienten vergleichbar.

2.5.1 Dreikantmuscheln (s. auch Ps 33/89)

Die für diese Untersuchung verwendeten Dreikantmuscheln (*Dreissena polymorpha*) wurden am 30. und 31. Mai 1988 von einem Schiff im IJsselmeer in der Nähe der Afsluitdijk (s. Abb. 2.1) gesammelt. Anschließend wurden Drahtkörbe mit je etwa 500 Muscheln gefüllt und innerhalb von 5 Tagen nach dem Sammeln an 25 Probenahmestellen ausgehängt (2 Körbe pro Lokation). Nach 5 Wochen wurde die Hälfte der Körbe wieder eingesammelt (Periode 1) und an 13 der Probenahmestellen wurden neue Muscheln ausgehängt.

10 Wochen nach dem ersten Aushängen der Muschelkörbe sind alle Körbe, d.h. die der 2. Periode von 5 Wochen (Periode 2), und die, die dem Rheinwasser 10 Wochen lang ausgesetzt waren (Periode 3) wieder eingesammelt worden. Analysen von Gehalten in Muscheln wurden an folgenden Stellen durchgeführt: Stein am Rhein (km 26), Rekingen (km 90), Village-Neuf (km 174), Rheinau (km 261), Seltz (km 340), Mainz (km 498), Koblenz (km 590), Köln (km 689), Düsseldorf-Hamm (km 738), Ruhrort (km 781), Wesel (km 815), Lobith (km 863) und Bimmen (km 865).

Für den vorliegenden Bericht wurden die Gehalte aus Periode 1 und 2 (beide 5 Wochen) verwendet. Für jeden Parameter wurde der Mittelwert für diese zwei Perioden berechnet und für die weiteren Berechnungen verwendet. Die Gehalte der dritten Periode (10 Wochen) sind in diesem Bericht nicht mit einbezogen worden, da entweder mehrere der ausgesetzten Muschelkörbe verloren gegangen sind, Muscheln abgestorben

sind oder die Analysenergebnisse nicht verlässlich waren. Des weiteren spielte die Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen der Moosuntersuchungen eine Rolle (5 Wochen Periode).

Unmittelbar nach dem Einsammeln der Muscheln wurden die Organismen durch Einfrieren in festem Kohlendioxyd getötet und während des Transports ins Labor konserviert. Bis zur weiteren Behandlung wurden die Muscheln tiefgefroren aufbewahrt. Für die Bestimmung der organischen Mikroverunreinigungen wurden die Dreikantmuscheln im Labor des Fischerei Instituts (RIVO/NL) behandelt und analysiert, während das TNO/NL die Analysen der Metallgehalte durchführte.

2.5.2 Aquatische Moose (s. auch Ps 20/89)

Die für diese Untersuchung verwendeten Moose (*Fontinalis antipyretica*) wurden am 30. Mai 1988 in Belgien in der Ourthe bei Nizamont gesammelt, gereinigt und sortiert. Anschließend wurde für die weitere Untersuchung eine Auswahl getroffen.

Die Moose wurden an den nachstehend aufgeführten 15 Stellen in einem Netzbeutel in einer Ausgangstiefe von 60 - 80 cm ausgehängt und nach ca. 5 Wochen Expositionszeit wieder eingesammelt: Stein am Rhein (km 26), Rekingen (km 90), Village-Neuf (km 174), Rhinau (km 261), Seltz (km 340), Gernsheim (km 462), Mainz (km 498), Bacharach (km 544), Düsseldorf-Hamm (km 738), Ruhrort (km 780), Lobith (km 863), Bimmen (km 865), Vuren (km 948), Kampen (km 985).

Die Schwermetalle wurden bestimmt, nachdem die Proben mit demineralisiertem Wasser gewaschen und mit Salpetersäure mineralisiert worden waren.

Die organischen Chlorverbindungen wurden nach Extraktion, Konzentration und Reinigung der fein zermahlenden Moose, durch Gaschromatographie in einem Hexanextrakt bestimmt.

3 UNTERSUCHUNGSMETHODEN

3.1 Allgemeines

Zur Analyse des Zusammenhangs können die Meßergebnisse nur miteinander verglichen werden wenn zuerst eine Umrechnung in Standarddaten stattgefunden hat. Auf welcher Weise die umrechnung der Daten in Standarddaten stattfindet ist pro Teilbereich dargestellt in Abb. 3.1.

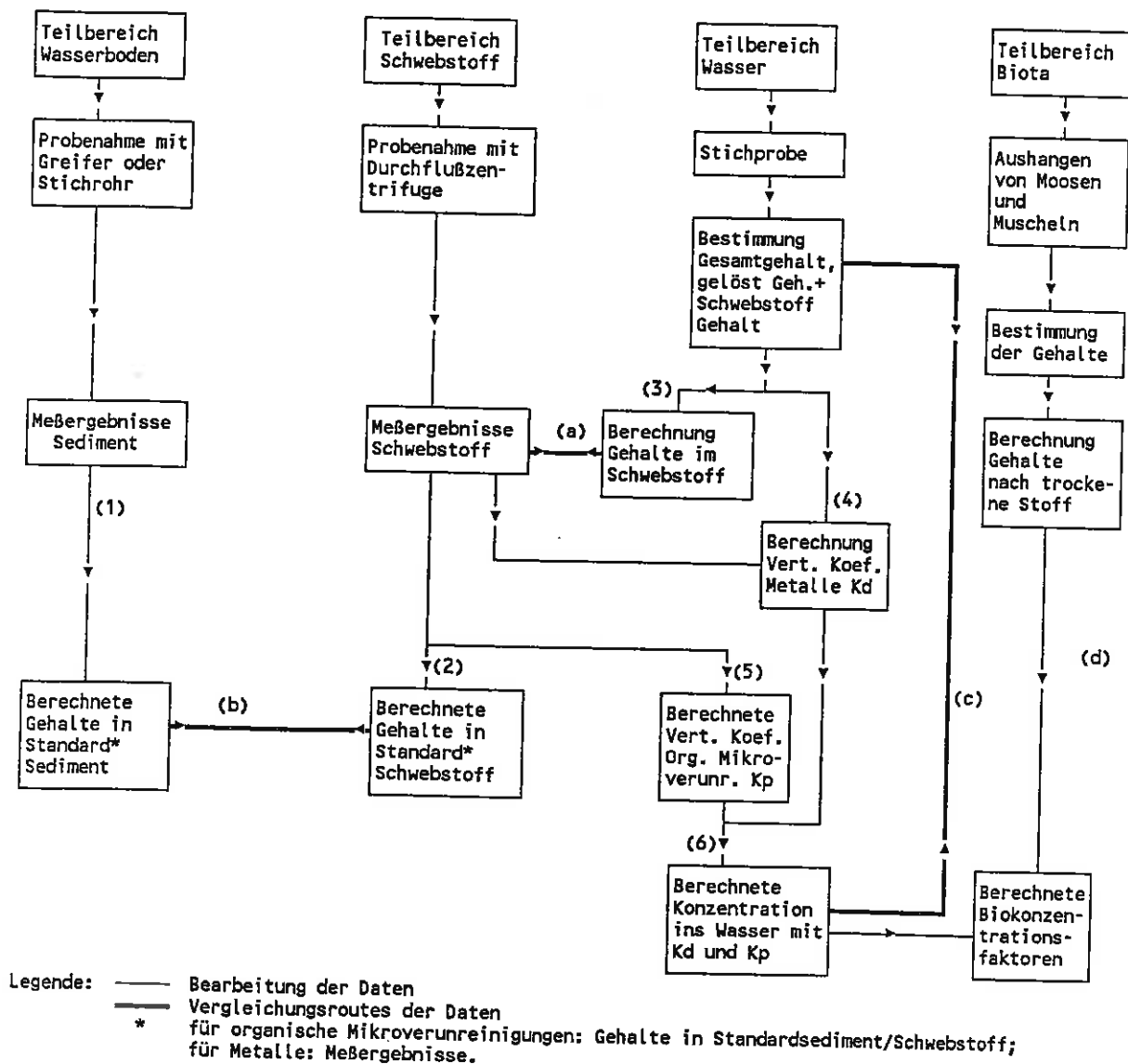


Abbildung 3.1 Zusammenhang der Ergebnisse der Untersuchungen und Vergleichsroutes in diesem Bericht.

Für die Auswirkung der Zusammenhänge der unterschiedlichen Ergebnisse den Rhein entlang wurden pro Stoff vier Vergleiche gezogen. Für jeden Vergleich, in Abbildung 3.1 mit den Buchstaben a bis d bezeichnet, werden wenn möglich die Ergebnisse pro Stoff auch in Diagrammen präsentiert (s. Kapitel 4).

In den nächsten Abschnitten werden die Vergleiche und die Berechnungen, wie in Abbildung 3.1 dargestellt erläutert.

3.2 Vergleiche der Teilbereiche

a. Vergleich der bestimmten und berechneten Gehalte im Schwebstoff

Dieser Vergleich soll verdeutlichen, inwieweit die Gehalte im mit einer Durchfluß-zentrifuge gesammelten Schwebstoff mit den Gehalten, die aus der Differenz der gesamten und gelösten Konzentrationen in einer Wasserstichprobe berechnet werden, übereinstimmen. Dieser Vergleich kann nur für Metalle gezogen werden.

Aufgrund der niedrigen Gehalte konnten in Wasserstichproben keine Konzentrationen organischer Mikroverunreinigungen bestimmt werden, so daß kein Vergleich gezogen werden kann.

b. Vergleich der direkt in Sedimenten bestimmten Gehalte mit den aus dem Schwebstoff berechneten Gehalten in Sedimenten

Anhand dieses Vergleichs kann analysiert werden, inwieweit der Gehalt im Schwebstoff an jeder Probenahmestelle in der Sedimentqualität wiederzufinden ist. Sind die Gehalte im Sediment höher als die aus dem Schwebstoff berechneten, so sind die Sedimentproben möglicherweise mit älteren Sedimentschichten vermischt. Diese Vergleiche können sowohl für Metalle, als auch für organische Mikroverunreinigungen gezogen werden.

Für organische Mikroverunreinigungen können die Gehalte im Sediment und Schwebstoff nicht ohne weiteres verglichen werden. Viele organische Mikroverunreinigungen adsorbieren an organischen Materie. Deswegen sollte bei den Vergleich der Teilbereiche mit dem Anteil an organischer Substanz im Sediment oder im Schwebstoff gerechnet werden.

In diesem Bericht wird der Vergleich der Gehalte der organischen Mikroverunreinigungen mit standardisierten Meßwerten durchgeführt. Für den Vergleich sollten die Meßwerte im Schwebstoff und Sediment nach derselben Standard zurückgerechnet werden. Als Standard ist dazu in diesem Bericht gewählt für Schwebstoff und Sediment mit einem Gehalt an 2,5% organischem Kohlenstoff.

Für die Metalle können die im Sediment bestimmte Gehalte und die im Schwebstoff bestimmte Gehalte ohne weitere Standardisierung miteinander verglichen werden. Für die Adsorption der Metalle sind namentlich den Teilchen $< 20 \mu\text{m}$ von Bedeutung. Deshalb werden im Sediment die Metallgehalte in der Siebefraktion $< 20 \mu\text{m}$ bestimmt. Diese Siebefraktion ist gut vergleichbar mit Schwebstoffproben, worin meistens über 85% der Teilchen kleiner als $20 \mu\text{m}$ ist.

c. Vergleich der gesamten und gelösten Konzentration im Wasser mit den gesamten aus den Gehalten im Schwebstoff berechneten Konzentrationen

Einerseits kann anhand dieses Vergleichs gezeigt werden, inwieweit der gelöste Anteil der Verunreinigung und damit der Verteilungskoeffizient im Längsprofil des Rheins wechselt. Andererseits wird gezeigt, ob die gesamte, aus dem Gehalt im Schwebstoff berechnete Konzentration mit der bestimmten gesamten Konzentration im Wasser übereinstimmt (s. Kap. 3.3).

Dieser Vergleich kann nur für Metalle ganz durchgeführt werden, da nur für Metalle bestimmte gelöste Konzentrationen vorliegen.

3.3 Berechnungen

Die Analyse der Ergebnisse dieser Untersuchungen ergibt zwei Arten von Verteilungskoeffizienten:

- Wasser-Schwebstoff Verteilungskoeffizient (K_d -Werte für Metalle und K_p -Werte für organische Mikroverunreinigungen)
- Wasser-Organismen Verteilungskoeffizient (Biomagnifikationsfaktoren)

Vergleiche dieser beiden Koeffizienten zeigen u.a. in welchem Teilbereich ein Stoff am meisten anreichert.

Die Berechnungsmethoden sind in Abb. 3.1 mit in Klammern gesetzten Zahlen gekennzeichnet. Die Erläuterung folgt untenstehend:

(1) Umrechnung der Sedimentdaten nach Standardsediment

Wie schon in Paragraph 3.2.b erwähnt ist, sollte für organische Mikroverunreinigungen beim Vergleich der Teilbereiche Schwebstoff und Sediment mit dem Anteil an organischer Materie im Schwebstoff/Sediment gerechnet werden. In diesem Bericht wird der Vergleich der Gehalte der organischen Mikroverunreinigungen deshalb mit standardisierten Meßwerten durchgeführt. Die Gehalte der organischen Mikroverunreinigungen werden dabei mittels folgender Formel normiert:

$$sG = \frac{bG * 2.5}{\% \text{ org. Kohlenstoff}}$$

mit

- sG = standardisierter Gehalt
- bG = bestimmter Gehalt
- 2.5 = Prozentsatz des organischen Kohlenstoffgehaltes im "Standardsediment"

(2) Umrechnung der Schwebstoffdaten in Standardschwebstoffdaten

Normalerweise wird für organische Mikroverunreinigungen im Schwebstoff standardisiert nach Schwebstoff mit 5% organischer Kohlenstoff (mittlere Situation im Rhein). In diesem Bericht werden die Standardschwebstoffdaten verwendet für den Vergleich der Gehalte im Sediment und im Schwebstoff. Dazu ist es notwendig daß die Gehalte normiert werden auf denselben Standard. In diesem Bericht ist für Schwebstoff und Sediment gewählt für 2,5% organischer Kohlenstoff als Standard. Deshalb wurde für die Umrechnung der Schwebstoffdaten in Standardschwebstoffdaten für organische Mikroverunreinigungen die gleiche Formel angewandt wie unter Punkt 1.

(3) Berechnung des Gehaltes im Schwebstoff aufgrund der gesamten und gelösten Konzentration im Wasser

Für diese Berechnung wurde folgende Formel angewandt:

$$C_s = \frac{C_t - C_w}{S}$$

mit

C_s	=	Gehalt im Schwebstoff [mg/kg]
C_t	=	Gesamter Schadstoffgehalt der Wasserstichprobe [$\mu\text{g/l}$]
C_w	=	In der Wasserstichprobe gelöster Schadstoffgehalt [$\mu\text{g/l}$]
S	=	Schwebstoffkonzentration [g/l]

(4) Berechnung des Verteilungskoeffizienten Wasser-Schwebstoff für Metalle

Der Wasser-Schwebstoff Verteilungskoeffizient wurde mittels folgender Formel berechnet:

$$K_d = \frac{\text{Gehalt im Schwebstoff}}{\text{im Wasser gelöste Konzentration}} = \frac{C_s}{C_w} \quad [l/g]$$

Für jede Probenahmestelle wurde ein K_d -Wert berechnet, der für die Berechnung der Konzentration eines Stoffes im Wasser aus dem Gehalt dieses Stoffes im (mit einer Durchflußzentrifuge gesammelten) Schwebstoff angewandt wurde. Siehe auch Abb. 5.1 - 5.4 in Kapitel 5 und die Berechnungen in Anlage 1.

(5) Berechnung des Verteilungskoeffizienten Wasser-Schwebstoff für organische Mikroverunreinigungen

Für organische Mikroverunreinigungen kann eine Berechnung der Verteilungskoeffizienten auf der Grundlage gelöster Konzentrationen, wie bei Schwermetallen, nicht erfolgen, da die in den Wasserstichproben bestimmten organischen Mikroverunreinigungen unterhalb der Nachweisgrenze lagen. Der Verteilungskoeffizient K_p wurde deshalb folgendermaßen berechnet:

$$K_p = 10^{-0.21} * f_{oc} * K_{ow} / 1000 \quad [l/g]$$

mit

$$\begin{aligned} f_{oc} &= \text{Fraktion organischer Kohlenstoff des Schwebstoffes} \\ K_{ow} &= \text{Oktanöl/Wasser Verteilungskoeffizient} \\ 10^{-0.21} &= \text{Konstante} \end{aligned}$$

Pro Probenahmestelle ist, wie bei den Metallen, ein K_p -Wert und von diesem ausgehend die Konzentration im Wasser berechnet worden.

(6) Berechnung der gesamten Konzentration im Wasser aus den Schwebstoffgehalten

Diese Berechnung ist nur möglich, wenn ein Verteilungskoeffizient bekannt oder vorausgesetzt worden ist. Die folgenden Formeln sind angewandt worden:

$$K_d = \frac{C_s}{C_w} \quad (\text{für } K_d \text{ kann auch } K_p \text{ geschrieben werden})$$

und

$$C_t = C_w + C_s * S$$

gibt

$$C_t = (1/K + S) * C_s$$

mit

C_t	=	Gesamte Konzentration [$\mu\text{g/l}$]
C_w	=	Gelöste Konzentration [$\mu\text{g/l}$]
S	=	Schwebstoffkonzentration [g/l]
K	=	Verteilungskoeffizient K_d oder K_p [l/g]

Die Analysenergebnisse, auf denen dieser Bericht basiert, finden sich in Anlage 1.

Diese Anlage umfaßt ebenfalls die Berechnungsergebnisse, wie Verteilungskoeffizienten usw.. Bei Ergebnissen unter der Bestimmungsgrenze wurde bei diesen Berechnungen die Hälfte dieser Grenze verwendet.

4 ERGEBNISSE

4.1 Erläuterung der Abbildungen

Die Untersuchungsergebnisse sind in 4 Abbildungsarten zusammengefaßt worden:

- a) Vergleich der bestimmten und berechneten Gehalte im Schwebstoff.
- b) Vergleich der direkt in Sedimenten bestimmten Gehalte mit den aus dem Schwebstoff berechneten Gehalten in Sedimenten.
- c) Vergleich der gesamten und gelösten Konzentration im Wasser mit der aus den Schwebstoffgehalten berechneten gesamten Konzentration.
- d) Vergleich der Gehalte in Dreikantmuscheln und aquatischen Moosen.

Bei dem Vergleich der Untersuchungsergebnisse aus den Teilbereichen Wasser, Schwebstoff, Sediment und Organismen hat man sich auf die sechs Probenahmestellen beschränkt, von denen die meisten Ergebnisse vorliegen: Rekingen (Augst), Village-Neuf (Birsfelden), Seltz (Iffezheim), Koblenz, Bimmen und Lobith. Die Sedimentproben wurden an den in Klammern erwähnten Probenahmestellen entnommen. Tabelle 4.1 gibt einen Überblick über die verglichenen Schadstoffe.

Im Oberrhein gibt es in Bezug auf dem Vergleich der direkt in Sedimenten bestimmten Gehalten mit den aus dem Schwebstoff berechneten Gehalten Probleme, weil es in der Nähe der Probenahmestellen der Schwebstoffuntersuchung (Rekingen, Village-Neuf und Seltz) keine Sedimentationslokationen gibt. Von die gewählte Sedimentlokationen können Augst und Birsfelden nicht einfach mit den Schwebstofflokationen Rekingen bzw. Village-Neuf verglichen werden wegen Einleitungen auf den Strecken Rekingen - Augst und Birsfelden - Village-Neuf. Die Ergebnisse der Sedimentlokation Iffezheim können wohl mit den Ergebnissen der Schwebstofflokation Seltz verglichen werden, weil es auf der Strecke Seltz - Iffezheim keine Einleitungen gibt. In der Beschreibung der Ergebnisse wird deuthlichkeitshalber Iffezheim als Seltz (Iffezheim) angedeutet.

Auf grund vorgehendes wird das Vergleich Schwebstoff - Sediment nur für den Lokationen Seltz (Iffezheim), Koblenz, Bimmen und Lobith gemacht.

Tabelle 4.1 Übersicht über die in den Vergleich einbezogenen Parameter

	Sediment	Schwebstoff	Wasser	Aquatische Moose	Dreikant- muscheln
Cadmium	+	+	+	+	+
Quecksilber	+	+	+	+	+
Blei	+	+	+	+	+
Zink	+	+	+	+	-
Chrom	+	+	+	+	+
Kupfer	+	+	+	+	+
Nickel	+	+	+	+	-
Arsen	+	+	+	-	-
γ -HCH (Lindan)	+	+	-	-	+
p,p'-DDE	+	+	-	-	+
Hexachlorbenzol	+	+	-	-	+
PCB 28	+	+	-	-	+
PCB 138	+	+	-	-	+
Fluoranthen	+	+	-	-	-
Benzo(a)pyren	+	+	-	-	-
Benzo(b)fluoranthen	+	+	-	-	-

4.2 Cadmium. (s. Abb. 4.2.a - 4.2.d)

Der Gehalt im mit der Durchflußzentrifuge gesammelten Schwebstoff zeigt eine deutliche Zunahme im Längsprofil des Rheins. Aufgrund einer bei Seltz ermittelten Spitze ist diese Zunahme bei aus Wasserstichproben berechneten Gehalten im Schwebstoff (siehe Abb. 4.2.a) nicht so klar. Für das Unterschied zwischen den bestimmten und berechneten Cadmiumgehalte im Schwebstoff gibt es mehrere Gründe, entscheidend ist jedoch die relative Unzuverlässigkeit der Analysen, insbesondere des gelösten Gehalts.

Der Cadmiumgehalt des Sediments ist bei Lobith höher als der Gehalt im Schwebstoff (Abb. 4.2.b). Die Differenz ist wahrscheinlich auf eine Vermischung mit altem Sediment bei der Sedimentprobenahme zurückzuführen. Bei Seltz (Iffezheim), Koblenz und Bimmen stimmen die im Sediment bestimmten Gehalte gut mit den aus dem Gehalt im

Schwebstoff berechneten Gehalten überein.

Die gelösten Konzentrationen liegen nur wenig über der Bestimmungsgrenze von $0,01 \mu\text{g/l}$ (s. Abb. 4.2.c). Die aus dem Gehalt im Schwebstoff und den K_d -Werten berechnete gesamte Konzentration zeigt eine Zunahme im Längsprofil des Rheins. Obwohl bei Seltz deutliche Abweichungen vorliegen, folgt diese Zunahme ungefähr der Kurve der bestimmten gesamten Konzentration.

Die Gehalte in Organismen zeigen in Moosen höhere Gehalte als in Dreikantmuscheln (Abb. 4.2.d). Im Längsprofil des Rheins stimmt die Zunahme der Gehalte in beiden Organismen am besten mit dem Gehalt im Schwebstoff überein.

4.3 Quecksilber (s. Abb. 4.3.a - 4.3.d)

Die direkte Messung an Schwebstoff zeigt eine Zunahme der Gehalte im Längsprofil des Rheins (Abb. 4.3.a). Der aus der Differenz zwischen der gesamten und gelösten Konzentration einer Wasserstichprobe berechnete Quecksilbergehalt im Schwebstoff schwankt aber ziemlich stark. Wie bei Cadmium ist die relative Unzuverlässigkeit der Analysen, insbesondere der niedrigen gelösten Konzentration wahrscheinlich entscheidend für die Ergebnisse.

Der im Sediment direkt gemessene Gehalt ist bei Seltz (Iffezheim), Koblenz und Bimmen mit der Schwebstoffgehalt vergleichbar (Abb. 4.3.b). Bei der Probenahmestelle Lobith ist, gleich wie bei Cadmium, im Sediment ein deutlich höheres Gehalt gefunden im Vergleich mit dem Gehalt im Schwebstoff.

Die bestimmte gesamte Konzentration zeigt einen relativ höheren Wert in Rekingen und bewegt sich im weiteren Verlauf um einen konstanten Wert von ungefähr $0,03 \mu\text{g/l}$ (Abb. 4.3.c). Die aus den Gehalten im Schwebstoff und dem K_d -Wert berechnete gesamte Konzentration nimmt im Längsprofil des Rheins zu. Die bestimmten und

berechneten gesamten Konzentrationen haben einen abweichenden Verlauf; lediglich die Mittelwerte stimmen ungefähr überein. Die gelöste Konzentration liegt im Bereich der Nachweisgrenze ($0,01 \mu\text{g/l}$).

Dadurch sind die K_d -Werte recht unsicher, weswegen die berechneten und bestimmten gesamten Konzentrationen nur schlecht übereinstimmen.

Die Anreicherung in Dreikantmuscheln beträgt etwa ein Vierfaches der Anreicherung in aquatischen Moosen. Jedoch kann im Längsprofil des Rheins keine Zunahme festgestellt werden.

4.4 Blei. (s. Abb. 4.4.a - 4.4.d)

Bei beiden Untersuchungsmethoden weist der Bleigehalt im Schwebstoff eine deutlich zunehmende Tendenz im Längsprofil des Rheins auf (Abb. 4.4.a). Außer bei Bimmen und Lobith liegen keine großen Differenzen zwischen den Methoden vor. Wahrscheinlich sind hier die gelösten Gehalte entscheidend, deren Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze liegen.

In Seltz (Iffezheim), Koblenz und Bimmen stimmt die aus Schwebstoff berechnete und die direkt gemessene Sedimentqualität gut überein (Abb. 4.4.b).

Die gelöste Konzentration im Wasser nimmt stromabwärts ab (Abb. 4.4.c) und liegt ab Koblenz unterhalb der Bestimmungsgrenze ($0,1 \mu\text{g/l}$). Das heißt, daß auch der relative Gehalt im Schwebstoff rheinabwärts zunimmt, was mit Abb. 4.4.a übereinstimmt. Die bestimmten und aus den Gehalten im Schwebstoff berechneten gesamten Konzentrationen sind auf der ganzen Rheinstrecke ungefähr gleich. Nur bei Bimmen und Lobith gibt es relativ große Abweichungen, was wahrscheinlich durch die niedrigen gelösten Konzentrationen (d.h. große Unsicherheit der K_d -Werte) verursacht wird.

Die Anreicherung in Moosen beträgt etwa ein Vierfaches von der in Muscheln (Abb. 4.4.d); die Gehalte in Moosen weisen recht erhebliche Schwankungen auf.

4.5 Zink. (s. Abb. 4.5.a - 4.5.d)

Sowohl der direkt im Schwebstoff gemessene, als auch der aus Wasserstichproben berechnete Zinkgehalt zeigen eine Zunahme im Längsprofil des Rheins. Die Differenzen zwischen den beiden Werten sind relativ klein. Bei den berechneten Gehalten stellt die Probenahmestelle Village-Neuf eine Ausnahme dar (Abb. 4.5.a).

In Seltz (Iffezheim), Koblenz und Bimmen stimmen die Gehalte im Sediment wieder mit dem aus Schwebstoff berechneten Gehalt überein. Der Gehalt bei Lobith deutet wiederum auf ältere, stärker verschmutzte Sedimente hin (Abb. 4.5.b).

Die mit K_d -Werten berechneten gesamten Konzentrationen und die bestimmten gesamten Konzentrationen stimmen gut überein. Village-Neuf stellt mit einer relativ sehr hohen bestimmten gesamten Konzentration eine Ausnahme dar (Abb. 4.5.c). Die Schwebstoffkonzentration in der Wasserstichprobe ist jedoch nicht hoch, was auch den hohen berechneten Gehalt im Schwebstoff erklärt (Abb. 4.5.a).

Die Anreicherung wurde nur in Moosen gemessen und weist stromabwärts eine zunehmende Tendenz auf (Abb. 4.5.d).

4.6 Chrom. (s. Abb. 4.6.a - 4.6.d)

Der direkt gemessene Chromgehalt im Schwebstoff zeigt eine leichte Zunahme. Der aufgrund der Wasserstichproben berechnete Gehalt ist jedoch höher und weist stärkere Schwankungen auf, obwohl beide Verläufe, mit Ausnahme an den Probenahmestellen Rekingen und Seltz, weitgehend übereinstimmen (Abb.4.6.a).

Außer in Lobith stimmt der Gehalt im Sediment mit den aufgrund der Gehalte im Schwebstoff berechneten Werten überein (Abb. 4.6.b).

Die gelöste Konzentration nimmt stromabwärts leicht zu. Die bestimmte gesamte Konzentration schwankt stark. Die aus den Gehalten im Schwebstoff berechnete gesamte Konzentration liegt zwischen den bestimmten gelösten und gesamten Konzentrationen und nimmt stromabwärts zu. Auf der Strecke Rekingen - Seltz sind die Differenzen zwischen den berechneten und bestimmten gesamten Konzentrationen groß, was durch die Unsicherheit der gelösten Konzentrationen auf dieser Strecke verursacht sein kann. Die Formen beider Kurven stimmen wenig überein (Abb. 4.6.c).

Mit Ausnahme der Probenahmestellen Bimmen und Lobith stimmen die Gehalte in Dreikantmuscheln und Moosen ziemlich gut überein (Abb. 4.6.d).

4.7 Kupfer. (s. Abb. 4.7.a - 4.7.d)

Die berechneten und die direkt bestimmten Gehalte im Schwebstoff weisen stromabwärts beide eine zunehmende Tendenz auf. Im allgemeinen sind die bestimmten Gehalte wesentlich höher als die berechneten Gehalte. Nur in Seltz sind beide Gehalte vergleichbar (Abb. 4.7.a).

Die aus Schwebstoff berechneten Gehalte im Sediment schwanken rund die direkt im Sediment bestimmten Gehalte. Beide Gehalte nehmen stromabwärts zu (Abb. 4.7.b). Auch für Kupfer ist bei Lobith, gleich wie bei fast allen sonstigen Metallen im Sediment ein deutlich höheres Gehalt bestimmt worden.

Die Konzentrationen im Wasser nehmen stromabwärts ebenfalls zu. Die bestimmten und aus den Gehalten im Schwebstoff berechneten gesamten Konzentrationen stimmen überein. Nur bei Bimmen liegen relativ große Differenzen vor (Abb. 4.7.c).

Die Gehalte in Moosen und Muscheln haben einen vergleichbaren Verlauf: stromabwärts bis Koblenz nehmen sie zu, danach gehen sie zurück. Die Gehalte in Moosen betragen etwa das Doppelte von denen in Muscheln (Abb. 4.7.d). Die Verläufe korrespondieren nicht mit denen in anderen Teilbereichen.

4.8 Nickel. (s. Abb. 4.8.a - 4.8.d)

Es liegen große Differenzen zwischen den Gehalten im mit einer Zentrifuge gesammelten Schwebstoff und den aus Stichproben berechneten Gehalten im Schwebstoff vor. Die bestimmten Gehalte sind mindestens dreimal so hoch wie die berechneten Gehalte. Beide zeigen stromabwärts eine geringe Zunahme (Abb. 4.8.a).

Die aus Schwebstoff berechneten Gehalte für Sediment und die direkt im Sediment berechneten Gehalte sind besser vergleichbar. Die Differenzen zwischen beiden Gehalten sind relativ klein, wobei die direkt bestimmten Gehalte im allgemeinen etwas niedriger sind. Stromabwärts weisen beide eine Zunahme auf (Abb. 4.8.b). Für diese Parameter sind die Gehalte im Schwebstoff und Sediment auch für die Meßstelle Lobith gut vergleichbar.

Auch für die bestimmten und gesamten Konzentrationen im Wasser ist stromabwärts eine deutliche Zunahme festzustellen. Auf der ganzen Strecke ist die berechnete gesamte Konzentration etwas höher als die bestimmte gesamte Konzentration, dies gilt insbesondere für Rekingen und Village-Neuf. Wahrscheinlich spielt die Unsicherheit der gelösten Konzentration hier eine Rolle (Abb. 4.8.c).

Die Gehalte in Biota sind nur in Moosen bestimmt worden. Auch sie nehmen stromabwärts zu.

4.9 Arsen. (s. Abb. 4.9.a - 4.9.c)

Zwischen den mit einer Zentrifuge gesammelten Gehalten im Schwebstoff und den aus Stichproben berechneten Gehalten im Schwebstoff gibt es große Differenzen. Die bestimmten Gehalte zeigen stromabwärts eine sehr kleine Zunahme. Bei Rekingen und Village-Neuf wird aufgrund der Berechnung kein Arsen im Schwebstoff erwartet. Bei Seltz ist der berechnete Gehalt wesentlich höher als die bestimmten Gehalte. Bei Koblenz, Bimmen und Lobith sind die berechneten Gehalte ungefähr halb so groß wie die bestimmten Gehalte (Abb. 4.9.a).

Die direkt im Sediment bestimmten Gehalte sind mit Ausnahme der Meßstelle Lobith etwa 10-20% höher als die für Sediment aus dem Schwebstoff berechneten Gehalte. Beide zeigen stromabwärts eine Zunahme (Abb. 4.9.b).

Die bestimmten gelösten und gesamten Konzentrationen sind bei Rekingen und Village-Neuf gleich. Die gesamte Konzentration ist bei Seltz dagegen viel höher als die gelöste Konzentration. Dies erklärt den Verlauf der berechneten Gehalte im Schwebstoff in Abb. 4.9.a. Die aus den Gehalten im Schwebstoff berechneten gesamten Konzentrationen sind, außer in Seltz, höher als die bestimmten gesamten Konzentrationen. Der Verlauf der Kurven ist aber ungefähr gleich (Abb. 4.9.c).

In Biota sind keine Arsengehalte bestimmt worden.

4.10 Lindan (γ -HCH). (s. Abb. 4.10.a - 4.10.d)

Die rohen Schwebstoffgehalte zeigen stromabwärts eine deutliche Abnahme ab Village-Neuf (Abb. 4.10.a).

Weil Lindan hauptsächlich in gelöster Form vorkommt ($> 95 \%$), gibt es kaum Differenzen zwischen den gelösten Konzentrationen und den gesamten Konzentrationen (Abb. 4.10.c).

In Biota sind nur die Gehalte in Muscheln bestimmt worden. Die Ergebnisse zeigen eine Zunahme den Rhein entlang, dies steht im Gegensatz zu den Verläufen in den anderen Teilbereichen (Abb. 4.10.d).

4.11 Hexachlorbenzol (HCB). (s. Abb. 4.11.a - 4.11.d)

Der Hexachlorbenzolgehalt im Schwebstoff zeigt relativ höhere Werte in Village-Neuf und Seltz (Abb. 4.11.a).

Der gemessene Gehalt im Sediment bei Seltz (Iffezheim) ist viel höher als der Gehalt, den aufgrund des aktuellen Gehaltes im Schwebstoff bei Seltz berechnet werden kann (Abb. 4.11.b). Der bestimmte Gehalt im Sediment bei Birsfelden ist sehr hoch und beträgt sogar $1807 \mu\text{g}/\text{kg}$. Weil bei Birsfelden kein Schwebstoff gesammelt worden ist, ist es für diese Lokation nicht möglich ein Vergleich mit dem aktuellen Gehalt im Schwebstoff zu machen.

Die Gehalte im Wasser nehmen von Rekingen nach Village-Neuf zu und danach wieder ab. Die gesamten Konzentrationen sind ungefähr zweimal so hoch wie die gelösten Konzentrationen (Abb. 4.11.c). Damit zeigt sich die größere Affinität von HCB für organisches Material im Vergleich zu z.B. Lindan.

Die Gehalte in Muscheln zeigen ein abweichendes Bild der vorhergehenden Abbildungen. Sie schwanken stark, ohne daß ein Trend wahrnehmbar ist (Abb. 4.11.d).

4.12 p,p'-DDE. (s. Abb. 4.12.a - 4.12.d)

Obwohl DDT und seine Derivate schon seit vielen Jahren verbotene Stoffe sind, so sind sie noch immer im aquatischen System meßbar. Als Beispiel dieser Gruppe wurde der Stoff p,p'-DDE genommen. Die Gehalte im rohen Schwebstoff zeigen einen steigenden Trend (Abb. 4.12.a).

Die im Sediment gemessenen Gehalte sind höher als die aus Schwebstoff berechneten Gehalte für Sediment (Abb. 4.12.b).

Die aus Schwebstoff berechnete gelöste Konzentration nimmt stromabwärts ab; die berechnete gesamte Konzentration dagegen nimmt zu. Die gesamten Konzentrationen sind ungefähr ein- bis zweimal so hoch wie die gelösten Konzentrationen (Abb. 4.12.c).

Die Gehalte in Muscheln nehmen stromabwärts zu (Abb. 4.12.d).

4.13 PCB-28. (s. Abb. 4.13.a - 4.13.d)

Als Beispiel für die Gruppe der Polychlorbiphenile wurde PCB-28 und PCB-138 genommen. PCB-28 ist einer der am meisten löslichen PCBs. PCB-138 ist viel weniger löslich.

Bei PCB-28 nehmen die rohen Gehalte im Schwebstoff stromabwärts zu (Abb. 4.13.a).

Der aus Schwebstoff berechnete Sedimentgehalt ist an der Stelle Lobith erheblich höher als der direkt im Sediment bestimmte Gehalt. Bei Seltz (Iffezheim), Koblenz und Bimmen stimmen die berechneten und bestimmten Gehalte im Sediment ziemlich gut überein (Abb. 4.13.b). Ein Trend ist nicht festzustellen.

Die aus Schwebstoff berechneten gelösten und gesamten Konzentrationen im Wasser nehmen stromabwärts zu (Abb. 4.13.c). Die Differenzen zwischen gelösten und

gesamten Konzentrationen sind im allgemeinen relativ klein (kleiner als z.B. bei HCB). Dies ist die Folge der relativ gute Löslichkeit von PCB-28

Die Gehalte in Muscheln zeigen stromabwärts eine deutliche Zunahme (Abb. 4.13.d).

4.14 PCB-138. (s. Abb. 4.14.a - 4.14.d)

Die Gehalte im Schwebstoff zeigen stromabwärts eine Zunahme, mit einer abweichenden Spitze bei Seltz (Abb. 4.14.a).

Umgerechnet aus Schwebstoff sind die Gehalte für Sediment im allgemeinen geringer als die direkt im Sediment bestimmten Gehalte (Abb. 4.14.b).

Die aus Schwebstoff berechnete gelöste Konzentration ist auf der ganzen Strecke ungefähr gleich. Die berechnete gesamte Konzentration nimmt stromabwärts zu (Abb. 4.14.c). Infolge der größeren Affinität von PCB-138 für organisches Material, im Vergleich zu PCB-28, differieren die zwei Typen Gehalte für PCB-138 mehr als für PCB-28.

Auch hier zeigen die Gehalte in Muscheln stromabwärts eine Zunahme (Abb. 4.14.d).

4.15 Fluoranthen. (s. Abb. 4.15.a - 4.15.c)

Wie auch bei den PCBs sind aus der Gruppe Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe zwei Beispiele ausgewählt: Fluoranthen und Benzo(b)fluoranthen. Beide gehören zur Gruppe Borneffs. Fluoranthen ist das löslichste PAK und Benzo(b)fluoranthen, das am wenigsten lösliche der Gruppe Borneffs.

Die im Schwebstoff bestimmten Fluoranthengehalte nehmen stromabwärts mit einer abweichenden Spitze bei Seltz zu (Abb. 4.15.a).

Die berechneten Gehalte im Sediment sind niedriger als die im Sediment direkt bestimmten Gehalte. Bemerkenswert ist, daß bei Seltz (Iffezheim) der berechnete und bestimmte Gehalt am meisten übereinstimmt (Abb. 4.15.b).

Die aus Schwebstoff berechneten gelösten und gesamten Konzentrationen weisen relativ kleine Differenzen auf. Beide zeigen stromabwärts bis Rekingen eine Zunahme und nehmen danach stark ab (Abb. 4.15.c).

In Biota sind keine Gehalte bestimmt worden.

4.16 Benzo(b)fluoranthen. (s. Abb. 4.16.a - 4.16.c)

Die Gehalte von Benzo(b)fluoranthen (Abb. 4.16.a) im Schwebstoff haben den gleichen Verlauf wie die Fluoranthengehalte.

Bemerkenswert ist, daß auch die Verläufe im Sediment ungefähr ähnlich sind wie die Fluoranthengehalte (Abb. 4.16.b). Offensichtlich haben diese zwei Stoffe denselben Ursprung.

Weil Benzo(b)fluoranthen hauptsächlich in adsorbierter Form vorkommt (> 95 %), gibt es große Differenzen zwischen den gelösten Konzentrationen und den gesamten Konzentrationen (Abb. 4.16.c).

Die berechnete gesamte und gelöste Konzentrationen differieren deutlich, womit die schlechte Löslichkeit und große Affinität für organisches Material Benzo(b)fluoranthens gezeigt wird. Die gesamte Konzentration nimmt stromabwärts zu. Die gelöste Konzentration nimmt stromabwärts ab. (Abb. 4.16.c).

5 DISKUSSION

5.1 Zusammenhang

Kenntnisse über die Zusammenhänge der Gehalte der Schadstoffe in den Teilbereichen Wasser, Schwebstoff, Sediment und Organismen sind notwendig:

1. um die im APR formulierten Ziele (siehe auch Seite 11) für Wasser, Sediment und Organismen, wie sie bei der 8. Ministerkonferenz vom 1. Oktober 1987 in Straßburg verabredet worden sind, erreichen zu können und
2. um ein zweckmäßiges Meßprogramm für die Bestandsaufnahmen der Teilbereiche am Rhein entlang zu entwickeln.

Die in Abschnitt 4 dargestellten Ergebnisse zeigen im Hinblick auf das Vorkommen in verschiedenen Kompartimenten z.T. Übereinstimmungen, z.T. aber auch Abweichungen, die einer Klärung bedürfen.

In den nächsten Abschnitten werden die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Kompartimenten weiter diskutiert. Es geht dabei um die Relationen Wasser-Schwebstoff und Schwebstoff-Sediment und die Relationen dieser Kompartimente mit den Gehalten in Organismen. Die theoretischen Zusammenhänge sind bereits in Ps 48/88 (ref. 1) diskutiert worden.

In dieser Diskussion wird auch die Repräsentativität der Bestimmungen im Schwebstoff aus einer Zentrifuge diskutiert im Vergleich mit den Gehalten im Schwebstoff, der 1988 ein Mal pro Monat bei Lobith gesammelt worden ist.

Des weiteren wird diskutiert, wie die Erfahrungen dieser Untersuchungen für künftige Bestandsaufnahmen anzuwenden sind.

5.2 Verhältnis Wasser - Schwebstoff

5.2.1 Allgemeines

Alle Stoffe sind gemäß folgender Beziehung über Wasser und Schwebstoff verteilt:

$$C_t = C_s \cdot S + C_w$$

- C_t = gesamte Konzentration im Wasser [$\mu\text{g/l}$]
 C_s = Gehalte im Schwebstoff [mg/kg]
 S = Konzentration des Schwebstoffes im Wasser [g/l]
 C_w = gelöste Konzentration im Wasser [$\mu\text{g/l}$]

Wenn aus den Gehalten im Schwebstoff gelöste und gesamte Konzentrationen im Wasser berechnet werden sollen, ist ein Verteilungskoeffizient notwendig. Der Verteilungskoeffizient - K_d für Metalle und K_p für organische Mikroverunreinigungen - ist definiert als:

$$K_d \text{ oder } K_p = \frac{C_s}{C_w}$$

Der Verteilungskoeffizient hängt von vielen Faktoren ab, unter anderem von

- der Zusammensetzung des Schwebstoffes (u.A. organischer Kohlenstoff);
- der Art der in Betracht genommenen Stoffe;
- dem pH des Wassers;
- der Methode der Probenahme.

5.2.2 Metalle

In den Abbildungen 5.1 bis 5.4 sind für die Metalle die pro Probenahmestelle berechneten Verteilungskoeffizienten dargestellt. Die Abbildungen zeigen, daß die K_d -Werte für Cadmium, Blei, Zink, Quecksilber und Nickel stark schwanken. Außer bei Nickel werden die höchsten K_d -Werte im Niederrhein gefunden und die niedrigsten

Werte im Oberrhein. Die starke Schwankung der K_d -Werte für die obengenannten Metalle hängt teilweise mit der Unzuverlässigkeit der bestimmten gelösten Konzentrationen im Oberlauf des untersuchten Rheinabschnitts zusammen. Nicht alle Schwankungen der K_d -Werte können allein aus der Unzuverlässigkeit der gelösten Konzentrationen erklärt werden. Dies bedeutet, daß stromabwärts für Cadmium, Blei, Zink und Quecksilber eine Adsorption der gelösten Metalle an Schwebstoff stattfinden muß. Für Nickel dagegen findet auch eine Desorption statt. Für Chrom, Kupfer und Arsen sind die K_d -Werte ziemlich konstant. Die gelösten Konzentrationen waren für Chrom, Kupfer und Arsen am ganzen Rhein gut zu bestimmen. Die K_d -Werte haben für diese Metalle eine größere Sicherheit (relative Standardabweichung $< 30\%$) als für Cadmium, Quecksilber, Blei und Zink (relative Standardabweichung bis 103%).

Tabelle 5.1 zeigt die Mittelwerte und die Standardabweichungen der K_d -Werte.

Tabelle 5.1: Mittelwerte und Standardabweichungen [l/g] der K_d -Werte für die Unterschiedliche Probenahmestellen. Die K_d -Werte sind aus den Gehalten des gesammelten Schwebstoffs und den gelösten Konzentrationen der Wasserstichproben mit einer Zentrifuge berechnet worden.

	Mittelwert	Standard Deviation (%)
Cadmium	97	90
Quecksilber	57	79
Blei	1192	103
Zink	113	74
Kupfer	34	27
Nickel	80	101
Chrom	55	18
Arsen	17	20

Aus Tabelle 5.1 läßt sich folgern, daß die K_d -Werte für Cadmium, Blei, Zink, Quecksilber und Nickel stark von der Probenahmestelle abhängen, und daß die K_d -Werte für Chrom, Kupfer und Arsen nahezu unabhängig vom Probenahmepunkt sind.

Um aus Schwebstoff die Konzentrationen im Wasser zu berechnen, sind folgende Formeln angewendet worden:

$$\text{gelöste Konzentration: } C_w = \frac{C_s}{K_d} \quad \text{und}$$

$$\text{gesamte Konzentration: } C_t = C_s * \left(\frac{1}{K_d} + S \right)$$

mit

- C_w = Im Wasser gelöster Schadstoffgehalt [$\mu\text{g/l}$]
- C_s = Gehalt im Schwebstoff [mg/kg]
- C_t = Gesamter Schadstoffgehalt der Wasserstichprobe [$\mu\text{g/l}$]
- K_d = Wasser-Schwebstoffverteilungskoeffizient [$1/\text{g}$]
- S = Schwebstoffkonzentration [g/l]

Aus beiden Formeln zeigt sich, daß bei zunehmendem K_d -Wert die Konzentrationen im Wasser abnehmen. Weiter zeigt sich, daß die Unzuverlässigkeit der K_d -Werte bei niedrigen K_d -Werten größer ist als bei höheren Werten. Erfreulicherweise ergibt sich aus Tabelle 5.1, daß die niedrigsten K_d -Werte auch die kleinsten Standardabweichungen haben.

Aus obenstehenden Formeln zeigt sich, daß bei der Berechnung der Gesamtkonzentration die Verhältnisse zwischen $1/K_d$ und S eine Rolle spielen. Die Schwebstoffkonzentration S beträgt im Rhein im allgemeinen mehr als $0,02 \text{ g/l}$. Wenn ein Fehler von 10% akzeptiert wird kann in der Formel ein $1/K_d$ -Wert kleiner als $0,002 \text{ g/l}$ (also ein K_d -Wert größer als 500 l/g) vernachlässigt werden. Für Parameter mit einem K_d -Wert größer als 500 l/g ist deswegen die Bestimmung der Gehalte im Schwebstoff ausreichend für die Feststellung der gesamten Konzentration. Dies ist für die Parameter die in diesem Bericht erörtert werden allein bei Blei der Fall. Umgekehrt darf bei einem $1/K_d$ -Wert größer als 1 g/l (also einem K_d -Wert kleiner als 1 l/g) die Schwebstoffkonzentration vernachlässigt werden, weil in diesem Fall sogar bei Schwebstoffgehalte bis $0,1 \text{ g/l}$ die Beiträge von S in der Formel weniger als 10 % ist. Für Parameter mit einem K_d -Wert kleiner als 1 l/g ist also die Bestimmung der Gehalte ins Wasser ausreichend für die

Feststellung der gesamte Konzentration. Dies ist bei keinem der untersuchten Metalle der Fall.

Tabelle 5.2 zeigt die Fehlerbreite der berechneten Gesamtkonzentrationen aus den Schwebstoffdaten im Vergleich zu den gemessenen Daten. Die Fehler der berechneten Gesamtkonzentrationen lassen sich wie folgt abschätzen:

$$\text{prozentualer Fehler} = \frac{C_{t \text{ gemessen}} - C_{t \text{ berechnet}}}{C_{t \text{ gemessen}}} * 100$$

Für die gelösten Gehalte ist ein derartiger Vergleich nicht möglich, da die berechneten und bestimmten Daten per Definition gleich sind ($K_d = C_s/C_{w \text{ gemessen}}$ und $C_{w \text{ berechnet}} = C_s/K_d$).

Tabelle 5.2 Fehlerschätzung der berechneten Gesamtkonzentrationen. Die Fehler sind angegeben in Prozent der gemessenen Konzentrationen.

	Rekingen	Village-Neuf	Seltz	Koblenz	Bimmen	Lobith	Mittelwert
Cadmium	28	58	51	26	34	42	40
Quecksilber	79	46	65	1	47	66	51
Blei	43	37	1	48	46	51	38
Zink	86	83	16	18	6	10	37
Kupfer	40	20	2	42	135	31	45
Nickel	143	340	58	73	36	43	116
Chrom	52	35	73	3	6	26	33
Arsen	45	68	65	27	36	28	45

Die berechneten Gesamtkonzentrationen weisen also stark schwankende Fehler auf. Für ein- und dasselbe Element kann der Fehler je nach Probenahmestelle vernachlässigbar sein oder auch mehr als 100 % betragen. Durchschnittlich betragen die Fehler 30 - 50 %. Nur Nickel hat im allgemeinen einen großen Fehler.

Daraus läßt sich ableiten:

- Für die Berechnung der Wasserqualität aus der Schwebstoffqualität sind für alle Metalle K_d -Werte und Schwebstoffkonzentrationen notwendig. Nur für Blei kann im allgemeinen die gelöste Konzentration im Vergleich zu dem am Schwebstoff adsorbierten Gehalt vernachlässigt werden.

- Die K_d -Werte von Cadmium, Blei, Zink, Quecksilber und Nickel sind von der Probenahmestelle abhängig. Dies wird teilweise durch die schwierig zu analysierenden niedrigen gelösten Konzentrationen verursacht. Wahrscheinlich spielen auch Adsorptionsprozesse (Cadmium, Blei, Zink und Quecksilber) und Desorptionsprozesse (Nickel) eine Rolle.
- Die gesamten berechneten Konzentrationen weisen unterschiedliche Zuverlässigkeit auf. Zusammen mit der Ortsabhängigkeit der K_d -Werte bedeutet dies, daß Messungen der Schwebstoffqualität zur Abschätzung der Wasserqualität nicht ausreichen, so daß Messungen in der Wasserphase vorläufig notwendig bleiben.

5.2.3 Organische Mikroverunreinigungen

Für die organischen Mikroverunreinigungen ist ein Vergleich Wasser - Schwebstoff wie bei den Metallen nicht möglich, da die Konzentrationen im Wasser meist unter der Bestimmungsgrenze liegen. Es ist daher nur möglich, mit theoretischen Verteilungskoeffizienten (K_p -Werte) die Relationen zwischen den Gehalten im Schwebstoff und den Konzentrationen im Wasser zu beschreiben, und aus den Gehalten im Schwebstoff Konzentrationen im Wasser zu berechnen.

Für die K_p -Werte gilt:

$$K_p = \frac{K_{ow} * 10^{-0.21} * f_{oc}}{1000}$$

mit

- f_{oc} = Fraktion organischer Kohlenstoff des Schwebstoffes
- K_{ow} = Oktanol/Wasser Verteilungskoeffizient
- $10^{-0.21}$ = Konstante

Diese Werte finden sich in den Abbildungen 5.5 bis 5.8. In Übereinstimmung mit der Formel zeigen die Abbildungen, daß der K_p -Wert zunimmt, wenn die Fraktion an organischem Kohlenstoff (f_{oc}) zunimmt. Diese Werte sind dadurch bei Bimmen am höchsten (7.1 % org. Kohlenstoff im Schwebstoff) und bei Rekingen und Village-Neuf am niedrigsten (2.3 % org. Kohlenstoff im Schwebstoff). Wie bei den meisten Metallen sind also auch die K_p -Werte vom Probenahmeort abhängig, so daß auch hier für die Berechnung der Wasserqualität die einzelnen Werte herangezogen wurden. Ersetzt man K_d durch K_p , so kann die für Metalle benutzte Formel angewendet werden:

$$\text{gesamte Konzentration: } C_t = C_s * \left(\frac{1}{K_p} + S \right)$$

mit

- C_w = Im Wasser gelöster Schadstoffgehalt [$\mu\text{g/l}$]
- C_s = Gehalt im Schwebstoff [mg/kg]
- C_t = Gesamter Schadstoffgehalt der Wasserstichprobe [$\mu\text{g/l}$]
- S = Schwebstoffkonzentration [g/l]

Die Standardabweichung der f_{oc} liegt bei 48 % der Mittelwerte. Damit ist für alle Stoffe auch die Standardabweichung des K_p s 48 % der Mittelwerte. Im Gegensatz zu den Metallen ist es aber hier nicht möglich, eine Fehlerschätzung für die berechneten Konzentrationen vorzunehmen.

Wenn der Oktanol/Wasser-Verteilungskoeffizient (K_{ow}) zunimmt, nimmt der K_p -Wert auch zu. Benzo(b)fluoranthen hat dadurch einen viel größeren Verteilungskoeffizienten als zum Beispiel Lindan (γ -HCH). Wenn der Verteilungskoeffizient also größer ist, haftet ein Stoff stärker am Schwebstoff (und Sediment) und löst sich weniger im Wasser.

In den Abbildungen 4.10.c, 4.11.c, usw. bis 4.16.c sind die mit den oben genannten K_p -Werten berechneten gelösten und Gesamtkonzentrationen dargestellt. Wenn K_p zunimmt, wird die Differenz zwischen gelöster und Gesamtkonzentration größer.

Bei den Metallen hat sich gezeigt, daß bei einem Verteilungskoeffizienten größer als 500 l/g die Konzentrationen im Wasser vernachlässigt werden können. Umgerechnet (siehe Formel an Seite 47) ist das ein $\log K_{ow} > 7.2$. Keine der betrachteten organischen Mikroverunreinigungen hat einen derartig großen Verteilungskoeffizienten.

Weiter hat sich bei den Metallen gezeigt, daß bei einem Verteilungskoeffizient kleiner als 1 l/g die Schwebstoffkonzentration vernachlässigt werden kann. Umgerechnet ist das der Fall bei einem $\log K_{ow} < 4.5$. Dies ist nur für Lindan der Fall. Bei einem derartig niedrigen Verteilungskoeffizienten ist es deshalb besser, Wasser statt Schwebstoff zu analysieren.

Es ist bemerkenswert, daß speziell für die organischen Mikroverunreinigungen mit hohen K_{ow} -Werten gelöste und Gesamtkonzentrationen berechnet worden sind, die kleiner als die Detektionsgrenze von 10 ng/l für PAKs und 1 ng/l für die chlorierten organischen Mikroverunreinigungen sind. Tabelle 5.3 gibt eine Zusammenfassung dieser berechneten gelösten und gesamten Konzentrationen.

Tabelle 5.3 Zusammenfassung der berechneten gelösten und gesamten Konzentrationen in ng/l. Die Konzentrationen sind Mittelwerte der einzelnen berechneten Konzentrationen. Die Standardabweichungen sind in Prozent der Mittelwerte angegeben.

	gelöste Konz.	Standard- deviation [ng/l]	[%]	gesamte Konz.	Standard- deviation [ng/l]	[%]
Lindan (γ -HCH)	30.6	138		30.8	138	
Hexachlorbenzol (HCB)	1.2	74		2.7	49	
p,p'-DDE	0.15	106		0.28	96	
PCB-28	0.37	106		0.53	105	
PCB-138	0.22	49		0.70	37	
Fluoranthen	199	42		219	36	
Benzo(b)fluoranthen	3.3	41		14.1	15	

Geschlossen werden kann, daß

- für die Berechnung der Wasserqualität aus der Schwebstoffqualität für alle organischen Mikroverunreinigungen Verteilungskoeffizienten und Schwebstoffkonzentrationen notwendig sind;
- nur für Lindan die gesamte Konzentration ohne Messung im Schwebstoff gut abgeschätzt werden kann, weil Lindan nahezu völlig gelöst vorkommt;
- die K_p -Werte vor allem von der Fraktion an organischem Kohlenstoff abhängig sind. Damit sind die K_p -Werte vom Probenahmepunkt abhängig;
- über die Verlässlichkeit der berechneten Konzentrationen keine Aussage gemacht werden kann, da es keine gemessenen Konzentrationen in der Wasserphase gibt;
- für die betrachteten organischen Mikroverunreinigungen die Detektionsgrenze für die Bestimmungen in der Wasserphase ein Problem darstellen. Deshalb besteht wenig Aussicht die gelösten Konzentrationen verlässlich zu bestimmen und die Verteilungskoeffizienten aufgrund Meßergebnisse zu berechnen.

5.3 Relation Schwebstoff - Sediment

Im Bericht über die Sedimentuntersuchung wurde schon angemerkt, daß bei der Probenahme möglicherweise auch ältere Schichten entnommen wurden oder daß sich an bestimmten Stellen kürzlich abgelagertes Sediment mit älterem Sediment vermischt hat.

Eine Methode um dies zu verifizieren, ist die Umrechnung des Schwebstoffes in Sediment, um danach diese Ergebnisse mit den gemessenen Sedimenten zu vergleichen. Für die organische Mikroverunreinigungen sollten die Gehalte dabei standardisiert werden auf 2.5% organischer Kohlenstoff (s. § 4.6). In den Abbildungen 4.2.b, 4.3.b, usw. bis 4.16.b sind diese Ergebnisse dargestellt.

Eine Zusammenfassung dieser Abbildungen enthält Tabelle 5.4. In Tabelle 5.4 sind die Verhältnisse zwischen den gemessenen Gehalten im Sediment und den aus der Schwebstoffqualität berechneten Gehalten im Sediment wiedergegeben.

Tabelle 5.4 Verhältnisse zwischen den gemessenen Gehalten im Sediment und aus den der Schwebstoffqualität berechneten Gehalten im Sediment. Für die organische Mikroverunreinigungen basieren die Verhältnisse sich auf standardisierten gehalten. (Für Augst und Birsfelden könnten keine Verhältnisse berechnet werden weil Schwebstoffdaten fehlen).

	Seltz	Koblenz	Bimmen	Lobith	Mittelwert	Standarddev. (% der Mittelw.)
Cadmium	<u>0.9</u>	<u>0.8</u>	<u>0.9</u>	2.7	1.3	68
Quecksilber	<u>1.1</u>	<u>1.0</u>	<u>1.3</u>	3.2	1.6	64
Blei	<u>0.7</u>	<u>0.8</u>	<u>0.9</u>	<u>1.5</u>	1.0	36
Zink	<u>0.7</u>	<u>0.8</u>	<u>1.0</u>	<u>1.5</u>	1.0	36
Kupfer	<u>0.9</u>	<u>1.0</u>	<u>1.1</u>	<u>1.5</u>	1.2	24
Nickel	<u>0.8</u>	<u>0.9</u>	<u>1.0</u>	<u>1.0</u>	0.9	12
Chrom	<u>0.8</u>	<u>0.8</u>	<u>1.1</u>	1.9	1.1	46
Arsen	<u>1.2</u>	<u>1.2</u>	<u>1.1</u>	1.8	1.3	23
Lindan (γ -HCH)	<u>0.9</u>	> <u>0.7</u>	> <u>1.8</u>	<u>0.7</u>	> 1.0	53
HCB	18.1	6.8	3.0	2.2	7.5	97
p,p'-DDE	2.0	2.0	1.9	3.1	2.3	25
PCB-28	<u>1.4</u>	4.1	3.4	10.5	4.9	81
PCB-138	<u>0.9</u>	1.9	2.5	3.2	2.1	46
Fluoranthren	<u>1.5</u>	3.8	6.4	7.3	4.8	55
Benz(b)fluorant.	<u>1.3</u>	2.8	5.3	5.7	3.8	55

Ein Verhältnis von 1 bedeutet gleiche Qualität für Sediment und Schwebstoff. Das Sediment ist entweder schon längere Zeit in dieser Qualität abgelagert worden (stabilisierte Belastung über längere Zeit), oder die Sedimentproben bestanden nur aus sehr rezentem abgelagertem Material. Diese Fälle (Bandbreite 0.7-1.5) sind unterstrichen. Derartige Verhältnisse kommen häufig vor.

Ein Verhältnis größer 1 bedeutet, daß der Schwebstoff sauberer ist als das Sediment. Diese älteren Verunreinigungen kommen insbesondere an der Meßstelle Lobith vor.

Ein Verhältnis kleiner 1 bedeutet, daß das Sediment sauberer ist als der Schwebstoff.

Hier kann von einer zunehmenden Verschmutzung der Schwebstoffe im Vergleich zur Vergangenheit gesprochen werden. Ein derartiger Trend ist jedoch nicht zu erkennen.

Die Gehalte an Metallen und Lindan im Schwebstoff und Sediment stimmen an den Probenahmestellen Seltz, Koblenz und Bimmen gut überein. In Seltz (Iffezheim) gilt für fast alle Stoffe eine ähnliche Belastung des Schwebstoffes und des Sedimentes.

An der Meßstelle Lobith sind für fast alle Parameter jedoch die direkt im Sediment bestimmten Gehalte höher.

Für die Meßstellen Augst und Birsfelden können keine Verhältnisse berechnet werden, weil Schwebstoffdaten fehlen.

Auf grund vorgehendes ist zu folgern, daß

- die Gehalte im Sediment aus den Gehalten im Schwebstoff berechnet werden können, wenn es über längere Zeit eine konstante Belastung des Schwebstoffes gibt;
- im Sediment an der Meßstelle Lobith höhere Gehalte bestimmt worden sind, als aufgrund der aktuellen Schwebstoffqualität zu erwarten wäre.
Es deutet weiter darauf hin, daß bei den Probenahmestellen Seltz, Koblenz und Bimmen die Sedimente aus rezentem abgelagertem Material bestanden.
Für die Sedimentmeßstellen Augst und Birsfelden ist infolge fehlen von Schwebstoffdaten kein Vergleich zu machen zwischen der Sedimentqualität und der aktuellen Schwebstoffqualität.

5.4 Gehalte der Organismen und deren Verhältnis zu Wasser, Schwebstoff und Sediment

Schadstoffgehalte wurden in zwei Arten von Organismen bestimmt, den aquatischen Moosen (*Fontinalis antipyretica*) und den Dreikantmuscheln (*Dreissena polymorpha*). Um die Ergebnisse beider Arten vergleichen zu können, wurden die Schadstoffgehalte auf

die Trockensubstanz bezogen und nicht, wie es bei Muscheln oft geschieht, auf den Fettgehalt. Siehe hierzu die Abb. 4.2.d, 4.3.d bis 4.14.d.

Da die organischen Mikroverunreinigungen in Moosen nicht zuverlässig bestimmt wurden, beschränkt sich der Vergleich auf Cadmium, Quecksilber, Blei, Chrom und Kupfer.

In Tabelle 5.5 sind die Verhältnisse zwischen den Gehalten in Moosen und Muscheln wiedergegeben.

Tabelle 5.5 Verhältnisse zwischen den Gehalten in Moosen und den Gehalten in Muscheln (bezogen auf die Trockensubstanz). Siehe auch den Abbildungen 5.9 bis 5.19.

	Rekingen	Vil.Neuf	Seitz	Koblentz	Bimmen	Lobith	Mittelwert	Stand. Dev(%)	K_d oder K_p [l/g]	BCF [l/g]	Moose	Muscheln
Cadmium	2.1	1.5	2.7	1.5	2.0	1.5	1.9	242	97	123	66	
Quecksilber	0.2	0.1	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	250	57	5	24	
Blei	7.1	5.9	3.2	4.4	7.1	5.3	5.5	245	1192	228	41	
Kupfer	1.6	1.7	1.6	1.6	1.8	2.2	1.8	239	34	19	11	
Chrom	0.6	<u>0.8</u>	<u>0.9</u>	<u>1.1</u>	3.7	1.6	1.5	240	55	6	5	
HCB									42		101	
PCB-28									12		31	
PCB-138									71		247	

Ein Verhältnis größer als 1 bedeutet also, daß die Gehalte in Moosen höher sind und

Ein Verhältnis kleiner als 1 bedeutet, daß die Gehalte in Moosen niedriger sind.

Ein Verhältnis gleich 1 bedeutet, daß die Gehalte in Moosen und Muscheln gleich sind. Verhältnisse zwischen 0,7 und 1,5 (50 % Bandbreite) sind unterstrichen.

In Tabelle 5.5 sind auch die mittleren Verteilungskoeffizienten (K_d oder K_p) und die mittleren Biokonzentrationsfaktoren (BCF = Gehalt in Organismen / Gehalt ins Wasser) aufgeführt. Es kann daraus abgelesen werden, daß dann die BCF-Werte der Moose im allgemeinen höher als die der Muscheln sind, wenn auch die Gehalte in den Moosen höher sind.

Der Vergleich ergibt im allgemeinen, daß

- die Gehalte in Moosen höher sind für Cadmium (Faktor 2), Blei (Faktor 5,5), Chrom (Faktor 1,5) und Kupfer (Faktor 2) als die Gehalte in Muscheln.
- die Gehalte in Muscheln höher sind für Quecksilber (Faktor 5) als die Gehalte in Moosen.
- Quecksilber, Blei und Chrom im Vergleich mit Organismen am besten im Schwebstoff angereichert werden.
- Cadmium und Kupfer sich ungefähr gleich stark im Schwebstoff und in den Moosen anreichern.
- HCB, PCB-28 und PCB-138 reichern sich besser in Muscheln an als im Schwebstoff. Diese Stoffe haben hohe K_{ow} -Werte, also eine große Affinität für Fett, so daß in Muscheln die Gehalte höher sind als im Schwebstoff oder Sediment.

Es zeigt sich deutlich, daß es keinen Bereich gibt, in dem sich alle Stoffe bevorzugt anreichern. Dieser ist abhängig von den Eigenschaften der zu bestimmenden Stoffe, in diesem Fall von den Verteilungskoeffizienten K_d und K_p sowie den Biokonzentrationsfaktoren. Dies macht es nicht möglich, basierend auf diesen Eigenschaften, Meßprogramme festzulegen. Daher ist ein pragmatisches Verfahren notwendig. Mehrere Faktoren sollen dabei betrachtet werden, wie die Nachweisgrenze in den spezifischen Teilbereichen, die Ausführbarkeit, die Kosten, usw. (siehe auch Abschnitt 5.6).

5.5 Repräsentativität der Schwebstoffproben

Im Jahr 1988 wurde in den Niederlanden mit der routinemäßigen Probenahme von Schwebstoff an der Meßstelle Lobith begonnen. Zwölfmal, also einmal im Monat, wurden mit der Zentrifuge vom Meßponton Schwebstoffproben gesammelt. Diese Proben wurden im Labor von DBW/RIZA untersucht auf Korngrößenverteilung, organischen Kohlenstoff, Metalle und organische Mikroverunreinigungen. Die Ergebnisse dieser routinemäßigen Untersuchung sind für die organische Mikroverunreinigungen umgerechnet auf den Standardschwebstoff in Tabelle 5.6 wiedergegeben.

Tabelle 5.6 Ergebnisse der routinemäßigen Schwebstoffuntersuchung und der IKSR-Untersuchung bei Lobith im Jahr 1988. Für die organische Mikroverunreinigungen sind die Gehalte standardisiert auf 2,5% organischem Kohlenstoff.

Datum:	13-1	10-2	9-3	6-4	1-6	29-6	8-7 (IKSR Untersuchung)	27-7	24-8	21-9	19-10	23-11	14-12	Mit. Wert	St. Dev	Abweichung IKSR-Lobith/ 1988-Lobith (%)	
Abfluß	(m ³ /s)	2909	4597	2621	6108	2518	1975	2056	1820	1315	1507	2274	1264	4524	2730	54	-25
Schwebstoff	(mg/l)	13	67	34	41	29	39	48	38	21	19	32		59	37	43	30
Kohlenstoff	(%)	5.4	4.8	7.3	3.3	6.5	6.1	6.5	7.9	6.5	5.3	3.7	6.2	4.6	5.7	24	14
Ton	(%)	39	48	36	41	33	32	39	31	32	32	32	45	39	36.8	15	6
Cadmium	(mg/kg)	4.2	1.9	3.4	< 0.1	3.2	2.8	2.6	2.9	3.7	3.4	2.3	5.2	2.0	2.9	52	10
Quecksilber	(mg/kg)	0.5	0.4	0.7	0.8	0.9	0.9	1.0	1.2	1.3	1.3	0.9	1.8	0.6	0.9	42	11
Blei	(mg/kg)	114	103	238	81	126	115	138	184	144	148	107	175	93	136	33	1
Zink	(mg/kg)	486	436	769	417	626	510	592	637	615	624	406	770	377	556	25	6
Kupfer	(mg/kg)	106	66	102	65	154	158	99	124	138	106	154	73	113	31	31	-12
Nickel	(mg/kg)	65	62	67	56	51	44	58	38	45	52	68	48	48	54	18	7
Chrom	(mg/kg)	100	90	113	98	112	90	97	93	105	113	107	123	79	102	12	-5
Arsen	(mg/kg)	18	19	21	17	19	16	17	21	21	20	18	27	18	20	15	-15
Lindan	(µg/kg)	1	1	< 1	< 1	2	< 1	< 0.8	2	< 1	< 1	2	1	< 1	< 2		
HCB	(µg/kg)	33	6	13	11	12	15	16	13	10	17			5	15	53	-6
p,p'-DDE	(µg/kg)	4	5	4	6	6	7	1.7	3	4	2	8	6	5	5	34	-66
PCB-28	(µg/kg)	6	3	2	5	3	13	3.8	5	4	< 1	6	9	2	5	69	-24
PCB-138	(µg/kg)	9	8	6	11	11	16	8.0	7	10	8	38	17	12	13	68	-38
Fluoranthen	(mg/kg)	11	5	0.6			0.3	0.25	0.1	0.4	0.5	0.6	0.5	0.4	1.9	180	-87
Benzo(b)flu.	(mg/kg)	0.5	0.3	0.4			0.2	0.13	< 0.1	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	43	-57

Aus dieser Tabelle wird ersichtlich, daß die Schadstoffgehalte der IKSR-Untersuchung bei Lobith (dieser Bericht und Ps 63/89) sowie der organische Kohlenstoffgehalt und der Tongehalt gut übereinstimmen mit den Gehalten der 12 routinemäßigen Schwebstoffuntersuchungen. Alle Gehalte der IKSR-Untersuchung - mit Ausnahme von p,p'-DDE und Fluoranthen - liegen innerhalb der Standardabweichung des Mittelwertes der routinemäßigen Untersuchung. Die Zusammensetzung der IKSR-Schwebstoffprobe vom 08.07.1988 kann also als repräsentativ für die allgemeine Zusammensetzung des Schwebstoffes bei Lobith im Jahr 1988 gehalten werden. Es ist bemerkenswert, daß die Standardabweichung der Metalle im Schwebstoff geringer ist, als die Standardabweichung der organischen Mikroverunreinigungen. Die Standardabweichung der Metalle liegt meistens unter 40 %. Die meisten organischen Mikroverunreinigungen haben eine Standardabweichung über 50 %. Die Ursache dieser größeren Standardabweichung ist nicht bekannt. Vielleicht mögen Probleme bei der Analytik hier eine Rolle spielen.

Hieraus kann gefolgert werden, daß

- die Ergebnisse der IKSU-Untersuchung bei Lobith repräsentativ sind für die während eines ganzen Jahres gemachten Untersuchungen.
- die organischen Mikroverunreinigungen über ein ganzes Jahr (1988) eine größere Streuung (Standardabweichung 34-180% des Mittelwertes) haben als die Metalle (12 - 52 %).

5.6 Empfehlungen für künftige Bestandsaufnahmen

In den Abschnitten 5.2 und 5.4 ist unter anderem die Anreicherung von Stoffen im Wasser, Schwebstoff, Sediment und biologischem Material diskutiert worden. Daraus kann geschlossen werden, daß es für jeden Stoff unterschiedlich ist, ob er sich am stärksten im Schwebstoff, in Muscheln oder Moosen anreichert oder überwiegend im Wasser gelöst vorliegt (siehe auch Abschnitt 5.4).

Für die Einrichtung eines Meßprogramms mit dem Ziel, das aquatische System zu überwachen, oder mit dem Ziel einer momentanen Bestandsaufnahme (IKSU) ist nicht nur die unterschiedliche Anreicherung der Stoffe im Wasser, Schwebstoff, Sediment und biologischem Material von Bedeutung, sondern es müssen auch verstärkt die Probleme bei der Probenahme und bei den Analysenverfahren berücksichtigt werden.

Auch für die weitere Bearbeitung dieser Daten, um aus ihnen die Konzentrationen im Wasser oder die Frachten zu berechnen, ist verstärkt Arbeit nötig, da für jeden Teilbereich Verteilungskoeffizienten und Biokonzentrationsfaktoren benötigt werden.

Dies bedeutet, daß bei der Einrichtung eines Meßprogramms nicht allein die Eigenschaften der Stoffe in Betracht gezogen werden müssen, sondern es muß auch berücksichtigt werden, daß

- die Methoden der Probenahme möglichst vereinfacht werden.

- eine reproduzierbare Probenahme angestrebt wird.
- die Analysenverfahren standardisiert werden, um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten.
- die Umrechnung der Ergebnisse in andere Teilbereiche so einfach und so reproduzierbar wie möglich ist.
- die Berechnung der Frachten (Transport von Masseinheiten durch den Querschnitt) möglich ist.

Die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Teilbereiche sind in Tabelle 5.7 aufgeführt. Die Tabelle gibt die Zusammenfassung der Problematik wieder und betrifft sowohl die Metalle als auch die organischen Mikroverunreinigungen.

Für jede Art der Probenahme eines Teilbereiches ist abzulesen, welche Vor- und Nachteile auftreten können.

Tabelle 5.7 Zusammenfassung der Vor- und Nachteile für die Bestimmung adsorbierbarer Verunreinigungen in den unterschiedlichen Teilbereichen unter Berücksichtigung der Schwierigkeit der Probenahme, des Analysenaufwandes, der Frachtbestimmung, der Vorhersagbarkeit der Sedimentqualität und der Relevanz für das Ökosystem

Legende:

+ : Vorteil des spezifischen Teilbereiches

- : Nachteil des spezifischen Teilbereiches

± : Keine deutlichen Vorteile oder Nachteile des spezifischen Teilbereiches

	Anstrengung Probenahme und Analyse	Bestimmung der Konzentration (Wasser)	Bestimmung des Gehalts (Schwebstoff)	Bestimmung der Fracht	Vorhersagbarkeit Sedimentqualität	Relevanz für das Ökosystem
<u>Wasser:</u>						
Gesamte Konz. (C_t)	+	±	-	±	±	±
Gelöste Konz. (C_w)	+	-	-	-	±	+
$C_t + C_w$	±	±	-	-	±	+
<u>Schwebstoff</u>						
C_s	±	±	+	±	+	±
<u>Sediment</u>						
C_b	±	-	±	±	±	±
<u>Wasser + Schwebstoff</u>						
$C_w + C_s$	±	±	+	+	+	+
$C_t + C_s$	±	+	+	±	+	±
<u>Organismen</u>						
Moose	-	±	-	±	±	+
Muscheln	-	±	-	-	±	+

Es ist abzulesen, daß - mit dem Ziel der Überwachung des aquatischen Systems oder einer momentanen Bestandsaufnahme (IKSR) - für die hier berücksichtigten adsorbierbaren Schadstoffe die Probenahme des Schwebstoffes die meisten Vorteile bietet. Eine sehr wichtige Voraussetzung dabei ist, daß die Verteilungskoeffizienten gut bekannt sein müssen, wenn aus den Schwebstoffdaten die Konzentrationen im Wasser abgeschätzt werden sollen. Für die meisten Schadstoffe sind die Verteilungskoeffizienten noch nicht genau genug bekannt, um eine gute Abschätzung der Wasserqualität zu erreichen. Die wichtigste Ursache hierfür ist, daß die Wasserqualität selbst, in diesem Fall die gelöste Konzentration, nicht gut analysierbar war. Die gelöste Konzentrationen lassen sich bei den heutigen Bestimmungsgrenze nur für die Metalle Kupfer, Chrom, Arsen und Nikkel an allen Meßstellen dem Rhein entlang gut analysieren (siehe Anlage 1 Tabelle 7).

Für die ausgewählten organischen Mikroverunreinigungen besteht wenig Aussicht die gelösten Konzentrationen verlässlich zu bestimmen und die Verteilungskoeffizienten zu berechnen.

Es wurde auch überprüft, ob man als Alternative statt der gelösten Konzentrationen die Gesamtkonzentration für die Berechnungen zugrunde legt. Für die Metalle sind die Gesamtkonzentrationen gut zu bestimmen. Für die organischen Mikroverunreinigungen gibt es Probleme, da die Gesamtkonzentration von vielen dieser Schadstoffe unter der Nachweisgrenze liegt. Wenn jedoch die Gesamtkonzentration bekannt ist, kann der K_d -Wert berechnet werden mittels der Formel $C_i = C_s * (1/K_d + S)$. Die K_d -Werte nach dieser Berechnung waren jedoch ungenauer (größere Streuung, sogar negative Werte), so daß daraus gefolgert werden kann, daß die einzige in Betracht kommende Art um K_d -Werte zu berechnen die ist, welche in diesem Bericht vorgenommen wurde. Damit diese vorgenommene Methode gut angewendet werden kann, ist es notwendig die gelöste Gehalte für alle Metalle feststellen zu können. Für die Metalle Cadmium, Quecksilber, Blei und Zink bedeutet es daß niedrigere Bestimmungsgrenze notwendig sind.

Das Obenstehende macht deutlich, daß es mit den heutigen Meßwerten noch nicht mit ausreichender Genauigkeit möglich ist, aus den Gehalten im Schwebstoff die Konzentration im Wasser zu berechnen. Jedoch ist es möglich festzustellen, in welchem Teilbereich ein Schadstoff am besten bestimmt werden kann. Die Entscheidung für eine Bestimmung im Wasser oder im festen Material ist abhängig vom Verteilungskoeffizienten. Im Abschnitt 5.2 ist diskutiert worden, daß Stoffe mit einem Verteilungskoeffizienten unter 1 l/g (oder $\log K_{ow} < 4.5$) am besten im Wasser bestimmt werden können, da der an Schwebstoff adsorbierte Anteil zu vernachlässigen ist und daß Schadstoffe mit einem Verteilungskoeffizienten über 500 l/g (oder $\log K_{ow} > 7.2$) am besten im Feststoff bestimmt werden können, da der Anteil der gelösten Konzentration vernachlässigbar ist. Für eine derart globale Einteilung ist es auch nicht notwendig die Verteilungskoeffizienten genau zu kennen. Eine Einteilung über ganzzahlige $\log K_{ow}$ -Werte ist im allgemeinen genau genug.

Für die ganze Gruppe von Stoffen, die im Rahmen der IKSR für die Überwachung und die momentane Bestandsaufnahme in Betracht kommen, kann somit folgende Einteilung erfolgen (s. Tabelle 5.8):

Tabelle 5.8 Einteilung von prioritären Stoffen der IKSR nach den Teilbereichen, in denen sie am besten analysiert werden können, mit dem Ziel der Überwachung und der momentanen Bestandsaufnahme

	Wasser	Schwebstoff		Wasser	Schwebstoff
Phosphate	+	+	PCBs		+
Ammonium	+		Drins		+
Cadmium	+	+	Endosulfan	+	
Chrom	+	+	Hexachlorbutadien	+	
Kupfer	+	+	Pentachlorphenol	+	(+)
Quecksilber	+	+	Chloraniline	+	
Blei	(+)	+	Azinfos-methyl	+	
Nickel	+	+	Parathion	+	
Zink	+	+	Parathion(-methyl)	+	
Benzol	+		Fenthion	+	
1,1,1-trichloorethan	+		Bentazon	+	
1,2-dichloorethan	+		Dibutylzinnverbindungen	+	+
Tetrachloorethan	+		Tributylzinnverbindungen	+	+
Tetrachlormethan	+		Tetrabutylzinnverbindungen	+	+
Trichloorethan	+		Atrazin	+	
Trichlormethan	+		Simazin	+	
Trichlorbenzol	+	+	Chlornitrobenzol	+	
HCB		+	Trifluralin	+	

Für die weiteren Bestandsaufnahmen kann gefolgert werden:

- Bei der Bestimmung der Gehalte oder Konzentrationen in einem Teilbereich (Wasser oder Schwebstoff) ist es wegen der Unzuverlässigkeit der Verteilungskoeffizienten noch nicht möglich, die Qualität in den anderen Teilbereichen genau genug zu berechnen. Dies gilt besonders bei Gehalten oder Konzentrationen in der Nähe der Nachweisgrenze.
- Die Bestimmung der wenig löslichen Stoffe im Schwebstoff und der gut löslichen Stoffe im Wasser ist für das Ziel der Überwachung der aquatischen Umwelt oder einer momentanen Bestandsaufnahme (IKSR) dann am besten geeignet, wenn
 - * Stoffe mit einem Verteilungskoeffizienten unter 1 l/g ($\log K_{ow} < 4.5$) im Wasser bestimmt werden. Die gesamten und gelösten Konzentrationen unterscheiden sich wenig.
 - * Stoffe mit einem Verteilungskoeffizienten zwischen 1 l/g ($\log K_{ow} = 4.5$) und 500 l/g ($\log K_{ow} = 7.2$) im Wasser und Schwebstoff (und Sediment) bestimmt werden. Diese Schadstoffe verteilen sich etwa in gleichem Maße zwischen Wasser und Schwebstoff.
 - * Stoffe mit einem Verteilungskoeffizienten größer als 500 l/g ($\log K_{ow} > 7.2$) im Schwebstoff (und Sediment) bestimmt werden.
- Für spezifische Informationen über das Ökosystem können ergänzende Untersuchungen der Organismen notwendig sein.
- Beim Vorhandensein älterer Verunreinigungen im Sediment ist es zusätzlich erforderlich das Sediment zu untersuchen, da die Schwebstoffqualität keinen Hinweis auf diese älteren Verunreinigungen gibt.
- Weiter sollte versucht werden für die Metalle aufgrund mehrere Daten bessere Verteilungskoeffizienten festzustellen. Für die Metalle Cadmium, Quecksilber, Blei und Zink sind dabei niedrigere Bestimmungsgrenze notwendig.

6 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Wasser und Schwebstoff

1. Die Verteilungskoeffizienten für Metalle, die aus den Ergebnissen der Wasserstichproben und Schwebstoffproben berechnet worden sind, haben eine große Variation. Zwei Faktoren haben hierauf Einfluß:
 - Die pro Probenahmeort differierenden Verteilung über Schwebstoff und Wasser und
 - die Unsicherheit, die mit den schwierig zu analysierenden gelösten Konzentrationen zusammenhängt.

Die gelösten Konzentrationen der Metalle im Rheinwasser sind manchmal in der Nähe oder niedriger als die Bestimmungsgrenze. Dies gilt insbesondere für Cadmium, Quecksilber, Blei und Zink.

Für Cadmium, Quecksilber, Blei und Zink ist es so, daß die Gehalte im Schwebstoff den Rhein entlang im Vergleich mit den gelösten Gehalten zunehmen. Für Nickel nehmen die Gehalte dagegen ab. Die Verteilungskoeffizienten dieser fünf Metalle sind daher abhängig vom Probenahmeort.

Die Fehler, die bei der Berechnung der Wasserqualität aus der Schwebstoffqualität bei Anwendung des Verteilungskoeffizienten gemacht werden, sind pro Metall durchschnittlich 30 - 50 % der gemessenen gesamten Konzentration. Für Nickel sind die Fehler erheblich größer (s. Tabelle 5.2).

Für Kupfer, Chrom und Arsen ist es so, daß die Verteilungskoeffizienten Wasser/Schwebstoff viel weniger vom Probenahmeort abhängig sind (s. Tabelle 5.1).

Die Fehler, die bei der Berechnung der Wasserqualität aus der Schwebstoffqualität gemacht werden, sind aber auch hier pro Metall durchschnittlich 30 - 50 % der gemessenen gesamten Konzentration.

Es ist gewünscht bei neue Untersuchungen zu versuchen bessere Verteilungskoeffizienten für die Metalle festzustellen. Für die Metalle Cadmium, Quecksilber, Blei und Zink sind dabei niedrigere Bestimmungsgrenze notwendig.

2. Die Verteilungskoeffizienten (für Metalle) sind jetzt abgeleitet aus Schwebstoffproben (Probenahme über mehrere Stunden mit einer Durchflußzentrifuge) und aus Wasserstichproben (Momentaufnahme). Die Verteilungskoeffizienten beziehen sich daher auf unterschiedliche Proben, entnommen in unterschiedlichen Zeitabschnitten.

Dieses Problem ist zu lösen, wenn bei künftigen Untersuchungen nicht allein Schwebstoffproben gesammelt, sondern auch Wassersammelproben aus dem Zuleitungsrohr der Zentrifuge entnommen werden.

3. Es ist nicht möglich, die Verteilungskoeffizienten für organische Mikroverunreinigungen aus den Untersuchungen abzuleiten, weil die untersuchten Stoffe in Konzentrationen vorlagen, die niedriger waren als die Detektionsgrenze. Die Verteilungskoeffizienten sind daher aufgrund theoretischer Korrelationen aus den Oktanol/Wasser-Verteilungskoeffizienten und dem organischen Kohlenstoffgehalt des Schwebstoffes berechnet worden. Nach dieser Berechnung nimmt der relative Gehalt im Schwebstoff zu mit der Zunahme des organischen Kohlenstoffes im Schwebstoff und mit der Zunahme der Oktanol/Wasser-Verteilungskoeffizienten. Eine Fehlerabschätzung wie bei den Metallen ist nicht möglich.
4. Die Ergebnisse der IKSR-Schwebstoffuntersuchungen bei Lobith sind vergleichbar mit den Ergebnissen der Untersuchungen, die während eines ganzen Jahres bei Lobith durchgeführt worden sind.

Schwebstoff und Sediment

5. Für mehrere Stoffe (insbesondere alle Metalle) stimmen die Gehalte im Schwebstoff und im Sediment ziemlich gut überein. Dies ist speziell bei den Probenahmeorten Seltz (Iffezheim), Koblenz und Bimmen der Fall. Für die Lokation Lobith sind für mehrere Parameter die Gehalte im Sediment höher, vermutlich infolge Mischung mit älteren Sedimentschichten. Für die Lokationen im Oberrhein (Rekingen, Augst, Birsfelden und Village Neuf) konnten Gehalte im Sediment und im Schwebstoff nicht miteinander verglichen werden, weil es zwischen den Schwebstoffprobenahmeorten und den Sedimentprobenahmeorten Einleitungen gibt. Für künftige Untersuchungen sollte versucht werden an denselben Lokation Schwebstoff- und Sedimentproben zu entnehmen.
6. Die Bewertung der Entwicklung der Qualität des Rheins anhand der Sedimentqualität ist weniger eindeutig als die Bewertung anhand der Schwebstoffqualität. Die Gehalte im Schwebstoff geben ein Bild der aktuellen Qualität. Die Geschichte der Wasserqualität spiegelt sich in der Sedimentqualität wieder. Bei Sedimentuntersuchungen ist es diesfalls gewünscht unterschiedlich tiefe Schichten zu untersuchen.
7. Bei Sedimentuntersuchungen mit dem Zweck rezent Material zu Analysieren, sollte darauf geachtet werden, daß die obere Schicht manchmal nicht nur aus sehr rezent abgelagertem Sediment zusammengesetzt sein kann. Um feststellen zu können ob es sich handelt um rezent abgelagertem Sediment liefern Vertikal mit einer Stoßröhre genommene Sedimentproben bessere Kenntnisse über die Sedimentqualität, weil dann auch unterschiedlich tiefe Schichten analysiert werden können.

Wasser, Schwebstoff und Organismen

8. Es gibt keinen eindeutig bevorzugten Teilbereich für die Messung der Schadstoffe. Der bevorzugte Teilbereich ist abhängig von den Stoffeigenschaften, in diesem Falle von den Verteilungskoeffizienten K_d , K_p und den Biokonzentrationsfaktoren:
- * Quecksilber, Blei und Chrom adsorbieren am besten an Schwebstoff.
 - * Cadmium und Kupfer reichern ungefähr gleich stark im Schwebstoff und in den Moosen an.
 - * HCB, PCB-28 und PCB-138 reichern sich besser in Muscheln an als im Schwebstoff. Diese Stoffe haben hohe K_{ow} -Werte, also eine große Affinität für Fett, so daß in Muscheln die Gehalte höher sind als im Schwebstoff oder Sediment.
 - * Über Fluoranthen und Benzo(b)fluoranthen ist nicht bekannt, in welchem Teilbereich sie sich am stärksten anreichern. Diese Schadstoffe sind nur im Schwebstoff und im Sediment bestimmt worden.

Empfehlungen für Bestandsaufnahmen

9. Für Stoffe wie Metalle und organische Mikroverunreinigungen, die stark am Schwebstoff adsorbieren (Verteilungskoeffizient > 500 l/g oder $\log K_{ow} > 7.2$), bietet die Messung der Gehalte in Schwebstoffen, die mit einer Durchflußzentrifuge gesammelt wurden, eine zuverlässige Methode um die Qualität des Rheins im Laufe der Zeit zu verfolgen. Die gelösten Konzentrationen sind für diese Stoffe vernachlässigbar.

Für Stoffe mit Verteilungskoeffizienten < 500 l/g sind die gelösten Konzentrationen nicht mehr vernachlässigbar. Eine Abschätzung der Wasserqualität ist wegen der großen Variation der Verteilungskoeffizienten mit den heutigen Ergebnisse noch nicht möglich, so daß die Bestimmung der Schwebstoffqualität und der Wasserqualität (wo möglich gesamte und gelöste Konzentrationen) notwendig wird.

Bei Verteilungskoeffizienten < 1 l/g (oder $\log K_{ow} < 4.5$) sind die an Schwebstoff adsorbierten Gehalte vernachlässigbar im Vergleich zu den gelösten Konzentrationen. Für Stoffe mit solchen Verteilungskoeffizienten bietet die Messung der (gesamten) Konzentrationen in der Wasserphase eine zuverlässige Methode um die Qualität des Rheins im Laufe der Zeit zu verfolgen.

Zusammengefaßt:

- * Verteilungskoeffizient > 500 l/g oder $\log K_{ow} > 7.2$:
Bestimmung der Schwebstoffqualität;
- * 1 l/g $<$ Verteilungskoeffizient < 500 l/g oder $4.5 < \log K_{ow} < 7.2$:
Bestimmung der Schwebstoffqualität und der Wasserqualität (wenn möglich gesamte und gelöste Konzentrationen);
- * Verteilungskoeffizient < 1 l/g oder $\log K_{ow} < 4.5$:
Bestimmung der Wasserqualität.

Für die ganze Gruppe der prioritären Stoffen der IKSR die für Überwachung oder momentane Bestandsaufnahmen in Betracht kommen, kann damit die folgende Einteilung gemacht werden:

	Wasser	Schwebstoff		Wasser	Schwebstoff
Phosphate	+	+	PCBs		+
Ammonium	+		Drins		+
Cadmium	+	+	Endosulfan	+	
Chrom	+	+	Hexachlorbutadien	+	
Kupfer	+	+	Pentachlorphenol	+	(+)
Quecksilber	+	+	Chloraniline	+	
Blei	(+)	+	Azinfos-methyl	+	
Nickel	+	+	Parathion	+	
Zink	+	+	Parathion(-methyl)	+	
Benzol	+		Fenthion	+	
1,1,1-trichlorethan	+		Bentazon	+	
1,2-dichlorethan	+		Dibutylzinnverbindungen	+	+
Tetrachlorethan	+		Tributylzinnverbindungen	+	+
Tetrachlormethan	+		Tetrabutylzinnverbindungen	+	+
Trichlorethan	+		Atrazin	+	
Trichlormethan	+		Simazin	+	
Trichlorbenzol	+	+	Chlornitrobenzol	+	
HCB		+	Trifluralin	+	

10. Die Bestimmung der gelösten Konzentrationen der Metalle Cadmium, Quecksilber, Blei und Zink ist mit den jetzt vorhandenen Detektionsgrenzen manchmal ein Problem. Dadurch ist es schwierig, genauere Verteilungskoeffizienten zu erhalten.
11. Für die ausgewählten organischen Mikroverunreinigungen besteht wenig Aussicht die gelösten Konzentrationen verlässlich zu bestimmen und die Verteilungskoeffizienten zu berechnen.
12. Es ist zur Zeit nicht gut möglich, nur den Teilbereich zu betrachten, wo die Akkumulation am größten ist, wenn diese Daten angewendet werden, um die Qualität in anderen Teilbereichen abzuschätzen. Die Unzuverlässigkeit der Verteilungskoeffizienten ist dafür zu groß. In diesem Fall wird es notwendig bleiben, die Qualität im Wasser und im Schwebstoff festzustellen. Vielleicht ist es möglich, aus diesen neuen Daten bessere Verteilungskoeffizienten abzuleiten.
13. Die Messungen in Organismen (Moosen oder Muscheln) bieten zur Überwachung der Gehalte an Verunreinigungen entlang des Rheins keine bessere Methode als die Messung der Schwebstoffqualität und der Wasserqualität. Messungen in Organismen bleiben jedoch notwendig, um die spezifische Qualität und die Probleme des Wasserökosystems abzuschätzen.
14. Beim Vorhandensein älterer Verunreinigungen im Sediment ist es zusätzlich erforderlich das Sediment zu untersuchen, da die Schwebstoffqualität keinen Hinweis auf diese älteren Verunreinigungen gibt.

Quellenverzeichnis

- Ref. 1 Zusammenhänge in den Gehalten an Mikroverunreinigungen im Wasser, Schwebstoff, Sediment und Organismen. DBW/ RIZA, Mai 1988. (Ps 48/88).
- Ref. 2 "Kansen voor Waterorganismen". Een ecotoxicologische onderbouwing voor kwaliteitsdoelstellingen voor water en waterbodem. DBW/RIZA, April 1989 (89.016).
- Ref. 3 Evolution longitudinale des concentrations en métaux lourds et en divers organochlors de mousses aquatiques transférées en 14 points du Rhin pendant la période du 1er juin au 6 juillet 1988. BRGM, janvier 1988 (Ps 20/89).
- Ref. 4 Speicherung von Schadstoffen in Dreikantmuscheln. Dreikantmuscheluntersuchung der IKSR (1988). DBW/RIZA, April 1988 (Ps 33/89).
- Ref. 5 Sedimentqualität im Längsprofil des Rheins 1988. Orientierende Untersuchung der IKSR-Untergruppe Ps. DBW/ RIZA, Mai 1988 (Ps 34/89).
- Ref. 6 Schwebstoffuntersuchung 1988. Schwebstoffqualität im Längsprofil des Rheins. IKSR-Untergruppe Ps, Juni 1989 (Ps 63/89).
- Ref. 7 Analyseergebnisse der während der Schwebstoffuntersuchung 1988 genommenen Wasserstichproben (nicht rapportiert). DBW/RIZA, September 1988 (P 88-185A bis 88-185-D).
- Ref. 8 Rhein 1988 Schwebstoffe-Sedimente Korngrößenanalysen. EAWAG, Dübendorf, 20. März 1989.

ABBILDUNGEN

Die Untersuchungsergebnisse sind in 4 Abbildungsarten zusammengefaßt worden:

- Art a: Vergleich der bestimmten Gehalte im Schwebstoff und den aufgrund der Wasserstichprobe berechneten Gehalte im Schwebstoff.
- Art b: Vergleich der direkt in Sedimenten bestimmten Gehalte mit den aus dem Schwebstoff berechneten Gehalten in Sedimenten
- Art c: Vergleich der gesamten und gelösten Konzentration im Wasser mit der aus den Schwebstoffgehalten berechneten gesamten Konzentration
- Art d: Vergleich der Gehalte in Dreikantmuscheln und aquatischen Moosen

Pro Parameter sind die 4 Abbildungen an einer Seite präsentiert in den Abbildungen 4.2 bis 4.16. Die Abbildungnummern korrespondieren mit den desbezüglichen Abschnitte in Kapittel 4.

In den Abbildungen 5.1 bis 5.19 sind die Verteilungskoeffizienten Wasser/Schwebstoff und die Biokonzentrationsfaktoren für Moosen bzw. Muscheln dargestellt.

70

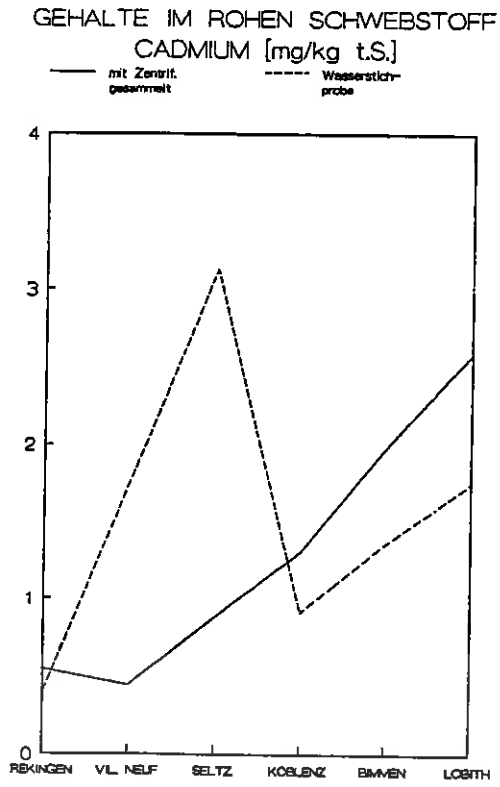


Abb. 4.2a

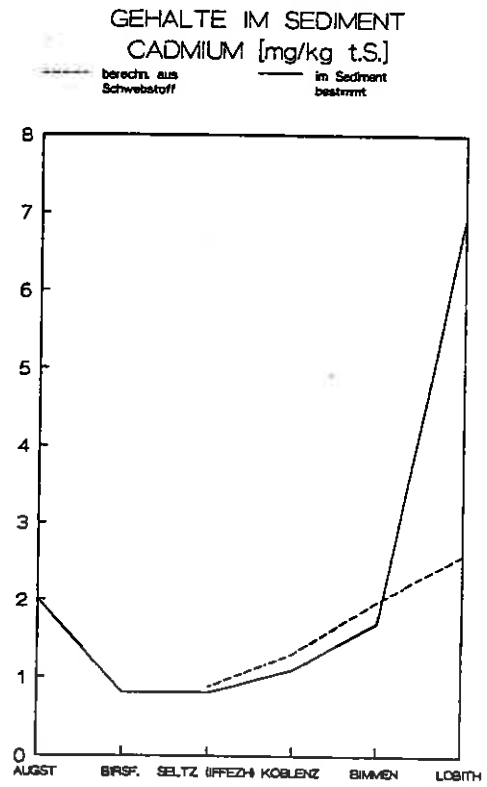


Abb. 4.2b

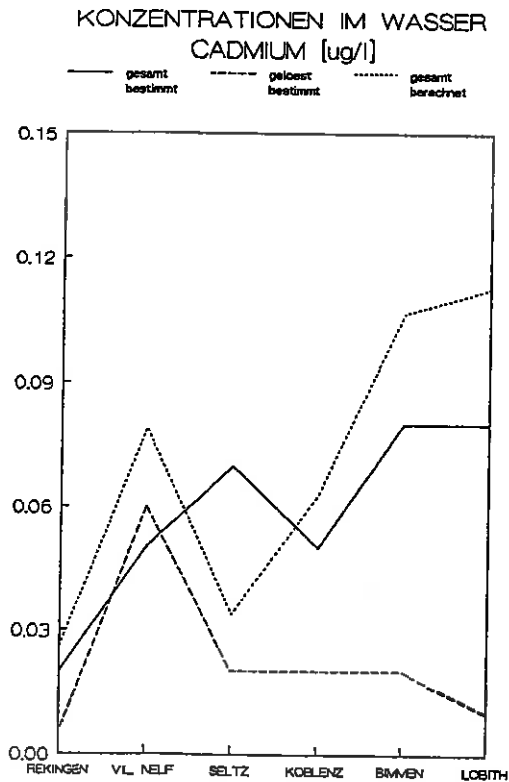


Abb. 4.2c

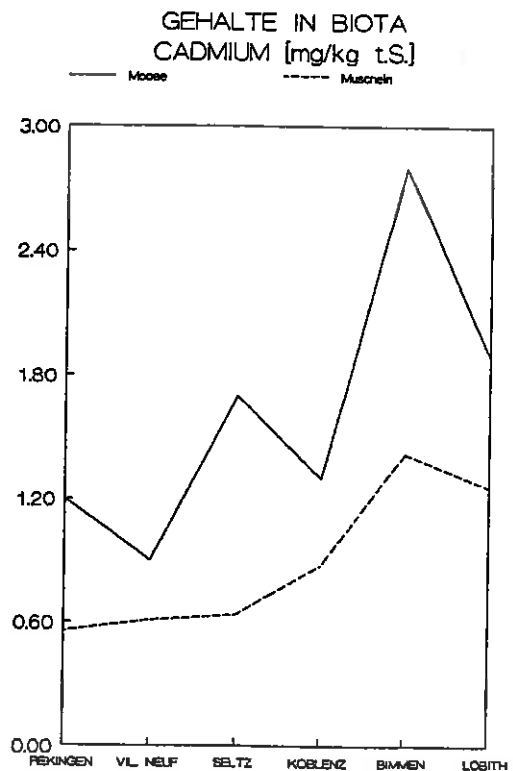


Abb. 4.2 d

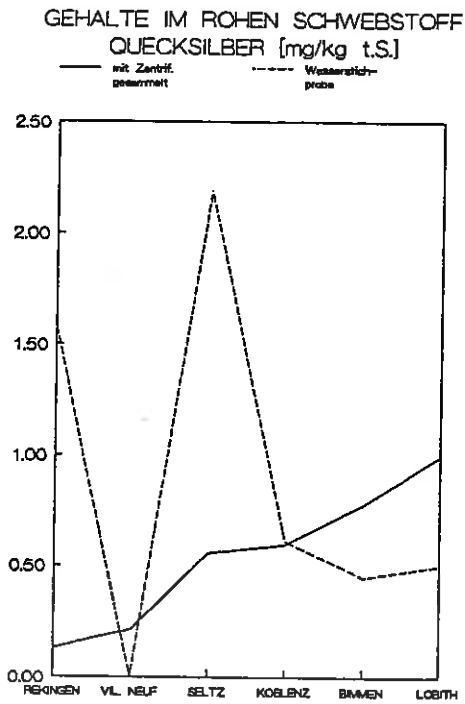


Abb. 4.3a

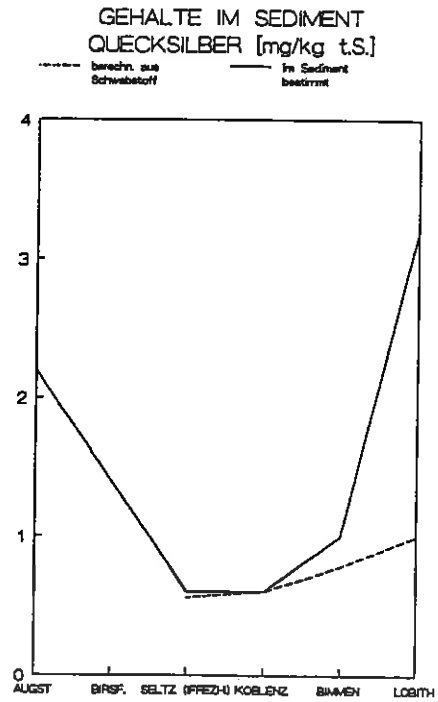


Abb. 4.3b

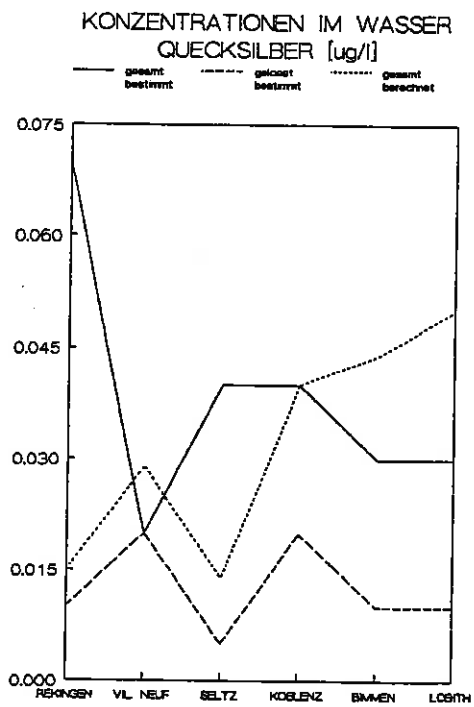


Abb. 4.3c

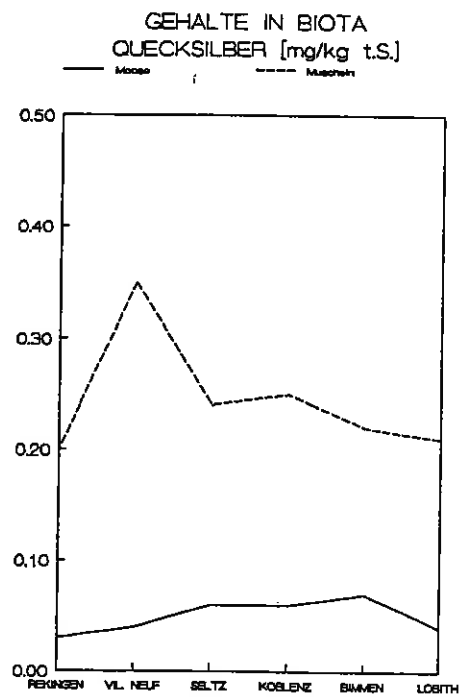


Abb. 4.3 d

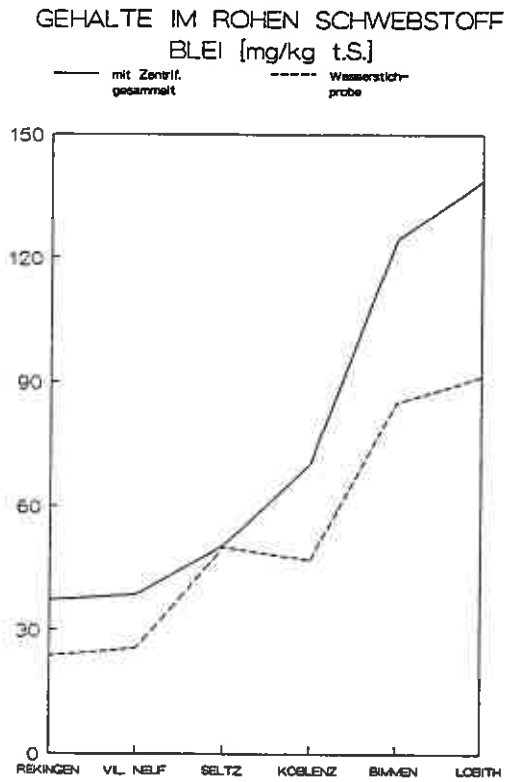


Abb. 4.4a

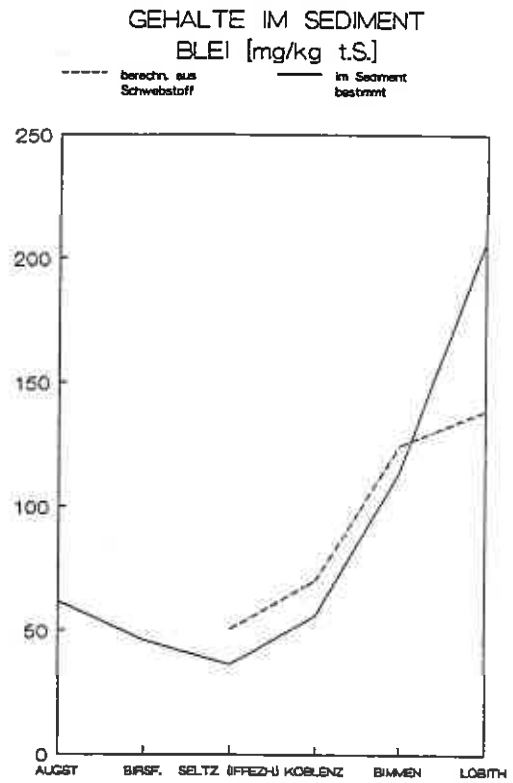


Abb. 4.4b

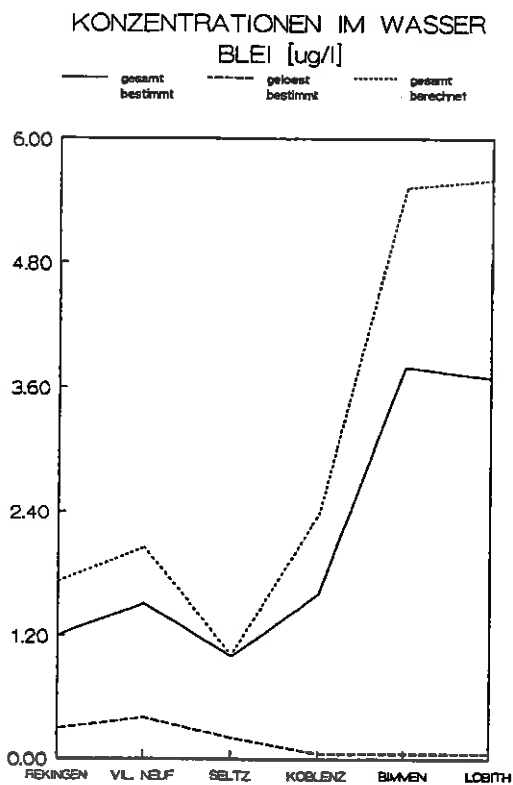


Abb. 4.4c

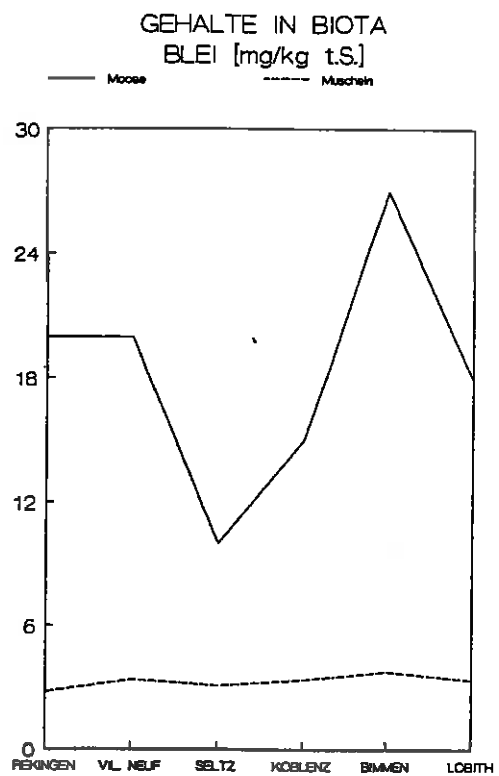


Abb. 4.4 d

GEHALTE IM ROHEN SCHWEBSTOFF
NICKEL [mg/kg t.S.]

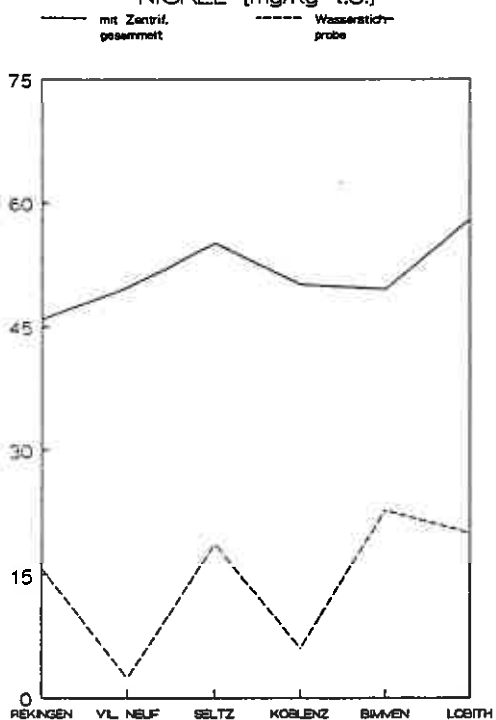


Abb. 4.8a

GEHALTE IM SEDIMENT
NICKEL [mg/kg t.S.]

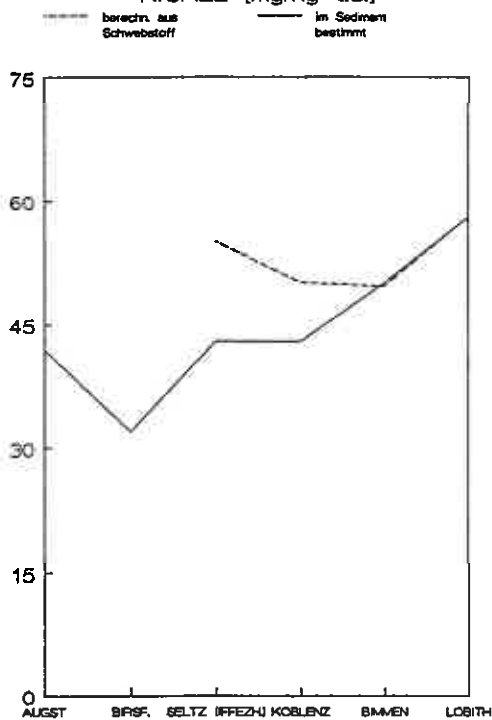


Abb. 4.8b.

KONZENTRATIONEN IM WASSER
NICKEL [$\mu\text{g/l}$]

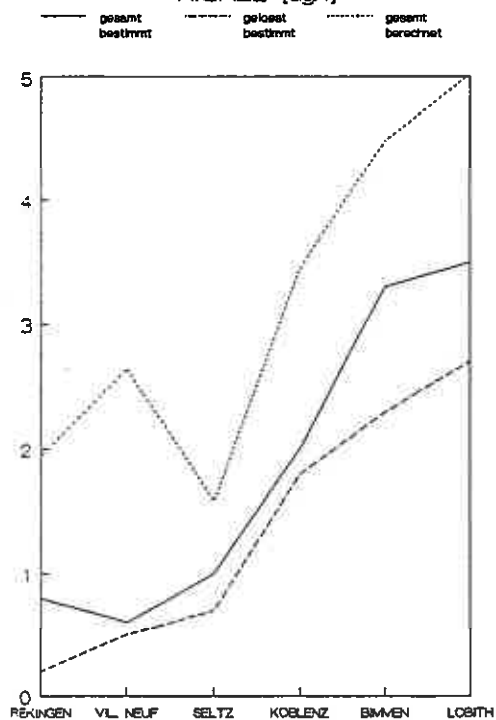


Abb. 4.8c

GEHALTE IN BIOTA
NICKEL [mg/kg t.S.]

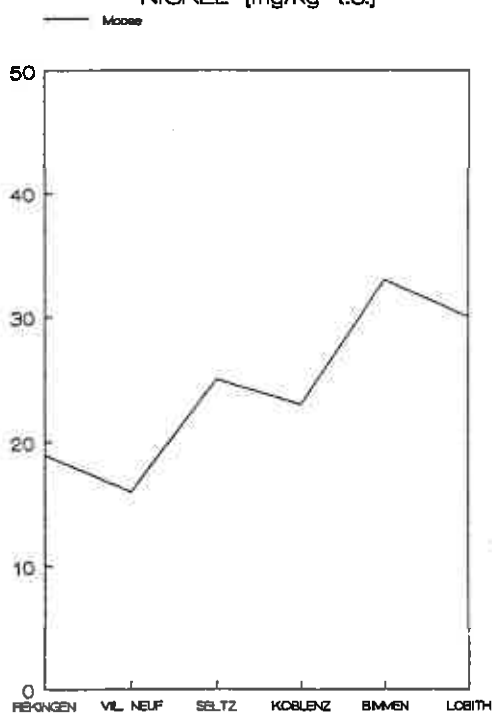


Abb. 4.8 d

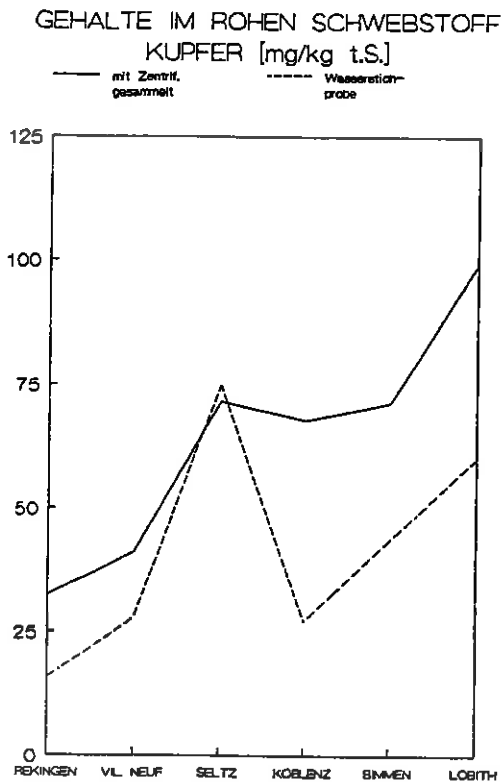


Abb. 4.7a

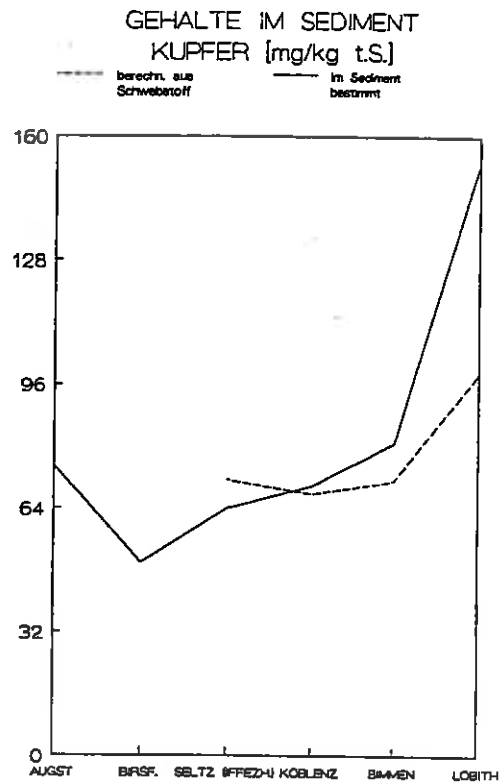


Abb. 4.7b

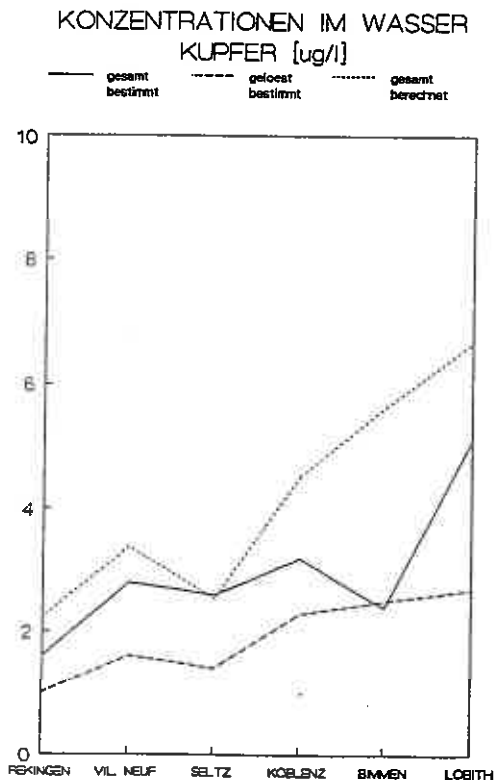


Abb. 4.7c

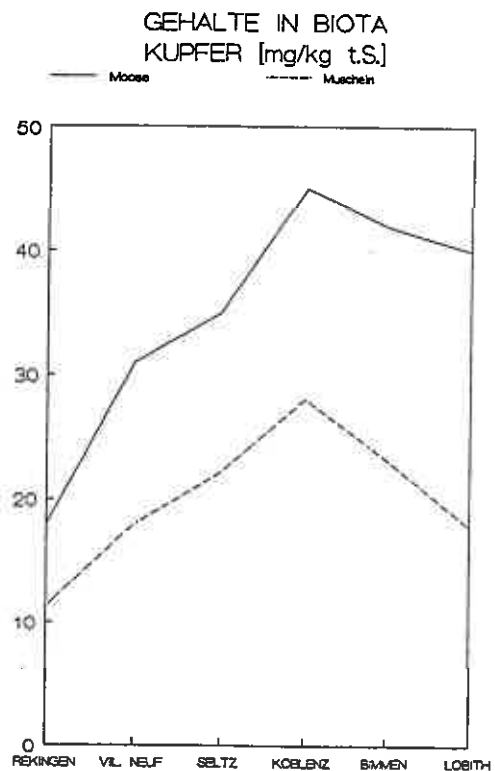


Abb. 4.7 d

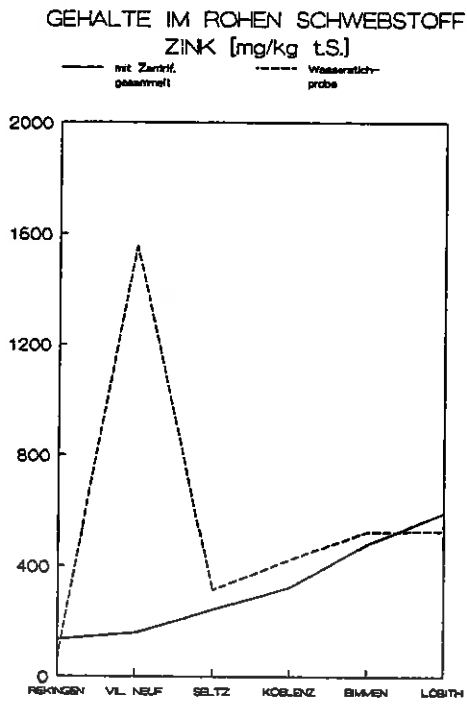


Abb. 4.5a

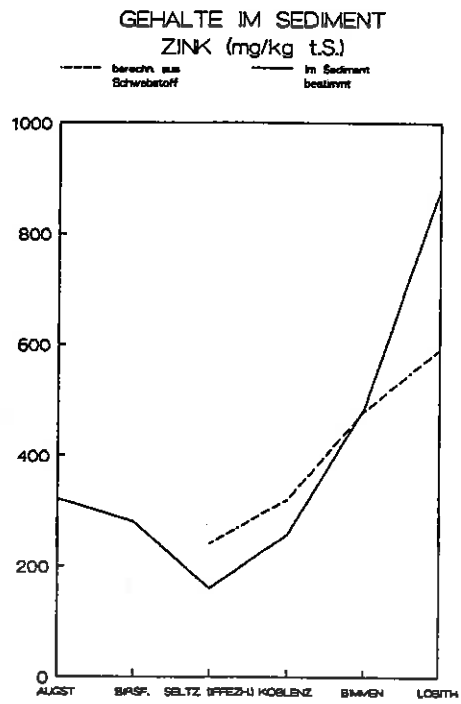


Abb. 4.5b

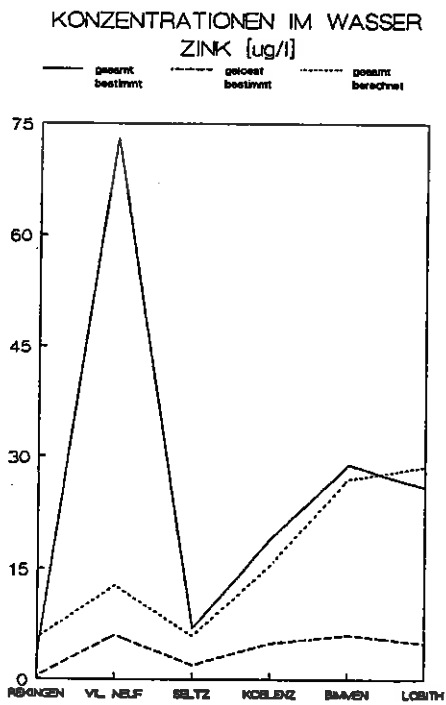


Abb. 4.5c

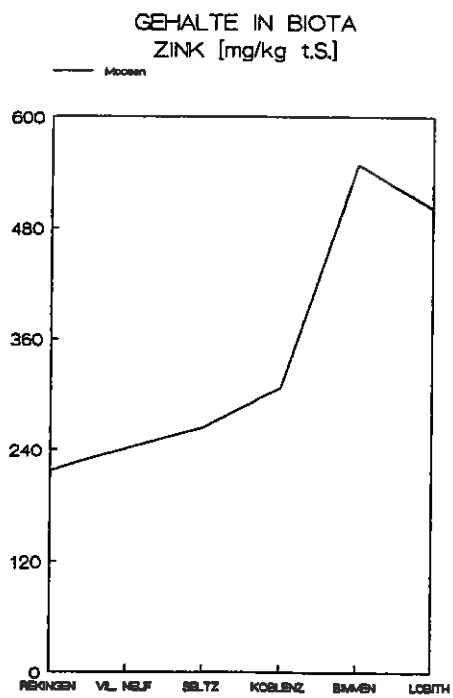


Abb. 4.5 d

GEHALTE IM ROHEN SCHWEBSTOFF
CHROM [mg/kg t.S.]

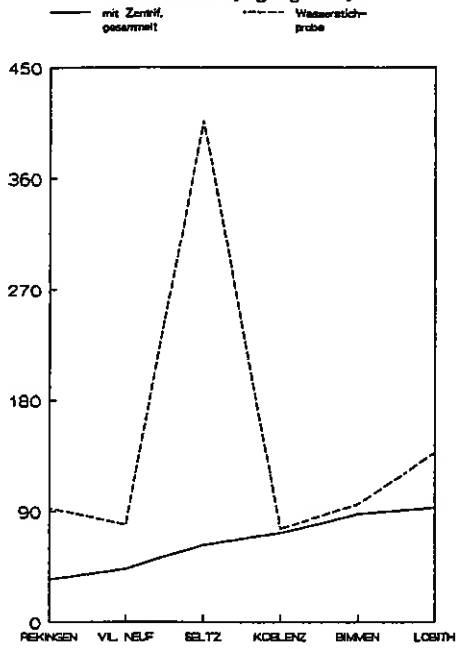


Abb. 4.6a

GEHALTE IM SEDIMENT
CHROM [mg/kg t.S.]

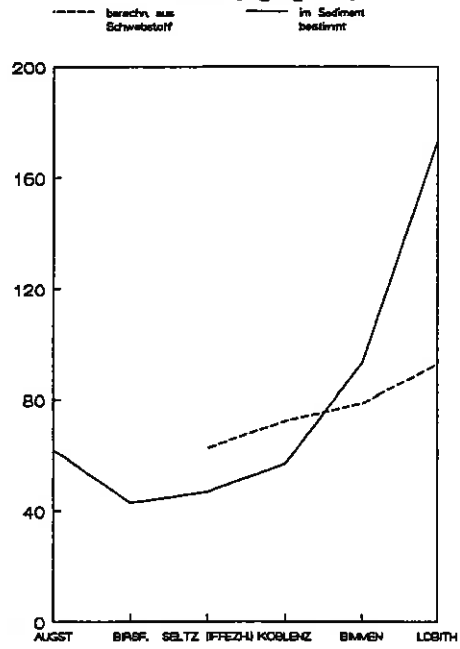


Abb. 4.6b

KONZENTRATIONEN IM WASSER
CHROM [µg/l]

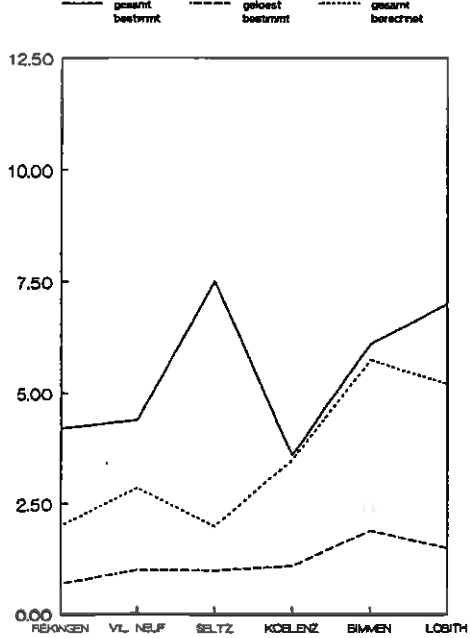


Abb. 4.6c

GEHALTE IN BIOTA
CHROM [mg/kg t.S.]

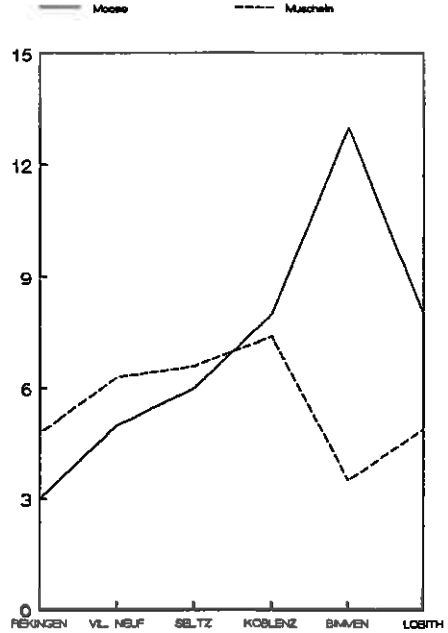


Abb. 4.6 d

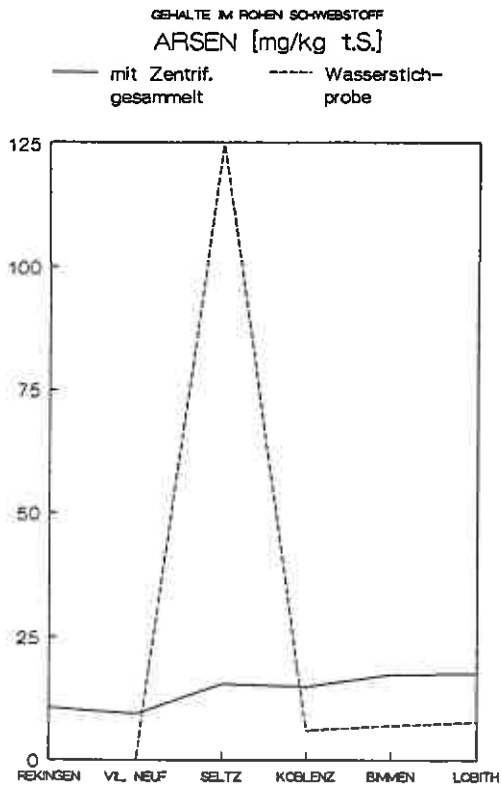


ABB. 4.9A

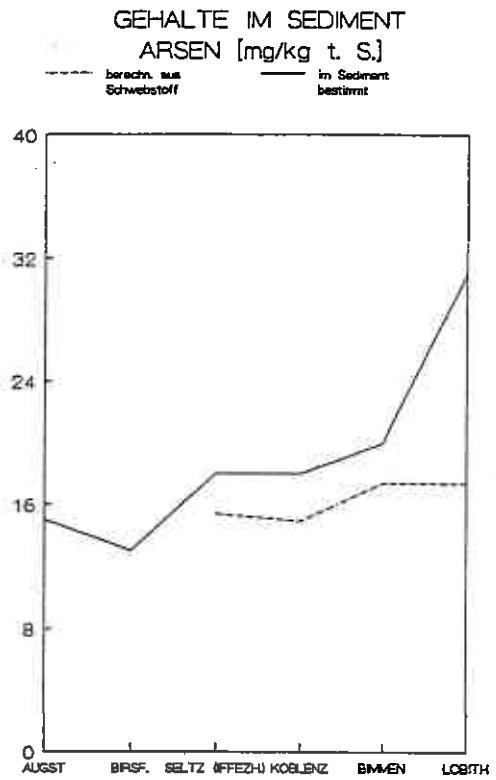


ABB. 4.9B

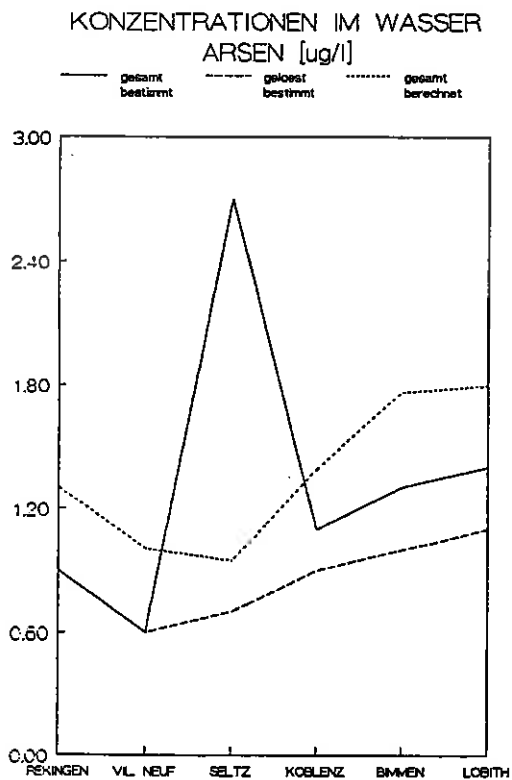


ABB. 4.9C

GEHALTE IM ROHEN SCHWEBSTOFF
HEXACHLORBENZOL [ug/kg t.S.]

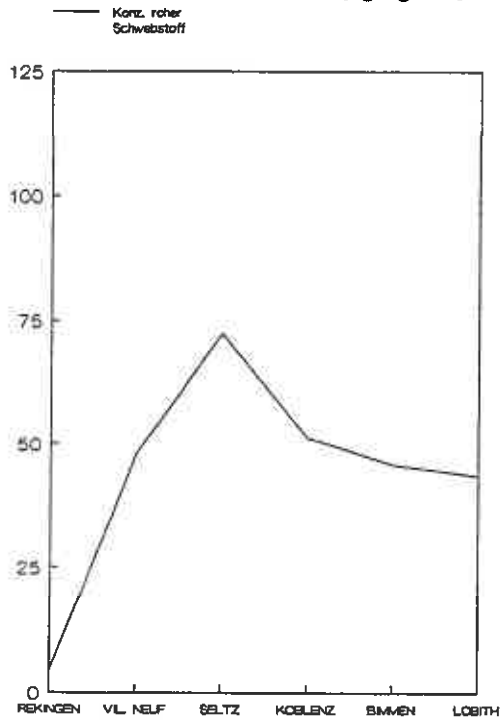


ABB. 4.11A

GEHALTE IM STANDARD SEDIMENT
HEXACHLORBENZOL [ug/kg t.S.]

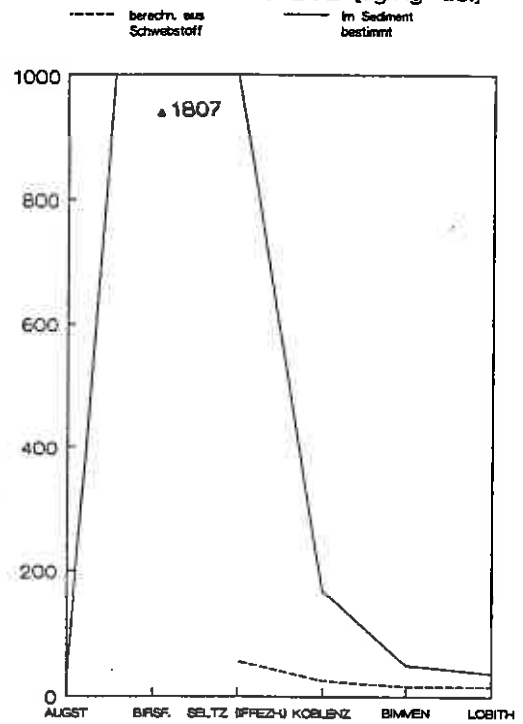


ABB. 4.11B

KONZENTRATIONEN IM WASSER
HEXACHLORBENZOL [ng/l]

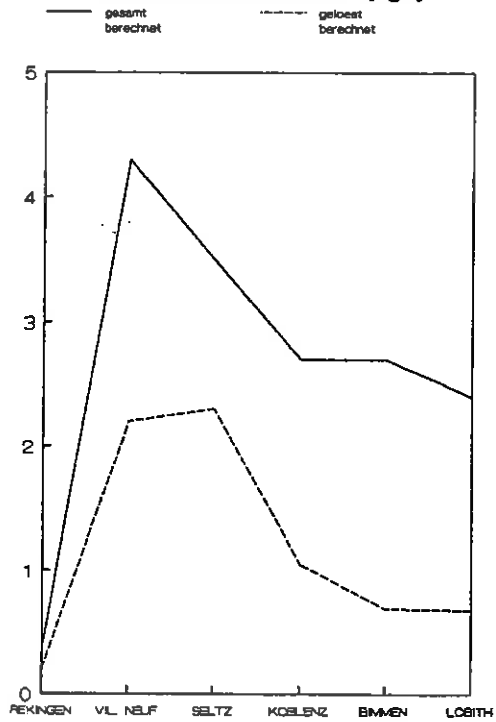


ABB. 4.11C

GEHALTE IN BIOTA
HEXACHLORBENZOL [ug/kg t.S.]



ABB. 4.11D

GEHALTE IM ROHEN SCHWEBSTOFF
LINDAN (c-HCH) [$\mu\text{g}/\text{kg t.S.}$]

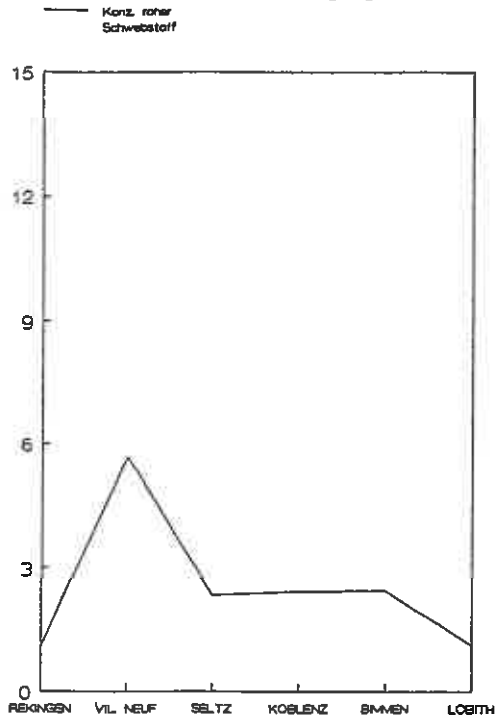


ABB. 4.10A

GEHALTE IM STANDARD SEDIMENT
LINDAN (c-HCH) [$\mu\text{g}/\text{kg t.S.}$]

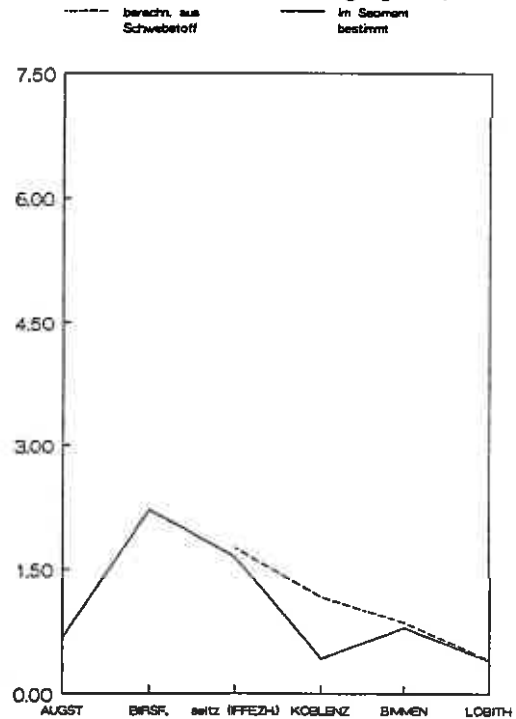


ABB. 4.10B

KONZENTRATIONEN IM WASSER
LINDAN (c-HCH) [ng/l]

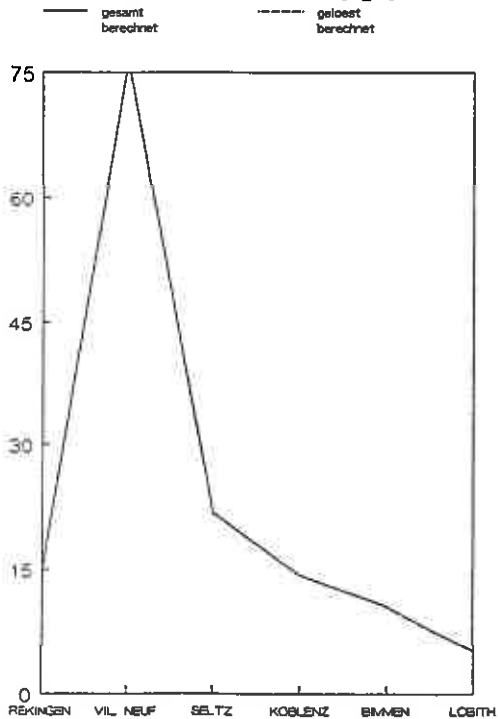


ABB. 4.10C

GEHALTE IN BIOTA
LINDAN (c-HCH) [$\mu\text{g}/\text{kg t.S.}$]

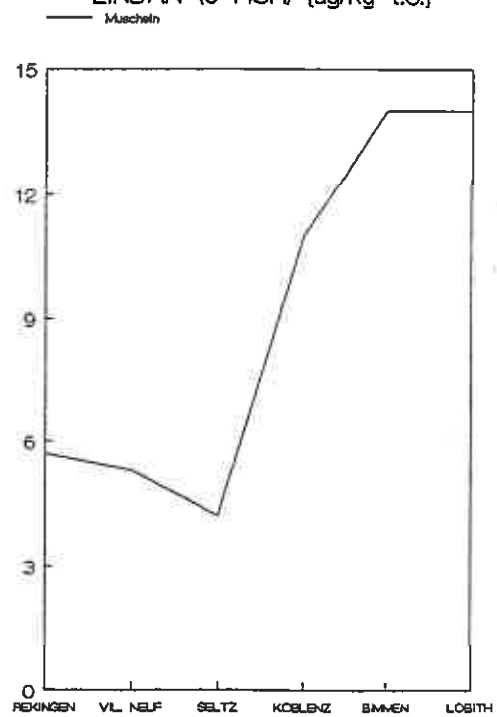


ABB. 4.10D

GEHALTE IM ROHEN SCHWEBSTOFF
p,p'-DDE [$\mu\text{g}/\text{kg t.S.}$]

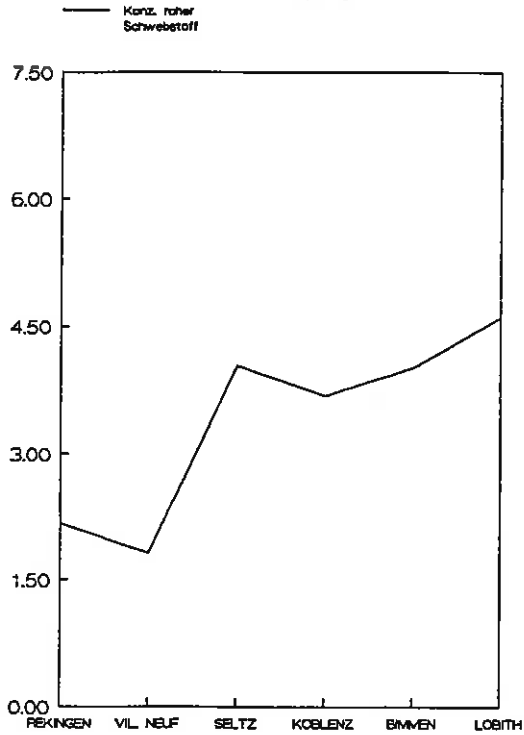


Abb. 4.12A

GEHALTE IM STANDARD SEDIMENT
p,p'-DDE [$\mu\text{g}/\text{kg t.S.}$]

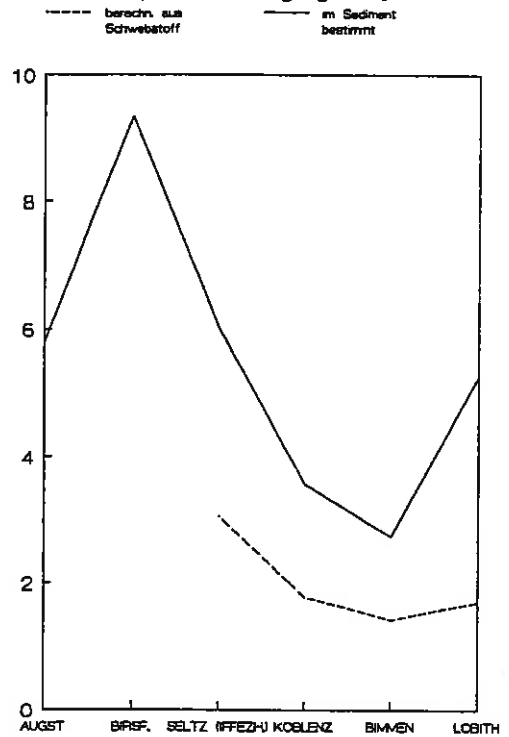


Abb. 4.12B

KONZENTRATIONEN IM WASSER
p,p'-DDE [ng/l]

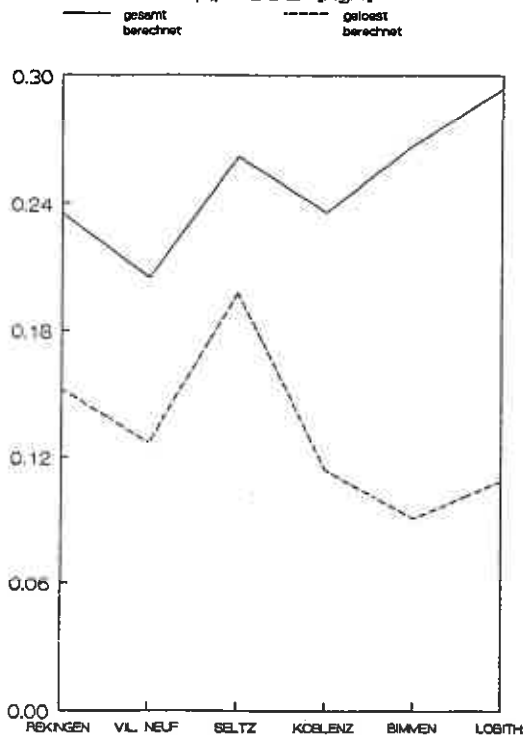


Abb. 4.12C

GEHALTE IN BIOTA
p,p'-DDE [$\mu\text{g}/\text{kg t.S.}$]

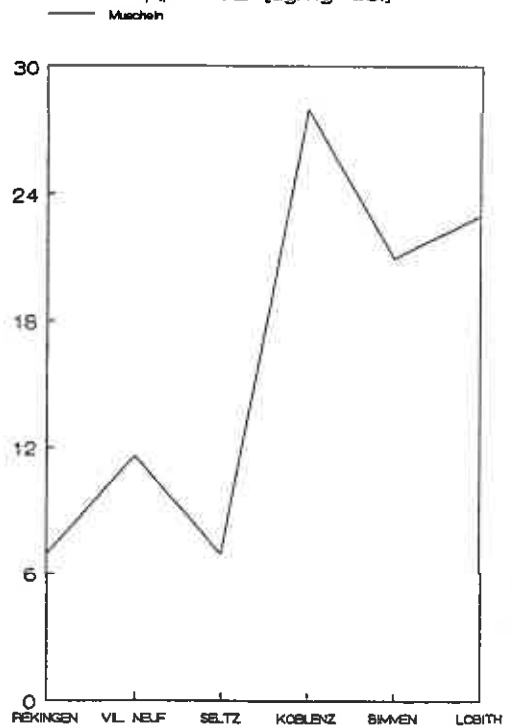


Abb. 4.12D

GEHALTE IM ROHEN SCHWEBSTOFF
PCB-28 [ug/kg t.S.]

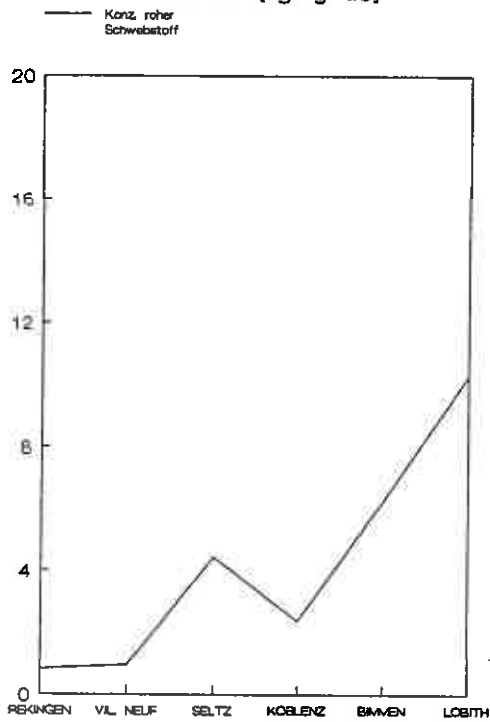


ABB. 4.13A

GEHALTE IM STANDARD SEDIMENT
PCB-28 [ug/kg t.S.]

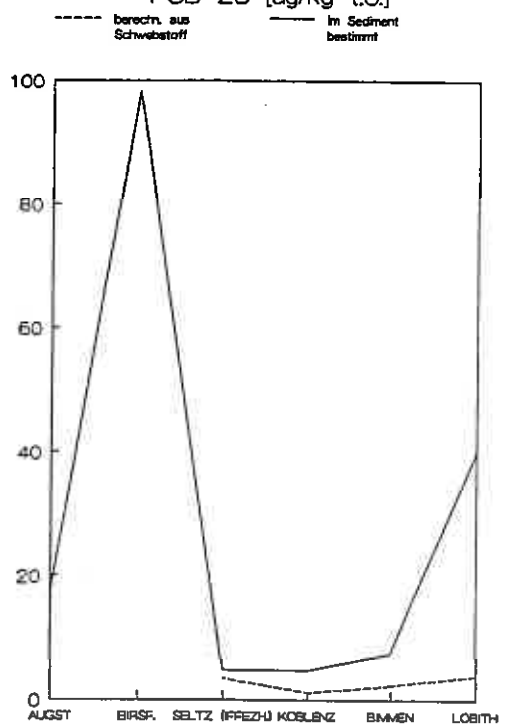


ABB. 4.13B

KONZENTRATIONEN IM WASSER
PCB-28 [ng/l]

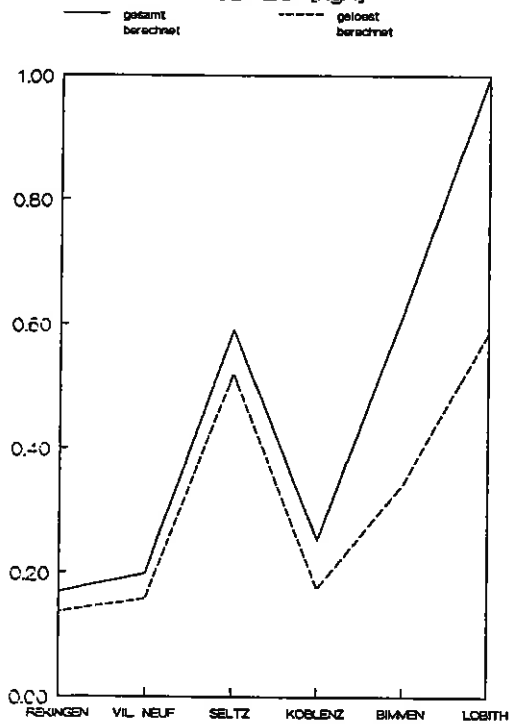


ABB. 4.13C

GEHALTE IN BIOTA
PCB-28 [ug/kg t.S.]

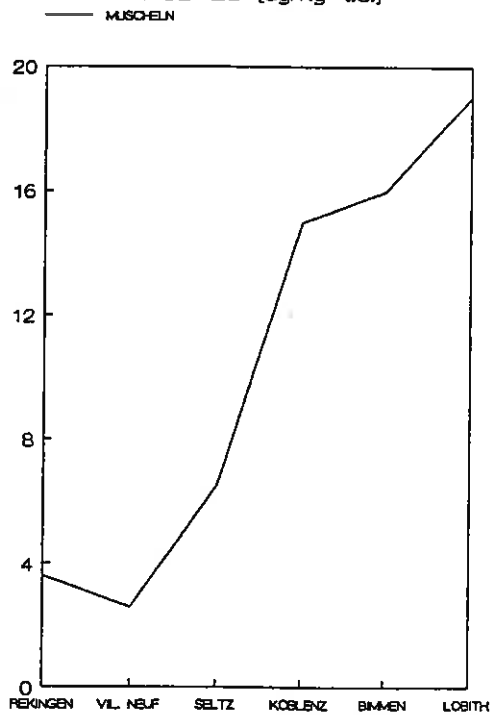


ABB. 4.13D

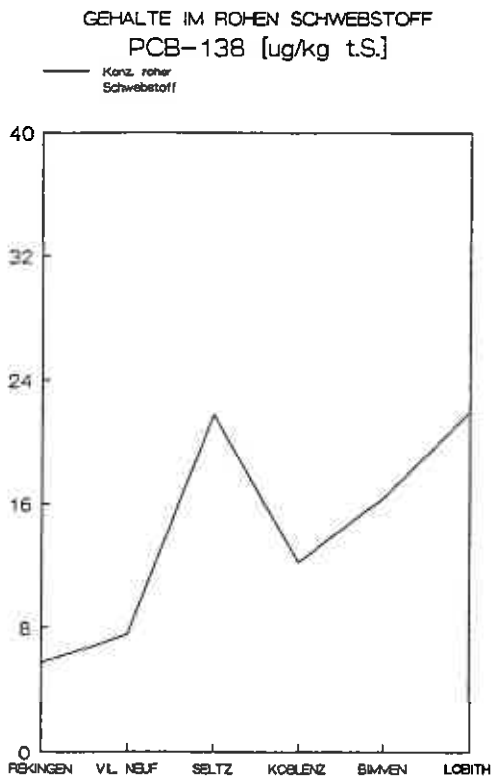


ABB. 4.14A

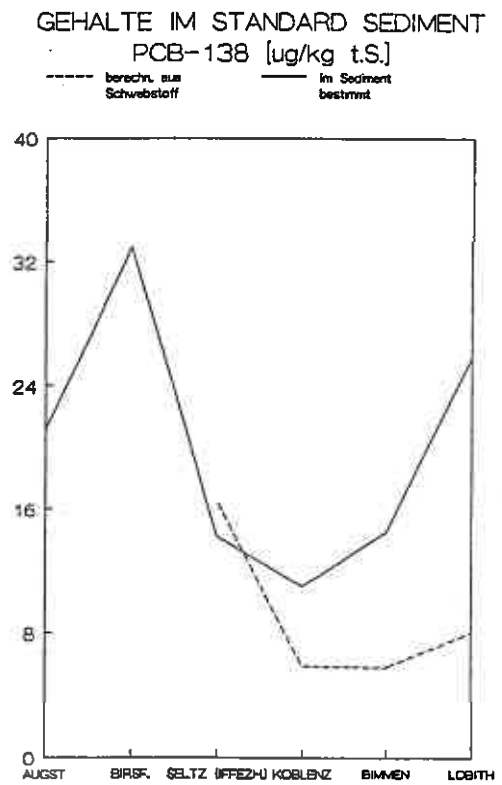


ABB. 4.14B

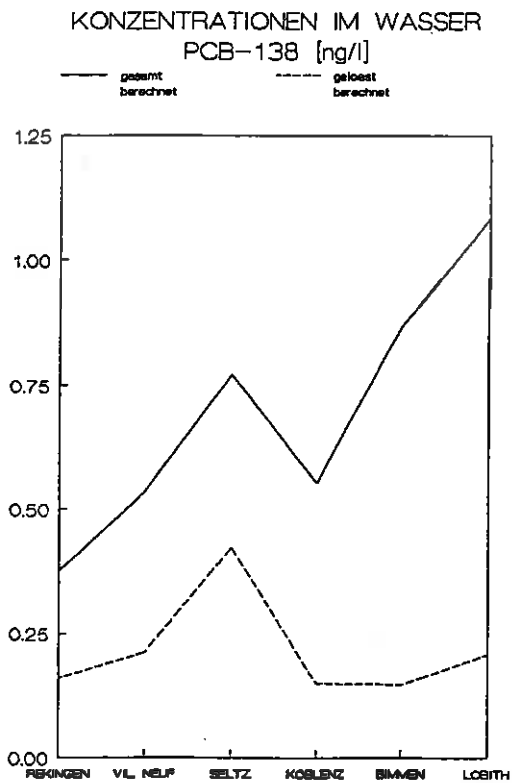


ABB. 4.14C



ABB. 4.14D

GEHALTE IM ROHEN SCHWEBSTOFF
FLUORANTHENEN [mg/kg t.S.]

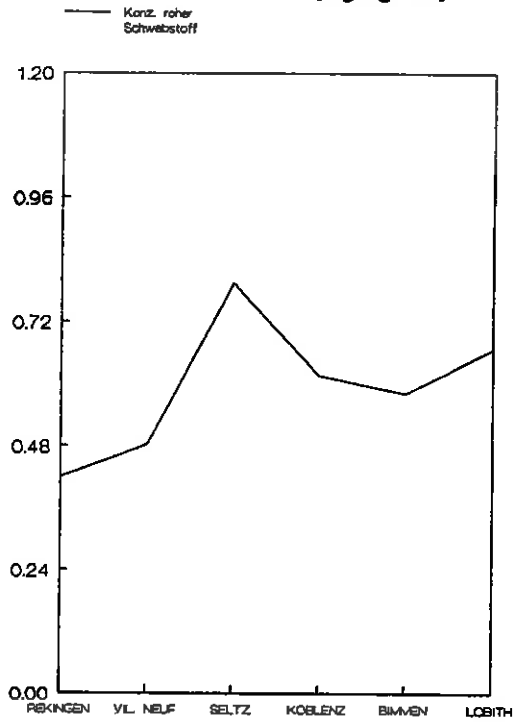


ABB. 4.15A

GEHALTE IM STANDARD SEDIMENT
FLUORANTHEEN [mg/kg t.S.]

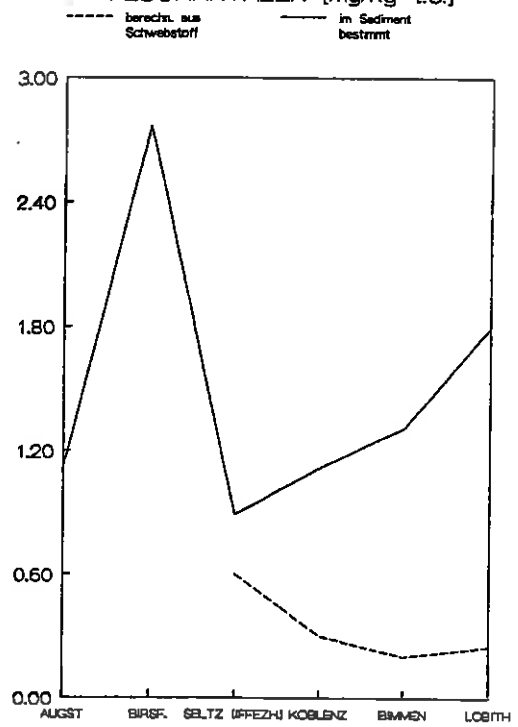


ABB. 4.15B

KONZENTRATIONEN IM WASSER
FLUORANTHENEN [ng/l]

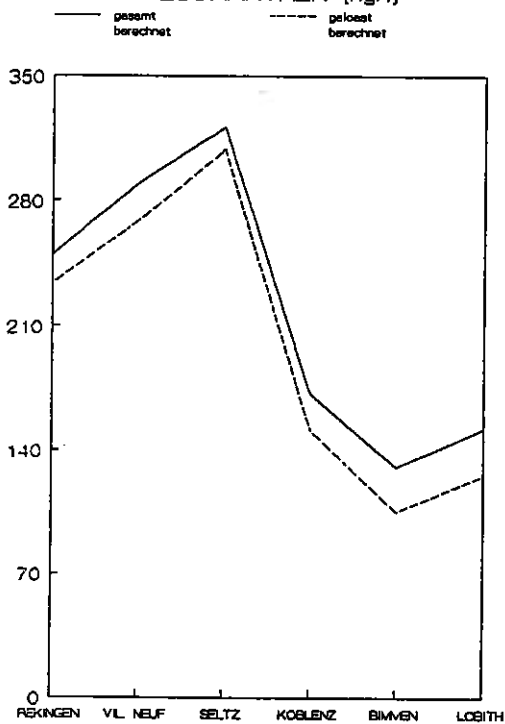


ABB. 4.15C

GEHALTE IM ROHEN SCHWEBSTOFF
BENZO(B)FLUORANTHEN [mg/kg t.S.]

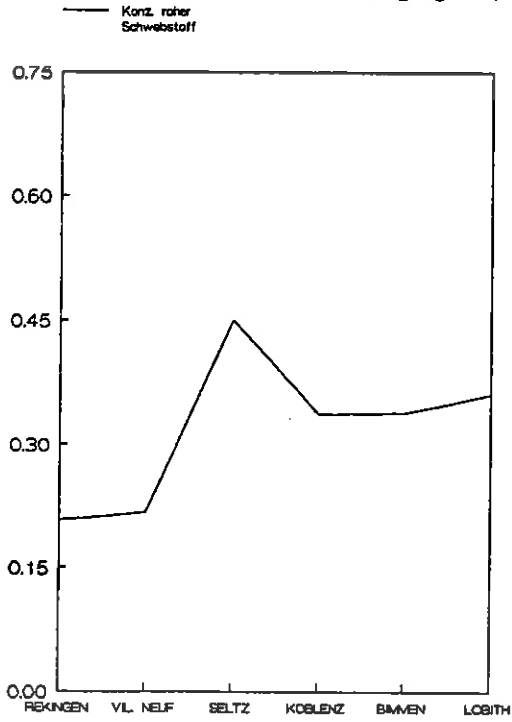


ABB. 4.16A

GEHALTE IM STANDARD SEDIMENT
BENZO(B)FLUORANTHEN [mg/kg t.S.]

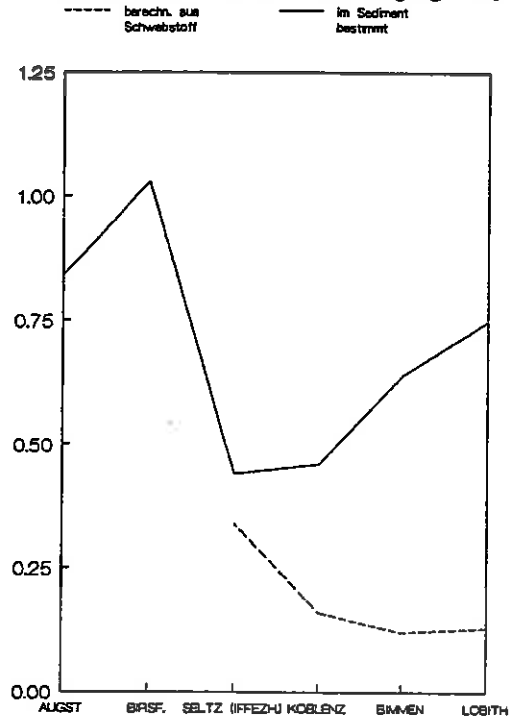


ABB. 4.16B

KONZENTRATIONEN IM WASSER
BENZO(B)FLUORANTHEN [ng/l]

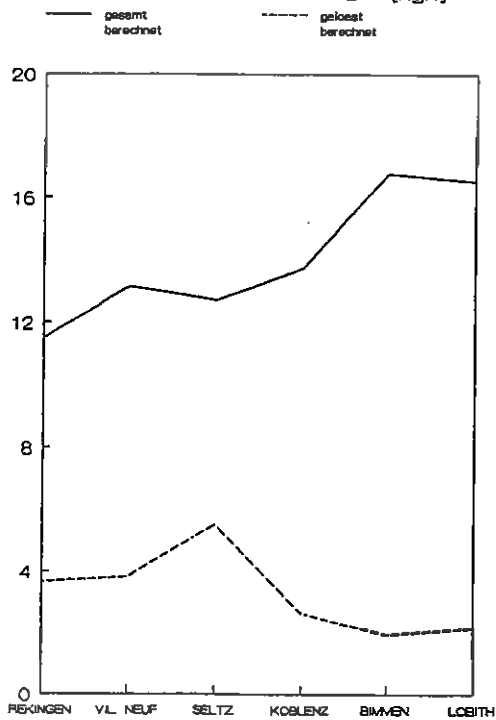


ABB. 4.16C

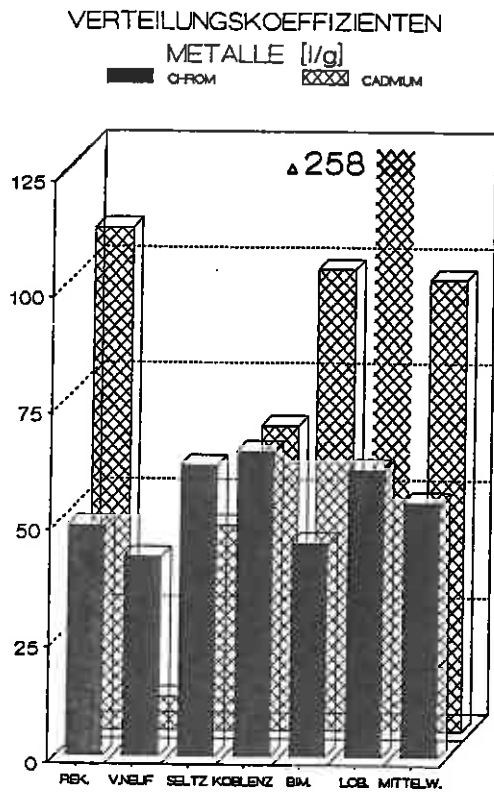


Abb. 5.1

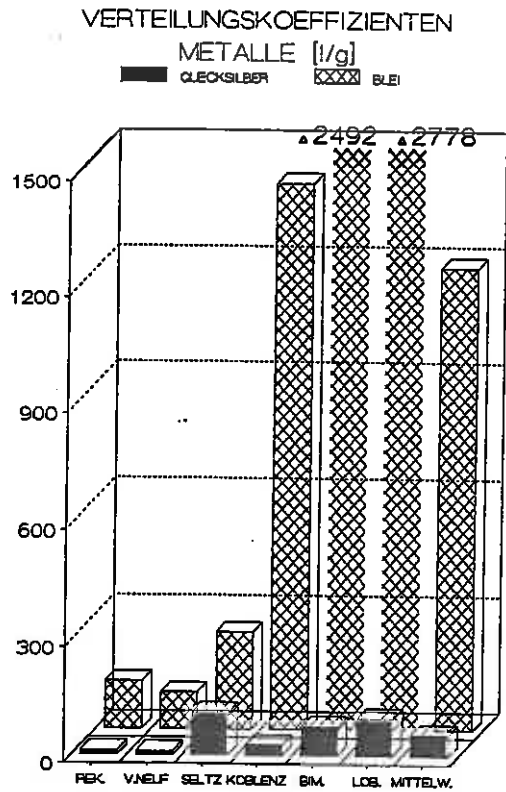


Abb. 5.2

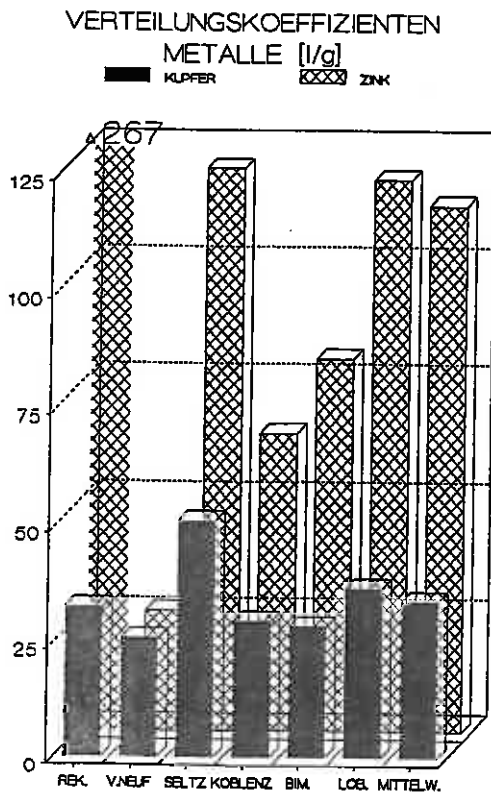


Abb. 5.3

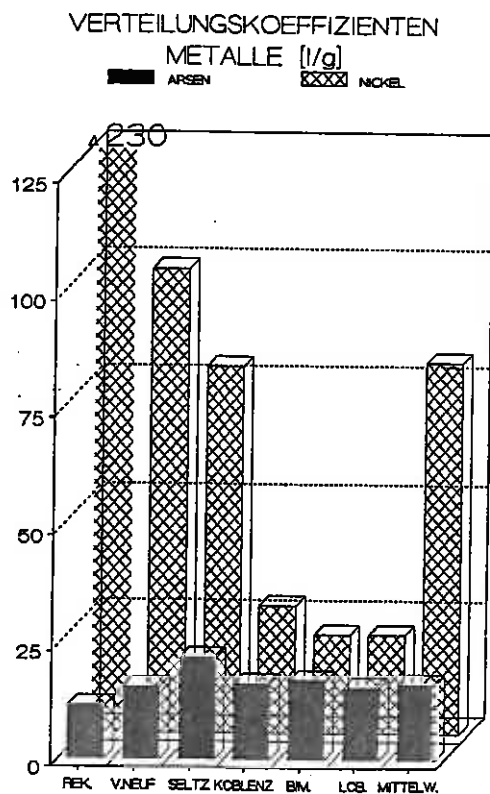


Abb. 5.4

VERTEILUNGSKOEFFIZIENTEN ORGANISCH
MIKROVERUNREINIGUNGEN [l/g]

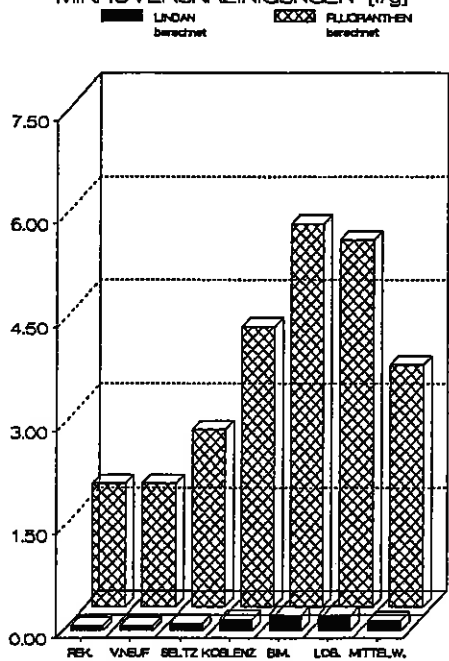


Abb. 5.5

VERTEILUNGSKOEFFIZIENTEN ORGANISCH
MIKROVERUNREINIGUNGEN [l/g]

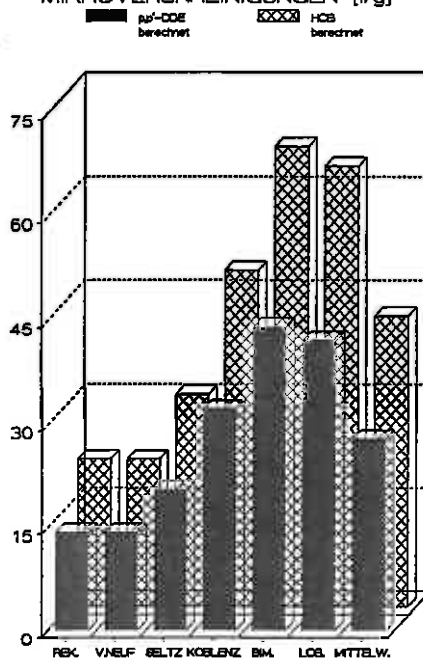


Abb. 5.6

VERTEILUNGSKOEFFIZIENTEN ORGANISCH
MIKROVERUNREINIGUNGEN [l/g]

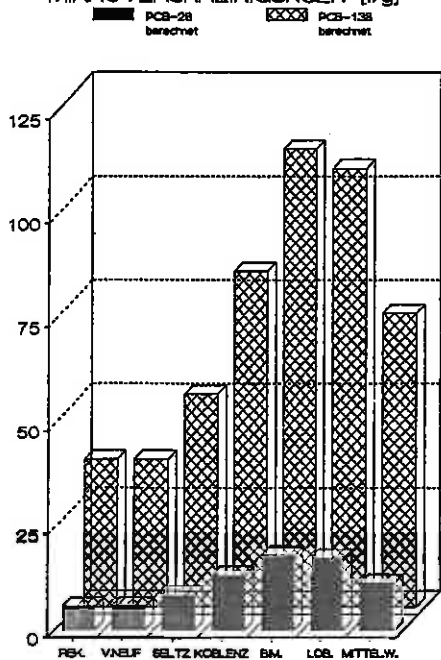


Abb. 5.7

VERTEILUNGSKOEFFIZIENTEN ORGANISCH
MIKROVERUNREINIGUNGEN [l/g]

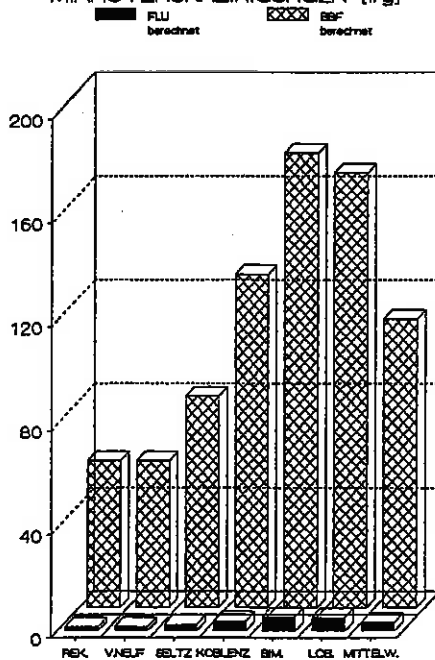


Abb. 5.8

BIOKONZENTRATIONSFAKTOREN

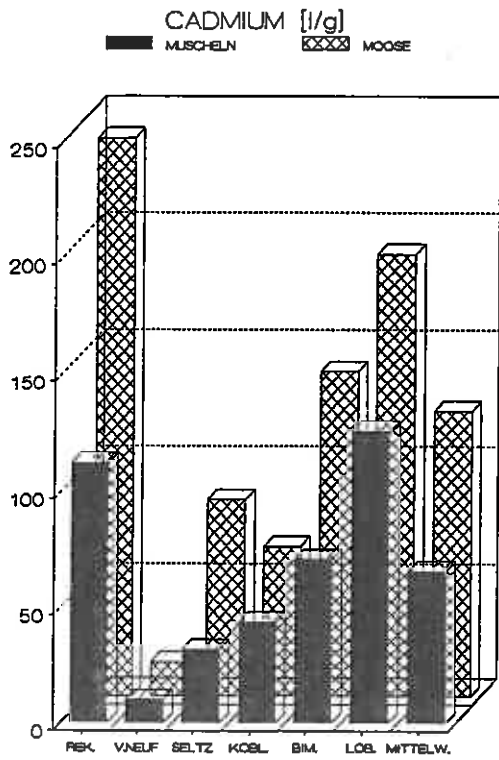


Abb. 5.9

BIOKONZENTRATIONSFAKTOREN

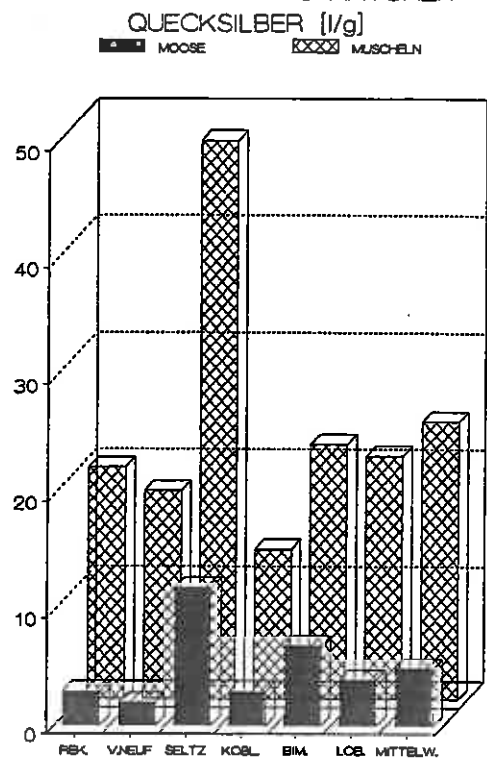


Abb. 5.10

BIOKONZENTRATIONSFAKTOREN

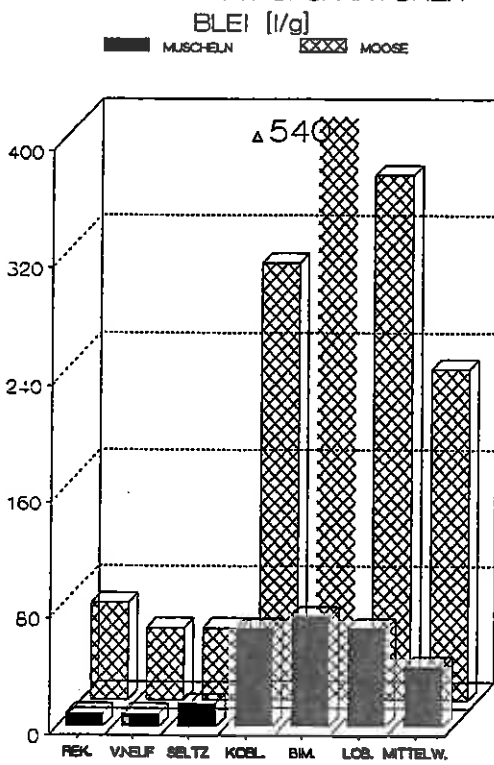


Abb. 5.11

BIOKONZENTRATIONSFAKTOREN

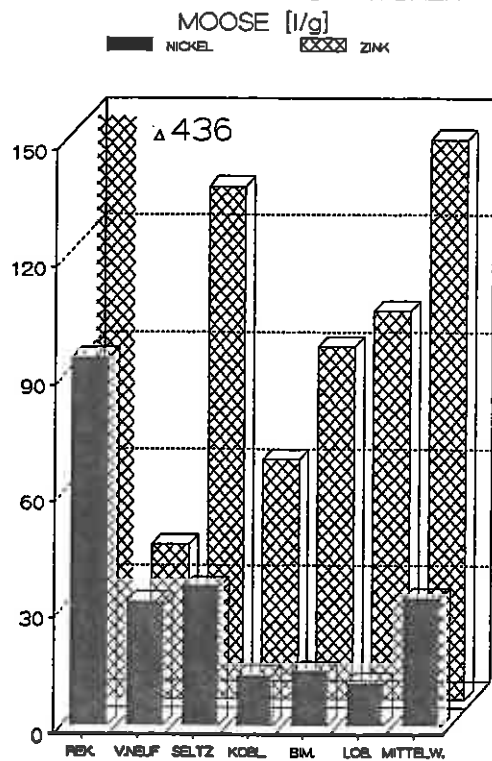


Abb. 5.12

BIOKONZENTRATIONSFAKTOREN
CHROM [l/g]

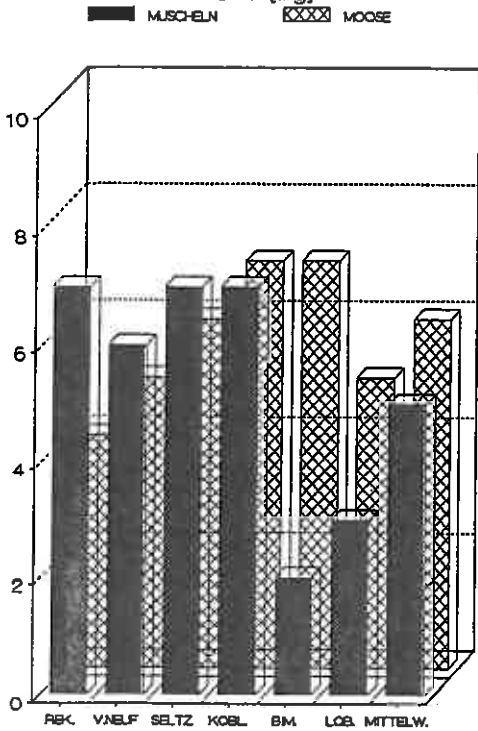


Abb. 5.13

BIOKONZENTRATIONSFAKTOREN
KUPFER [l/g]

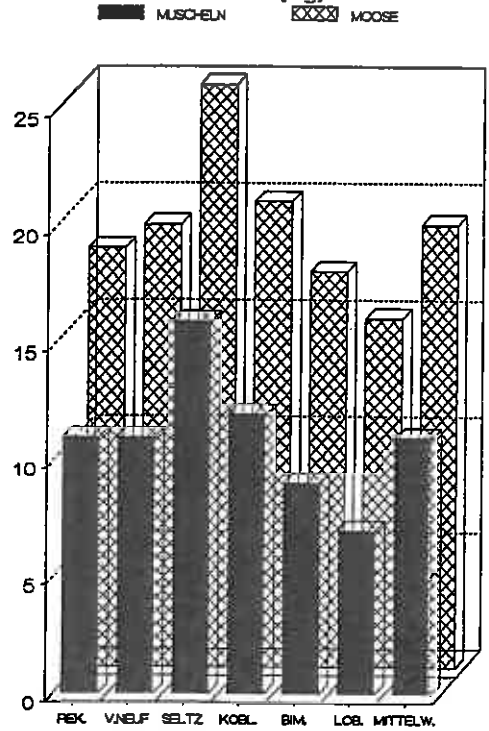


Abb. 5.14

BIOKONZENTRATIONSFAKTOREN
LINDAN (C-HCH) [l/g]

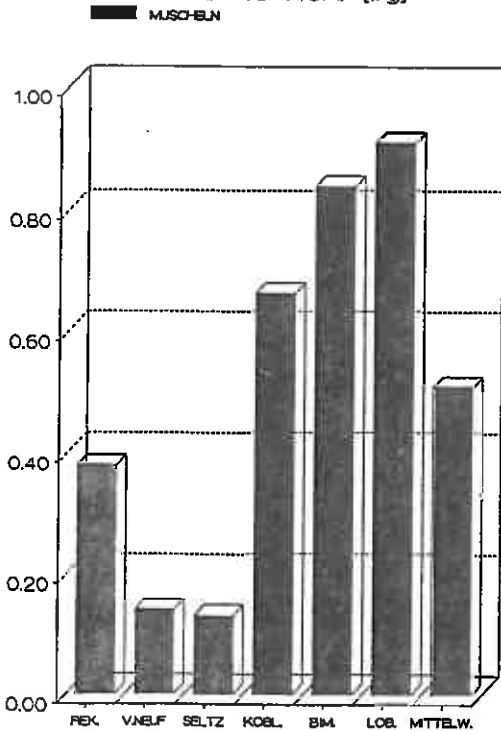


Abb. 5.15

BIOKONZENTRATIONSFAKTOREN
HCB [l/g]

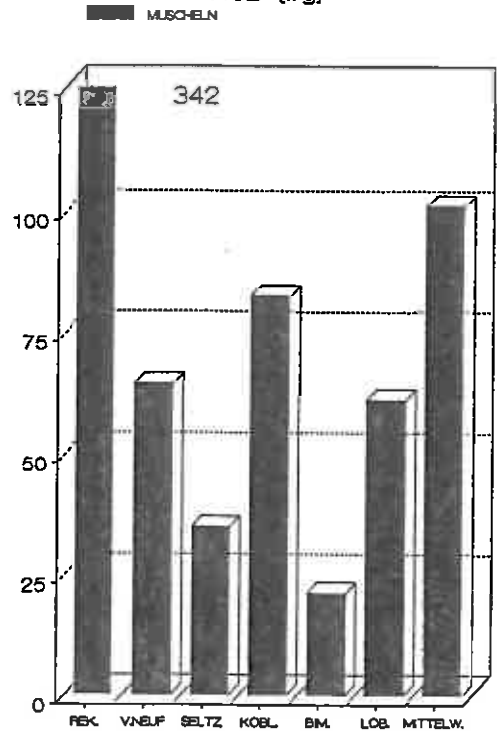


Abb. 5.16

BIOKONZENTRATIONSFAKTOREN
p,p'-DDE [l/g]
MUSCHELN

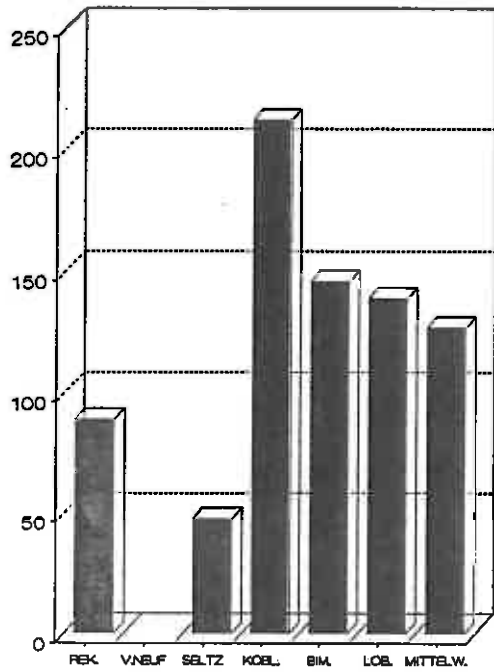


Abb. 5.17

BIOKONZENTRATIONSFAKTOREN
PCB-28 [l/g]
MUSCHELN

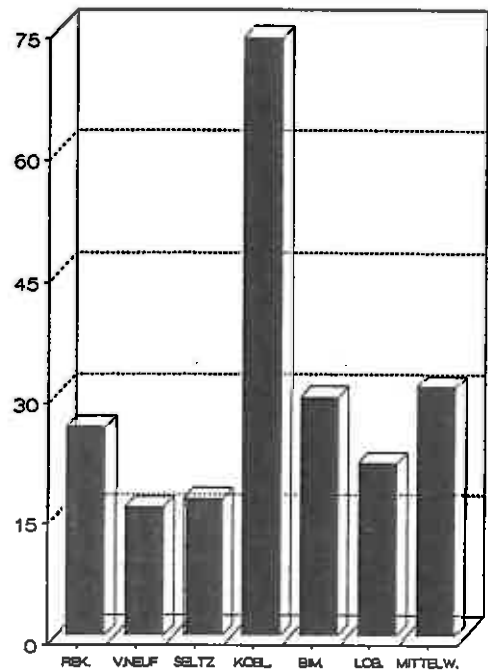


Abb. 5.18

BIOKONZENTRATIONSFAKTOREN
PCB-138 [l/g]
MUSCHELN

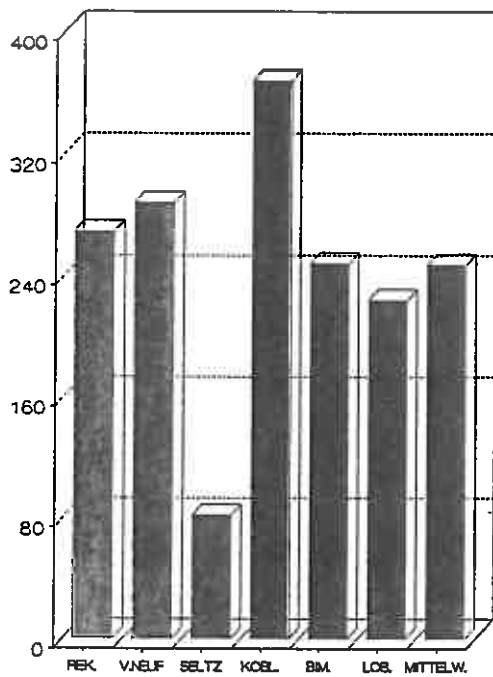


Abb. 5.19

ANLAGE 1. Analysenergebnisse und Berechnungsergebnisse.

Tabelle 1. Gehalte im mit einer Durchflußzentrifuge gesammelten Schwebstoff. Die Gehalte beziehen sich auf das rohe Material. Die Gehalte sind Mittelwerte der beteiligten Labors.

		Probenahmestelle					
		Rekingen	Vil-Neuf	Seltz	Koblenz	Bimmen	Lobith
< 20 µm	%	92	95	94	87	82	90
Glühverl.	%	10.0	10.0	11.8	15.2	20.3	19.5
Cd	mg/kg t.S.	0.54	0.44	0.88	1.31	1.98	2.58
Hg	mg/kg t.S.	0.13	0.21	0.56	0.60	0.78	1.00
Pb	mg/kg t.S.	37.3	38.5	50.5	70.3	124.6	138.9
Zn	mg/kg t.S.	134	157	241	320	480	592
Cu	mg/kg t.S.	32.5	41.3	71.5	67.8	71.4	99.1
Ni	mg/kg t.S.	45.9	49.8	55.2	50.1	49.6	58.0
Cr	mg/kg t.S.	34.7	43.0	62.6	72.2	87.6	92.7
Co	mg/kg t.S.	11	11	12	14	20	19
Mn	mg/kg t.S.	763	791	721	1390	1817	1787
Ba	mg/kg t.S.	131	187	204	265	416	470
P	mg/kg t.S.	790	814	1260	1810	3310	3220
Br	mg/kg t.S.	9	10	22	25	27	25
As	mg/kg t.S.	10.6	9.5	15.4	14.9	17.4	17.4
Fe	mg/kg t.S.	22397	25996.50	26183.50	26033	27707.25	28894
Ti	mg/kg t.S.	2770	3130	3280	3260	3640	3710
Ca	mg/kg t.S.	95950	82900	66750	64550	60800	59650
Al	mg/kg t.S.	46347	49976	53098	48619	44284	45929
PC-Benzol	µg/kg t.S.	2.2	8.7	15.9	6.7	8.5	11.8
α-HCH	µg/kg t.S.	< 2.2	6.3	3.4	< 2.2	2.5	< 2.9
β-HCH	µg/kg t.S.	2.2	3.3	5.2	4.2	2.7	14.5
γ-HCH	µg/kg t.S.	< 2.2	5.7	< 4.7	2.4	2.4	< 2.3
HCB	µg/kg t.S.	4.4	48.1	72.4	51.2	46.0	43.6
p,p'-DDE	µg/kg t.S.	2.2	< 3.6	4.0	3.7	4.0	4.6
o,p-DDD	µg/kg t.S.	0	2.2	1.5	1.0	0.7	0.7
p,p'-DDD	µg/kg t.S.	2.2	< 2.2	< 2.4	2.0	1.8	1.9
o,p-DDT	µg/kg t.S.	2.2	4.4	< 1.5	< 1.0	1.2	< 1.6
p,p'-DDT	µg/kg t.S.	2.2	4.4	2.0	1.6	1.9	< 2.8
Heptachlor	µg/kg t.S.	2.2	< 2.2	< 1.5	< 1.0	< 0.7	< 0.7
Hepo	µg/kg t.S.	2.2	< 2.2	< 1.5	1.7	< 0.7	< 0.7
Aldrin	µg/kg t.S.	2.2	< 2.2	< 1.5	< 1.0	< 0.7	< 0.7
Dieldrin	µg/kg t.S.	2.2	< 2.2	< 1.5	< 1.0	< 0.7	< 0.7
Endrin	µg/kg t.S.	2.2	< 2.2	< 1.5	< 1.0	< 0.7	< 0.7
α-Endosulf.	µg/kg t.S.	2.2	< 2.2	< 1.5	2.2	< 0.7	< 1.8
PCB-28	µg/kg t.S.	< 1.6	< 1.9	4.4	2.4	6.3	10.3
PCB-52	µg/kg t.S.	< 2.0	4.3	6.2	4.7	10.4	17.8
PCB-101	µg/kg t.S.	< 3.1	< 7.0	11.6	6.6	11.8	17.1
PCB-118	µg/kg t.S.	< 3.3	5.4	7.8	5.9	8.5	10.1
PCB-138	µg/kg t.S.	5.7	7.6	21.8	12.2	16.4	21.9
PCB-149	µg/kg t.S.	8.7	6.5	18.2	12.5	15.5	18.4
PCB-153	µg/kg t.S.	6.2	7.6	22.2	13.3	15.6	19.9
PCB-170	µg/kg t.S.	4.4	4.4	7.6	5.8	5.6	6.6
PCB-180	µg/kg t.S.	4.0	5.7	18.4	9.4	9.5	14.0
PCB-194	µg/kg t.S.	0	0	3.0	1.9	1.4	1.5
Flu	mg/kg t.S.	0.42	0.48	0.80	0.62	0.58	0.67
BkF	mg/kg t.S.	< 0.16	< 0.14	0.16	0.14	0.15	0.15
BbF	mg/kg t.S.	0.21	0.22	0.45	0.34	0.34	0.36
BAP	mg/kg t.S.	< 0.21	< 0.17	0.26	0.24	0.26	0.28
IP	mg/kg t.S.	< 0.22	< 0.20	0.29	0.20	0.22	0.25
BghiP	mg/kg t.S.	0.21	0.21	0.25	0.34	0.24	0.25
Anthracen	mg/kg t.S.	0.11	0.11	0.08	0.05	0.06	0.08
Pyren	mg/kg t.S.	0.28	0.37	0.68	0.48	0.49	0.52
BAA	mg/kg t.S.	0.22	0.22	0.39	0.30	0.37	0.42
DIBENZAHA	mg/kg t.S.	1.09	1.09	0.76	0.48	0	0.37
Perylen	mg/kg t.S.	0.11	0.11	0.08	0.06	0.09	0.08
org. C	%	2.30	2.30	3.30	5.20	7.10	6.80
< 2 µm	%	40	41	40	37	35	39

**Tabelle 2. Gehalte im mit einer Durchflußzentrifuge gesammelten Schwebstoff. Die Gehalte der organischen Mikroverunreinigungen sind nach Standardsedi-
ment umgerechnet worden (2,5% organischer Kohlenstoff). Die Gehalte sind
Mittelwerte der beteiligten Labors.**

		Rekingen	Village-Neuf	Seltz	Koblenz	Bimmen	Lobith
Cd	mg/kg t.S.	0.54	0.44	0.88	1.31	1.98	2.58
Hg	mg/kg t.S.	0.13	0.21	0.56	0.60	0.78	1.00
Pb	mg/kg t.S.	37.3	38.5	50.5	70.3	124.6	138.9
Zn	mg/kg t.S.	134	157	241	320	480	592
Cu	mg/kg t.S.	32.5	41.3	71.5	67.8	71.4	99.1
Ni	mg/kg t.S.	45.9	49.8	55.2	50.1	49.6	58.0
Cr	mg/kg t.S.	34.7	43.0	62.6	72.2	87.6	92.7
Co	mg/kg t.S.	11	11	12	14	20	19
Mn	mg/kg t.S.	763	791	721	1390	1817	1787
Ba	mg/kg t.S.	131	187	204	265	416	470
P	mg/kg t.S.	790	814	1260	1810	3310	3220
Br	mg/kg t.S.	9	10	22	25	27	25
As	mg/kg t.S.	10.6	9.5	15.4	14.9	17.4	17.4
Fe	mg/kg t.S.	22397	25996.50	26183.50	26033	27707.25	28894
Ti	mg/kg t.S.	2770	3130	3280	3260	3640	3710
Ca	mg/kg t.S.	95950	82900	66750	64550	60800	59650
Al	mg/kg t.S.	46347	49976	53098	48619	44284	45929
PC-Benzol	µg/kg t.S.	2.4	9.5	12.1	3.2	3.0	4.3
α-HCH	µg/kg t.S.	< 2.4	6.8	2.6	< 1.1	0.9	< 1.1
β-HCH	µg/kg t.S.	2.4	3.5	4.0	2.0	1.0	5.3
γ-HCH	µg/kg t.S.	< 2.4	6.2	< 3.5	1.2	0.9	< 0.8
HCB	µg/kg t.S.	4.7	52.3	54.8	24.6	16.2	16.0
p,p'-DDE	µg/kg t.S.	2.4	< 3.9	3.1	1.8	1.4	1.7
o,p'-DDD	µg/kg t.S.	0	2.4	1.2	0.5	0.3	0.3
p,p'-DDD	µg/kg t.S.	2.4	< 2.4	< 1.8	1.0	0.6	0.7
o,p'-DDT	µg/kg t.S.	2.4	4.7	< 1.2	< 0.5	0.4	< 0.6
p,p'-DDT	µg/kg t.S.	2.4	4.7	1.5	0.8	0.7	< 1.0
Heptachlor	µg/kg t.S.	2.4	< 2.4	< 1.2	< 0.5	< 0.3	< 0.3
Hepo	µg/kg t.S.	2.4	< 2.4	< 1.2	0.8	< 0.3	< 0.3
Aldrin	µg/kg t.S.	2.4	< 2.4	< 1.2	< 0.5	< 0.3	< 0.3
Dieldrin	µg/kg t.S.	2.4	< 2.4	< 1.2	< 0.5	< 0.3	< 0.3
Endrin	µg/kg t.S.	2.4	< 2.4	< 1.2	< 0.5	< 0.3	< 0.3
α-Endosulf.	µg/kg t.S.	2.4	< 2.4	< 1.2	1.0	< 0.3	< 0.7
PCB-28	µg/kg t.S.	< 1.8	< 2.1	3.4	1.1	2.2	3.8
PCB-52	µg/kg t.S.	< 2.1	4.7	4.7	2.3	3.7	6.6
PCB-101	µg/kg t.S.	< 3.4	< 7.6	8.8	3.2	4.2	6.3
PCB-118	µg/kg t.S.	< 3.5	5.9	5.9	2.9	3.0	3.7
PCB-138	µg/kg t.S.	6.2	8.2	16.5	5.9	5.8	8.0
PCB-149	µg/kg t.S.	9.5	7.1	13.8	6.0	5.5	6.8
PCB-153	µg/kg t.S.	6.7	8.3	16.8	6.4	5.5	7.3
PCB-170	µg/kg t.S.	4.7	4.7	5.7	2.8	2.0	2.4
PCB-180	µg/kg t.S.	4.3	6.2	13.9	4.5	3.4	5.1
PCB-194	µg/kg t.S.	0	0	2.3	0.9	0.5	0.5
Flu	mg/kg t.S.	0.46	0.53	0.60	0.30	0.20	0.25
BkF	mg/kg t.S.	< 0.18	< 0.15	0.12	0.07	0.05	0.06
BbF	mg/kg t.S.	0.23	0.24	0.34	0.16	0.12	0.13
BAP	mg/kg t.S.	< 0.23	< 0.18	0.20	0.12	0.09	0.10
IP	mg/kg t.S.	< 0.24	< 0.22	0.22	0.09	0.08	0.09
BghiP	mg/kg t.S.	0.23	0.23	0.19	0.16	0.08	0.09
Anthracen	mg/kg t.S.	0.12	0.12	0.06	0.02	0.02	0.03
Pyren	mg/kg t.S.	0.31	0.40	0.52	0.23	0.17	0.19
BAA	mg/kg t.S.	0.24	0.24	0.30	0.14	0.13	0.15
DIBENZAHA	mg/kg t.S.	1.18	1.18	0.57	0.23	0	0.14
Perylen	mg/kg t.S.	0.12	0.12	0.06	0.03	0.03	0.03

Tabelle 3. Bestimmte Gehalte im Sediment. Die Metallgehalte beziehen sich auf der Siebefraktion < 20 µm, die organische Mikroverunreinigungen auf das rohe Material. Die Gehalte sind Mittelwerte der beteiligten Labors.

		Augst	Birsfelden	Iffezheim	Koblenz	Vynen	Keken/Bimmen	Lobith
< 20 µm	%	94	37	53	60	64	59	53
Glühverl.	%	8.6	7.6	7.7	9.1	10.5	9.2	9.8
Cd	mg/kg t.S.	2.0	0.8	0.8	1.1	2.0	1.7	6.9
Hg	mg/kg t.S.	2.2	1.4	0.6	0.6	4.1	1.0	3.2
Pb	mg/kg t.S.	62	46	36	56	96	114	206
Zn	mg/kg t.S.	321	280	160	257	478	485	880
Cu	mg/kg t.S.	75	50	64	70	78	81	153
Ni	mg/kg t.S.	42	32	43	43	50	50	58
Cr	mg/kg t.S.	62	43	47	57	78	93	173
Co	mg/kg t.S.	9	8	8	12	16	16	18
Mn	mg/kg t.S.	407	452	443	703	944	884	856
Ba	mg/kg t.S.	209	144	244	352	529	502	953
P	mg/kg t.S.	863	987	1130	1840	2270	2160	3330
Br	mg/kg t.S.	7	7	12	15	17	13	12
As	mg/kg t.S.	15	13	18	18	18	20	31
Fe	mg/kg t.S.	20500	16800	20400	24600	28600	30700	32700
Ti	mg/kg t.S.	2520	2000	2540	3390	3560	3780	4170
Ca	mg/kg t.S.	124800	104000	93500	54600	57600	44000	40400
Al	mg/kg t.S.	64000	51500	60300	69600	68400	71000	71000
PC-Benzol	µg/kg t.S.	6.5	11.5	13.5	3.8	11.0	5.5	13.5
α-HCH	µg/kg t.S.	< 1.4	< 2.7	< 2.8	< 2.7	< 1.0	< 1.9	< 1.0
β-HCH	µg/kg t.S.	< 1.8	< 4.0	< 7.3	3.0	5.3	3.3	< 3.5
γ-HCH	µg/kg t.S.	< 1.2	< 2.3	< 2.6	< 1.0	< 1.0	< 2.0	< 3.0
HCB	µg/kg t.S.	20	947	793	193.7	68.0	62.0	66.7
p,p'-DDE	µg/kg t.S.	5.2	4.9	4.8	4.1	3.7	3.4	8.9
o,p-DDD	µg/kg t.S.	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	2.0
p,p'-DDD	µg/kg t.S.	< 3.6	4.8	3.3	2.8	< 1.7	2.3	6.9
o,p-DDT	µg/kg t.S.	< 1.3	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.3	< 1.3	< 1.3
p,p'-DDT	µg/kg t.S.	< 1.3	< 4.0	< 1.0	< 1.0	< 3.5	< 1.0	< 1.0
Heptachlor	µg/kg t.S.	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0
Hepo	µg/kg t.S.	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0
Aldrin	µg/kg t.S.	< 1.0	< 3.8	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.1	< 1.7
Dieldrin	µg/kg t.S.	< 1.3	< 1.3	< 1.0	< 1.0	< 3.3	< 2.3	< 1.0
Endrin	µg/kg t.S.	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	3.0
α-Endosulf.	µg/kg t.S.	< 1.0	< 1.0	< 1.0	2.0	1.5	< 1.0	< 2.5
PCB-28	µg/kg t.S.	16.0	51.5	3.7	5.4	15.5	9.4	67.8
PCB-52	µg/kg t.S.	11.9	34.5	5.4	8.5	14.6	14.1	61.3
PCB-101	µg/kg t.S.	12.3	16.5	6.1	6.8	11.9	13.5	69.8
PCB-118	µg/kg t.S.	09.2	12.2	4.0	5.7	12.8	12.7	54.0
PCB-138	µg/kg t.S.	19.1	17.3	11.3	12.8	21.6	18.3	43.8
PCB-149	µg/kg t.S.	11.0	11.0	7.0	10.0	15.0	14.0	33.0
PCB-153	µg/kg t.S.	17.5	15.6	12.7	12.1	18.0	14.8	60.5
PCB-170	µg/kg t.S.	4.0	5.0	3.0	5.0	8.0	7.0	14.0
PCB-180	µg/kg t.S.	8.0	7.9	8.8	8.9	13.6	13.1	32.3
PCB-194	µg/kg t.S.	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0	2.0	4.0
Flu	mg/kg t.S.	1.03	1.45	0.71	1.30	1.58	1.65	3.05
BkF	mg/kg t.S.	0.30	0.24	0.17	0.26	0.32	0.35	0.54
BbF	mg/kg t.S.	0.75	0.54	0.35	0.53	0.69	0.80	1.27
BAP	mg/kg t.S.	0.46	0.34	0.28	0.45	0.55	0.63	0.97
IP	mg/kg t.S.	0.38	0.30	0.22	0.33	0.43	0.58	0.86
BghiP	mg/kg t.S.	0.38	0.28	0.19	0.36	0.38	0.44	0.71
Anthracen	mg/kg t.S.	0.07	0.14	0.07	0.15	0.20	0.21	0.66
Pyren	mg/kg t.S.	0.84	1.10	0.58	1.20	0.98	2.10	1.80
BAA	mg/kg t.S.	0.75	0.77	0.42	0.86	0.81	0.95	1.50
DIBENZAHA	mg/kg t.S.	0.60	0.50	0.50	0.60	0.63	0.71	1.20
Perylen	mg/kg t.S.	0.12	0.11	0.08	0.18	0.17	0.20	0.28
org. C	%	2.3	1.3	2.0	2.9	3.7	3.1	4.2
< 2 µm	%	40	16	23	26	27	25	23

Tabelle 4. Bestimmte Gehalte im Sediment. Die Metallgehalte sind nicht standardisiert worden, sondern beziehen sich auf die Siebefraktion < 20 µm. Die Gehalte der organischen Mikroverunreinigungen beziehen sich auf 2.5% organischen Kohlenstoff. Die Gehalte sind Mittelwerte der beteiligten Labors

		Augst	Birsfelden	Iffezheim	Koblenz	Vynen	Keken/Bimmen	Lobith
< 20 µm	%	94	37	53	60	64	59	53
Glühverl.	%	8.6	7.6	7.7	9.1	10.5	9.2	9.8
Cd	mg/kg t.S.	2.0	0.8	0.8	1.1	2.0	1.7	6.9
Hg	mg/kg t.S.	2.2	1.4	0.6	0.6	4.1	1.0	3.2
Pb	mg/kg t.S.	62	46	36	56	96	114	206
Zn	mg/kg t.S.	321	280	160	257	478	485	880
Cu	mg/kg t.S.	75	50	64	70	78	81	153
Ni	mg/kg t.S.	42	32	43	43	50	50	58
Cr	mg/kg t.S.	62	43	47	57	78	93	173
Co	mg/kg t.S.	9	8	8	12	16	16	18
Mn	mg/kg t.S.	407	452	443	703	944	884	856
Ba	mg/kg t.S.	209	144	244	352	529	502	953
P	mg/kg t.S.	863	987	1130	1840	2270	2160	3330
Br	mg/kg t.S.	7	7	12	15	17	13	12
As	mg/kg t.S.	15	13	18	18	18	20	31
Fe	mg/kg t.S.	20500	16800	20400	24600	28600	30700	32700
Ti	mg/kg t.S.	2520	2000	2540	3390	3560	3780	4170
Ca	mg/kg t.S.	124800	104000	93500	54600	57600	44000	40400
Al	mg/kg t.S.	64000	51500	60300	69600	68400	71000	71000
PC-Benzol	µg/kg t.S.	7.2	22.0	16.9	3.2	7.5	4.4	8.0
α-HCH	µg/kg t.S.	< 1.5	< 5.1	< 3.5	< 2.3	< 0.78	< 1.5	< 0.6
β-HCH	µg/kg t.S.	< 2.0	< 7.6	< 9.2	2.6	3.6	2.6	< 2.1
γ-HCH	µg/kg t.S.	< 1.4	< 4.4	< 3.3	< 0.9	< 0.7	< 1.6	< 0.6
HCB	µg/kg t.S.	22	1806	993.7	167.2	46.3	49.3	35.8
p,p'-DDE	µg/kg t.S.	5.8	9.4	6.0	3.6	2.5	2.7	5.3
o,p-DDD	µg/kg t.S.	< 1.1	< 1.9	< 1.3	< 0.9	< 0.7	< 0.8	1.2
p,p'-DDD	µg/kg t.S.	< 4.0	9.2	4.1	2.5	< 1.2	1.8	4.1
o,p-DDT	µg/kg t.S.	< 1.5	< 1.9	< 1.3	< 0.9	< 0.9	< 1.1	< 0.8
p,p'-DDT	µg/kg t.S.	< 1.5	< 7.6	< 1.3	< 0.9	< 2.7	< 0.8	< 0.6
Heptachlor	µg/kg t.S.	< 1.1	< 1.9	< 1.3	< 0.9	< 0.7	< 0.8	< 0.6
Hepo	µg/kg t.S.	< 1.1	< 1.9	< 1.3	< 0.9	< 0.7	< 0.8	< 0.6
Aldrin	µg/kg t.S.	< 1.1	< 7.2	< 1.3	< 0.9	< 0.7	< 0.9	< 1.0
Dieldrin	µg/kg t.S.	< 1.4	< 2.5	< 1.3	< 0.9	< 2.2	< 1.8	< 0.6
Endrin	µg/kg t.S.	< 1.1	< 1.9	< 1.3	< 0.9	< 0.7	< 0.8	1.8
α-Endosulf.	µg/kg t.S.	< 1.1	< 1.9	< 1.3	1.7	1.0	< 0.8	< 1.5
PCB-28	µg/kg t.S.	17.7	98.3	4.6	4.6	10.5	7.5	40.0
PCB-52	µg/kg t.S.	13.1	65.8	6.8	7.3	10.0	11.2	36.2
PCB-101	µg/kg t.S.	13.5	31.5	7.6	5.8	8.1	10.7	41.2
PCB-118	µg/kg t.S.	10.1	23.2	5.0	4.9	8.7	10.1	31.9
PCB-138	µg/kg t.S.	21.1	32.9	14.2	11.0	14.7	14.5	25.8
PCB-149	µg/kg t.S.	12.1	21.0	8.8	8.6	10.2	11.1	19.5
PCB-153	µg/kg t.S.	19.3	29.8	15.9	10.5	12.3	11.7	35.7
PCB-170	µg/kg t.S.	4.4	9.5	3.8	4.3	5.4	5.6	8.3
PCB-180	µg/kg t.S.	8.8	15.0	11.0	7.7	9.3	10.4	19.0
PCB-194	µg/kg t.S.	1.1	1.9	1.3	0.9	2.0	1.6	2.4
Flu	mg/kg t.S.	1.13	2.77	0.89	1.12	1.07	1.31	1.80
BkF	mg/kg t.S.	0.33	0.46	0.22	0.22	0.22	0.28	0.32
BbF	mg/kg t.S.	0.84	1.03	0.44	0.46	0.47	0.64	0.75
BAP	mg/kg t.S.	0.50	0.65	0.35	0.39	0.37	0.50	0.57
IP	mg/kg t.S.	0.42	0.58	0.27	0.29	0.29	0.46	0.51
BghIP	mg/kg t.S.	0.42	0.53	0.24	0.31	0.26	0.35	0.42
Anthracen	mg/kg t.S.	0.08	0.27	0.09	0.13	0.14	0.39	0.17
Pyren	mg/kg t.S.	0.93	2.10	0.73	1.04	0.67	1.67	1.06
BAA	mg/kg t.S.	0.83	1.47	0.53	0.74	0.55	0.76	0.89
DIBENZAHA	mg/kg t.S.	0.66	0.95	0.63	0.52	0.43	0.56	0.71
Perylen	mg/kg t.S.	0.13	0.21	0.10	0.16	0.12	0.16	0.17
org. C	%	2.3	1.3	2.0	2.9	3.7	3.1	4.2
< 2 µm	%	40	16	23	26	27	25	23

Tabelle 5. Verhältnisse Gehalte im Sediment (bestimmt) / Gehalte im Sediment (berechnet aus Schwebstoff). Die Gehalte der organischen Mikroverunreinigungen sind standardisiert nach 2.5% organischer Kohlenstoff. Die Gehalte sind Mittelwerte der beteiligten Labors.

	Seltz	Koblenz	Bimmen	Lobith	Mittelwert
Cd	0.9	0.8	0.9	2.7	1.3
Hg	1.1	1.0	1.3	3.2	1.6
Pb	0.7	0.8	0.9	1.5	1.0
Zn	0.7	0.8	1.0	1.5	1.0
Cu	0.9	1.0	1.1	1.5	1.2
Ni	0.8	0.9	1.0	1.0	0.9
0.8	0.8	0.8	1.1	1.9	1.1
As	1.2	1.2	1.1	1.8	1.3
PC-Benzol	1.4	1.0	1.5	1.8	1.4
α -HCH	< 1.3	2.2	< 1.7	0.6	1.5
β -HCH	< 2.3	1.3	2.7	>0.4	1.7
γ -HCH	0.9	< 0.7	< 1.8	0.7	1.0
HCB	18.1	6.8	3.0	2.2	7.5
p,p'-DDE	2.0	2.0	1.9	3.1	2.3
o,p'-DDD	< 1.1	< 1.9	< 3.2	4.4	2.7
p,p'-DDD	>2.3	2.5	2.8	6.0	3.4
o,p'-DDT	1.1	1.9	< 2.6	1.3	1.7
p,p'-DDT	< 0.8	< 1.1	< 1.2	0.6	0.9
Heptachlor	1.1	1.9	3.2	2.2	2.1
Keo	1.1	< 1.1	3.2	2.2	1.9
Aldrin	1.1	1.9	3.5	3.7	2.6
Dieldrin	1.1	1.9	7.2	2.2	3.1
Endrin	1.1	1.9	3.2	>6.6	3.2
α -Endosulf.	1.1	1.7	3.2	2.2	2.1
PCB-28	1.4	4.1	3.4	10.5	4.9
PCB-52	1.4	3.3	3.1	5.5	3.3
PCB-101	0.9	1.8	2.6	6.6	3.0
PCB-118	0.8	1.7	3.4	8.6	3.6
PCB-138	0.9	1.9	2.5	3.2	2.1
PCB-149	0.6	1.4	2.0	2.9	1.7
PCB-153	0.9	1.6	2.1	4.9	2.4
PCB-170	0.7	1.6	2.8	3.4	2.1
PCB-180	0.8	1.7	3.1	3.7	2.3
PCB-194	0.5	0.9	3.2	4.4	2.3
Flu	1.5	3.8	6.4	7.3	4.8
BkF	1.8	3.3	5.2	5.6	4.0
BbF	1.3	2.8	5.3	5.7	3.8
BAP	1.8	3.3	5.5	5.5	4.0
IP	1.2	3.1	5.9	5.6	4.0
BghiP	1.3	1.9	4.2	4.5	3.0
Anthracen	1.5	5.6	19.8	5.6	8.1
Pyren	1.4	4.5	9.8	5.6	5.3
BAA	1.8	5.2	5.7	5.7	4.6
DIBENZAHA	1.1	2.2		5.2	2.8
Perylen	1.7	5.6	5.3	5.6	4.6

Tabelle 6. Bestimmte gesamte Konzentrationen in Wasserstichproben.

Schwebstoffmg/l		Rekingen	Vil.-Neuf	Seltz	Koblenz	Bimmen	Lobith	Mittelwert
		38	43	16	33	44	40	36
Cd	µg/l	0.02	0.05	0.07	0.05	0.08	0.08	0.06
Hg	µg/l	0.07	0.02	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04
Pb	µg/l	1.2	1.5	1	1.6	3.8	3.7	2.13
Zn	µg/l	3	73	7	19	29	26	26.17
Cu	µg/l	1.6	2.8	2.6	3.2	2.4	5.1	2.95
Ni	µg/l	0.8	0.6	1	2	3.3	3.5	1.87
Cr	µg/l	4.2	4.4	7.5	3.6	6.1	7	5.47
As	µg/l	0.9	0.6	2.7	1.1	1.3	1.4	1.33

Tabelle 7. Bestimmte gelöste Konzentrationen in Wasserstichproben.

		Rekingen	Vil.-Neuf	Seltz	Koblenz	Bimmen	Lobith	Mittelwert
Cd	µg/l	< 0.01	0.06	0.02	0.02	0.02	0.01	0.027
Hg	µg/l	0.01	0.02	< 0.01	0.02	< 0.1	0.01	0.015
Pb	µg/l	0.3	0.4	0.2	< 0.1	< 0.1	0.05	0.21
Zn	µg/l	< 1	6	2	5	6	5	4.9
Cu	µg/l	1	1.6	1.4	2.3	2.5	2.7	2.3
Ni	µg/l	0.2	0.5	0.7	1.8	2.3	2.7	1.64
Cr	µg/l	0.7	1	1	1.1	1.9	1.5	1.44
As	µg/l	0.9	0.6	0.7	0.9	1	1.1	1.04

Tabelle 8. Gehalte im Schwebstoff in den Wasserstichproben. Die Gehalte sind mittels folgender Formel berechnet worden:

$$C_s = \frac{C_t - C_w}{S}$$

		Rekingen	Vil.-Neuf	Seltz	Koblenz	Bimmen	Lobith
Cd	mg/kg	0.39	-0.23	3.13	0.91	1.36	1.75
Hg	mg/kg	1.58	0	2.19	0.61	0.45	0.50
Pb	mg/kg	23.7	25.6	50.0	47.0	85.2	91.3
Zn	mg/kg	65.8	1558.1	312.5	424.2	522.7	525.0
Cu	mg/kg	15.8	27.9	75.0	27.3	-2.3	60.0
Ni	mg/kg	15.8	2.3	18.8	6.1	22.7	20.0
Cr	mg/kg	92.1	79.1	406.3	75.8	95.5	137.5
As	mg/kg	0	0	125.0	6.1	6.8	7.5

Tabelle 9. Verteilungskoeffizienten, berechnet mit der Formeln:

Für Metalle:

$$K_d = C_{s, \text{Zentrifuge}} / C_w$$

Für organische Mikroverunreinigungen:

$$K_p = (f_{oc} * K_{ow} * 10^{-0,21})/1000$$

		Rekingen	Vil.-Neuf	Seltz	Koblenz	Bimmen	Lobith	Mittelwert
Cd	l/g	108	7.4	44	65	99	258	97
Hg	l/g	13	11	111	30	78	100	57
Pb	l/g	124	96	252	1406	2492	2777	1192
Zn	l/g	267	26	121	64	80	118	113
Cu	l/g	33	26	51	30	29	37	34
Ni	l/g	230	100	79	28	22	22	80
Cr	l/g	50	43	63	66	46	62	55
As	l/g	12	16	22	17	17	16	17
PCP	l/g	0.14	0.14	0.20	0.32	0.44	0.42	0.28
Pc-Benzol	l/g	2.8	2.8	4.1	6.4	8.7	8.4	5.5
α-HCH	l/g	0.07	0.07	0.10	0.16	0.22	0.21	0.14
β-HCH	l/g	0.07	0.07	0.10	0.16	0.22	0.21	0.14
γ-HCH	l/g	0.07	0.07	0.10	0.16	0.22	0.21	0.14
HCB	l/g	18	18	26	40	55	53	35
o,p-DDE	l/g	14	14	20	32	44	42	28
p,p'-DDE	l/g	14	14	20	32	44	42	28
o,p-DDD	l/g	14	14	20	32	44	42	28
p,p'-DDD	l/g	14	14	20	32	44	42	28
o,p-DDT	l/g	14	14	20	32	44	42	28
p,p'-DDT	l/g	14	14	20	32	44	42	28
Heptachlor	l/g	0.56	0.56	0.81	1.3	1.7	1.7	1.1
Hepo	l/g	1.8	1.8	2.6	4.0	5.5	5.3	3.5
Aldrin	l/g	356	356	511	805	1100	1053	697
Dieldrin	l/g	22	22	32	51	69	66	44
Endrin	l/g	2.8	2.8	4.1	6.4	8.7	8.4	5.5
α-Endosulf	l/g	0.45	0.45	0.64	1.0	1.4	1.3	0.88
PCB-28	l/g	5.7	5.7	8.1	12	17	17	11
PCB-53	l/g	18	18	26	40	55	53	35
PCB-101	l/g	18	18	26	40	55	53	35
PCB-118	l/g	179	179	256	404	551	528	349
PCB-138	l/g	36	36	51	81	110	105	70
PCB-153	l/g	56	56	81	128	174	167	110
PCB-180	l/g	71	71	102	161	219	210	139
Flu	l/g	1.8	1.8	2.6	4.0	5.5	5.3	3.5
BkF	l/g	14	14	20	32	44	42	28
BbF	l/g	56	56	81	128	174	167	110
BAP	l/g	14	14	20	32	44	42	28
JP	l/g	36	36	51	81	110	105	70
BghiP	l/g	56	56	81	128	174	167	110
Anthracen	l/g	0.45	0.45	0.64	1.0	1.4	1.3	0.88
Pyren	l/g	2.3	2.3	3.2	5.1	6.9	6.7	4.4
BAA	l/g	5.7	5.7	8.1	13	17	17	11
Chrys	l/g	5.7	5.7	8.1	13	17	17	11
Dibenzaha	l/g	14	14	20	32	44	42	28

Tabelle 10. Gelöste Konzentrationen im Wasser aus dem mit einer Durchflußzentrifuge gesammelten Schwebstoff, berechnet mittels der Formel:

$$C_w = C_s / K_d/p$$

		Rekingen	Village-Neuf	Seltz	Koblenz	Bimmen	Lobith	Mittel-
Cd	µg/l	0.005	0.060	0.020	0.020	0.020	0.010	0.023
Hg	µg/l	0.01	0.02	0.005	0.020	0.010	0.010	0.013
Pb	µg/l	0.3	0.4	0.2	0.05	0.05	0.05	0.2
Zn	µg/l	0.5	6.0	2.0	5.0	6.0	5.0	4.1
Cu	µg/l	1.0	1.6	1.4	2.3	2.5	2.7	2.0
Ni	µg/l	0.2	0.5	0.7	1.8	2.3	2.7	1.4
Cr	µg/l	0.7	1.0	1.0	1.1	1.9	1.5	1.2
As	µg/l	0.9	0.6	0.7	0.9	1.0	1.1	0.9
PC-Benzol	µg/l	0.0008	0.003	0.004	0.001	0.0010	0.0014	0.0019
α-HCH	µg/l	< 0.029	0.084	0.032	< 0.013	0.011	< 0.013	0.030
β-HCH	µg/l	0.029	0.044	0.049	0.025	0.012	0.065	0.037
γ-HCH	µg/l	< 0.029	0.076	< 0.043	0.014	0.011	< 0.010	0.031
HCB	µg/l	0.00020	0.0022	0.0023	0.0010	0.00069	0.00068	0.0012
p,p'-DDE	µg/l	0.00015	< 0.00025	0.00020	0.00011	0.000091	0.00011	0.00015
o,p'-DDD	µg/l		0.00015	0.000074	0.000030	0.000016	0.000017	0.000048
p,p'-DDD	µg/l	0.00015	< 0.00015	< 0.00012	0.000063	0.000042	0.000044	0.000094
o,p'-DDT	µg/l	0.00015	0.00031	< 0.000074	0.000030	0.000027	0.000038	0.00010
p,p'-DDT	µg/l	0.00015	0.00031	0.000099	0.000050	0.000043	0.000067	0.00012
Heptachlor	µg/l	0.0038	< 0.0038	< 0.0019	< 0.00075	< 0.00040	< 0.00044	0.0019
Hepo	µg/l	0.0014	< 0.0014	< 0.00066	0.00047	< 0.00014	< 0.00016	0.00069
Aldrin	µg/l	0.000006	< 0.000006	< 0.000003	0.000001	< 0.000001	0.000001	0.000003
Dieldrin	µg/l	0.000096	< 0.000096	< 0.000047	0.000019	< 0.000010	0.000011	0.000046
Endrin	µg/l	0.00070	< 0.00070	< 0.00034	< 0.00014	< 0.000073	0.000080	0.00034
α-Endosulf.	µg/l	0.0050	< 0.0050	< 0.0025	0.0022	< 0.00053	< 0.0014	0.0028
PCB-28	µg/l	< 0.00027	< 0.00032	0.00052	0.00018	0.00034	0.00059	0.00037
PCB-52	µg/l	< 0.00011	0.00024	0.00024	0.00012	0.00019	0.00034	0.00021
PCB-101	µg/l	< 0.00017	< 0.00038	0.00044	0.00016	0.00021	0.00032	0.00028
PCB-118	µg/l	< 0.000019	0.000032	0.000033	0.000016	0.000016	0.000020	0.000028
PCB-138	µg/l	0.00016	0.00021	0.00042	0.00015	0.00015	0.00021	0.00022
PCB-153	µg/l	0.00012	0.00014	0.00029	0.00011	0.000095	0.00013	0.00015
PCB-180	µg/l	0.000053	0.000076	0.00017	0.000056	0.000041	0.000063	0.000078
Flu	µg/l	0.23	0.27	0.31	0.15	0.11	0.13	0.20
BkF	µg/l	< 0.011	< 0.0096	0.0079	0.0044	0.0035	0.0037	0.0067
BbF	µg/l	0.0036	0.0038	0.0055	0.0026	0.0019	0.0021	0.0033
BAP	µg/l	< 0.015	< 0.012	0.013	0.0075	0.0059	0.0067	0.0098
IP	µg/l	< 0.0061	< 0.0056	0.0057	0.0024	0.0020	0.0023	0.0040
BghiP	µg/l	0.0036	0.0037	0.0031	0.0026	0.0014	0.0015	0.0027
Anthracen	µg/l	0.22	0.22	0.11	0.043	0.037	0.055	0.11
Pyren	µg/l	0.13	0.17	0.22	0.099	0.073	0.081	0.13
BAA	µg/l	0.037	0.037	0.047	0.023	0.021	0.024	0.032
DIBENZAZHA	µg/l	0.082	0.082	0.040	0.016		0.0094	0.038

Tabelle 11. Gesamte Konzentrationen im Wasser aus dem mit einer Durchfluß-zentrifuge gesammelten Schwebstoff, berechnet mittels der Formel:

$$C_i = C_s * (1/K_d/p + S)$$

	Rekingen	Vil-Neuf	Seltz	Koblenz	Bimmen	Lobith	Mittelwert
Cd $\mu\text{g/l}$	0.026	0.079	0.034	0.063	0.107	0.113	0.070
Hg $\mu\text{g/l}$	0.015	0.029	0.014	0.040	0.044	0.050	0.032
Pb $\mu\text{g/l}$	1.7	2.1	1.0	2.4	5.5	5.6	3.0
Zn $\mu\text{g/l}$	5.6	12.7	5.9	15.6	27.1	28.7	15.9
Cu $\mu\text{g/l}$	2.2	3.4	2.5	4.5	5.6	6.7	4.2
Ni $\mu\text{g/l}$	1.9	2.6	1.6	3.5	4.5	5.0	3.2
Cr $\mu\text{g/l}$	2.0	2.8	2.0	3.5	5.8	5.2	3.6
As $\mu\text{g/l}$	1.3	1.0	0.9	1.4	1.8	1.8	1.4
PC_Benzol $\mu\text{g/l}$	0.00085	0.0034	0.0042	0.0013	0.0013	0.0019	0.0022
α -HCH $\mu\text{g/l}$	< 0.029	0.084	0.032	< 0.013	0.011	< 0.013	0.030
β -HCH $\mu\text{g/l}$	0.029	0.044	0.049	0.025	0.012	0.066	0.037
γ -HCH $\mu\text{g/l}$	< 0.029	0.077	< 0.043	0.014	0.011	< 0.010	0.031
HCB $\mu\text{g/l}$	0.00037	0.0043	0.0035	0.0027	0.0027	0.0024	0.0027
p,p'-DDE $\mu\text{g/l}$	0.00024	< 0.00041	0.00026	0.00024	0.00027	0.00029	0.00028
o,p-DDD $\mu\text{g/l}$		0.00025	0.00098	0.00062	0.00047	0.00047	0.00083
p,p'-DDD $\mu\text{g/l}$	0.00024	< 0.00025	< 0.00015	0.00013	0.00012	0.00012	0.00017
o,p-DDT $\mu\text{g/l}$	0.00024	0.00049	< 0.00098	0.00062	0.00078	< 0.00010	0.00018
p,p'-DDT $\mu\text{g/l}$	0.00024	0.00049	0.00013	0.00010	0.00013	< 0.00018	0.00021
Heptachlor $\mu\text{g/l}$	0.0039	< 0.0039	< 0.0019	< 0.00078	< 0.00043	< 0.00047	0.0019
Hepo $\mu\text{g/l}$	0.0014	< 0.0015	< 0.00068	0.00052	< 0.00017	< 0.00019	0.00074
Aldrin $\mu\text{g/l}$	0.000089	< 0.00010	< 0.00027	0.00033	< 0.00032	< 0.00030	0.00051
Dieldrin $\mu\text{g/l}$	0.00018	< 0.00019	< 0.00071	< 0.00051	< 0.00041	< 0.00040	0.00095
Endrin $\mu\text{g/l}$	0.00078	< 0.00079	< 0.00036	< 0.00017	< 0.00010	< 0.00011	0.00038
α -Endosulf. $\mu\text{g/l}$	0.0051	< 0.0051	< 0.0025	0.0023	< 0.00056	< 0.00015	0.0029
PCB-28 $\mu\text{g/l}$	< 0.00034	< 0.00040	0.00059	0.00025	0.00062	0.0010	0.00053
PCB-52 $\mu\text{g/l}$	< 0.00018	0.00042	0.00034	0.00027	0.00064	0.0010	0.00049
PCB-101 $\mu\text{g/l}$	< 0.00029	< 0.00068	0.00062	0.00038	0.00073	0.0010	0.00062
PCB-118 $\mu\text{g/l}$	< 0.00014	0.00027	0.00016	0.00021	0.00039	0.00042	0.00027
PCB-138 $\mu\text{g/l}$	0.00038	0.00054	0.00077	0.00055	0.00087	0.0011	0.00070
PCB-153 $\mu\text{g/l}$	0.00035	0.00047	0.00065	0.00055	0.00078	0.00092	0.00062
PCB-180 $\mu\text{g/l}$	0.00021	0.00032	0.00047	0.00037	0.00046	0.00062	0.00041
Flu $\mu\text{g/l}$	0.25	0.29	0.32	0.17	0.13	0.15	0.22
BkF $\mu\text{g/l}$	< 0.018	< 0.015	0.011	0.0090	0.010	0.0098	0.012
BbF $\mu\text{g/l}$	0.012	0.013	0.013	0.014	0.017	0.017	0.014
BAP $\mu\text{g/l}$	< 0.022	< 0.019	0.017	0.016	0.017	0.018	0.018
IP $\mu\text{g/l}$	< 0.014	< 0.014	0.010	0.0088	0.012	0.012	0.012
BghIP $\mu\text{g/l}$	0.012	0.013	0.0072	0.014	0.012	0.012	0.011
Anthracen $\mu\text{g/l}$	0.22	0.23	0.11	0.045	0.039	0.059	0.12
Pyren $\mu\text{g/l}$	0.14	0.19	0.23	0.11	0.094	0.10	0.15
BAA $\mu\text{g/l}$	0.046	0.047	0.054	0.033	0.037	0.041	0.043
DIBENZAHA $\mu\text{g/l}$	0.12	0.13	0.052	0.032		0.024	0.060

Tabelle 12. Bestimmte Gehalte in Muscheln.

Probenahmestelle		Rekingen	Vil.-Neuf	Seltz	Koblenz	Bimmen	Lobith
Cd	mg/kg d.w.	0.56	0.61	0.64	0.88	1.42	1.26
Hg	mg/kg d.w.	0.20	0.35	0.24	0.25	0.22	0.21
Pb	mg/kg d.w.	2.8	3.4	3.1	3.4	3.8	3.4
Cu	mg/kg d.w.	11.3	18.0	22.2	28.1	23.3	17.9
Cr	mg/kg d.w.	4.8	6.3	6.6	7.4	3.5	4.9
α -HCH	μ g/kg d.w.	1.5	2.7	0.85	5.0	4.3	4.3
β -HCH	μ g/kg d.w.	6.2	4.45	2.35	< 10	6.2	7.5
c-HCH	μ g/kg d.w.	5.7	5.3	4.2	11.0	14.0	14
HCB	μ g/kg d.w.	35.25	73.5	59.5	100	23	63
p,p'-DDE	μ g/kg d.w.	6.95	11.6	7.0	28.0	21.0	23
p,p'-DDD	μ g/kg d.w.	3.0	3.5	< 6.0	13.0	< 10.0	10
p,p'-DDT	μ g/kg d.w.	5.5	12.5	< 8	11	< 10	16
Hepo	μ g/kg d.w.	8.1	6.1	6.9		11.0	13.6
Dieldrin	μ g/kg d.w.	4.5	4.2	4.7	12.0	10.0	7.0
Endrin	μ g/kg d.w.	< 2.1	< 2.1	< 6.0	< 2.0	< 3.0	< 0.2
α -Endosulf.	μ g/kg d.w.	< 3.0	< 4.5	0.9	4.0	6.0	4.3
PCB-28	μ g/kg d.w.	3.6	2.6	6.5	15.0	16.0	19.0
PCB-52	μ g/kg d.w.	7.2	8.1	12.1	40.0	32.0	51.0
PCB-101	μ g/kg d.w.	14.5	24.0	18.5	55.0	47.0	83.0
PCB-118	μ g/kg d.w.	7.4	1.4	7.4	22.0	27.0	35.0
PCB-138	μ g/kg d.w.	22.0	31.0	25.5	64.0	58.0	70.0
PCB-153	μ g/kg d.w.	27.5	39.5	38.0	94.0	78.0	98.0
PCB-180	μ g/kg d.w.	10.5	12.0	17.5	33.0	27.0	30.0

Tabelle 13. Biokonzentrationsfaktoren Muscheln, berechnet mittels der Formel:

$$BCF = C_{\text{Muscheln}} / C_w$$

C_w ist für Metalle bestimmt worden und für organische Mikroverunreinigungen berechnet worden.

Probenahmestelle		Rekingen	Vil.-Neuf	Seltz	Koblenz	Bimmen	Lobith	Mittelwert
Cd	l/g	112	10	32	44	71	126	66
Hg	l/g	20	18	48	13	22	21	24
Pb	l/g	9	9	16	68	76	68	41
Cu	l/g	11	11	16	12	9	7	11
Cr	l/g	7	6	7	7	2	3	5
α -HCH	l/g	> 0.05	0.03	0.03	> 0.38	0.40	> 0.33	0.20
β -HCH	l/g	0.21	0.10	0.05	< 0.40	0.53	0.11	0.23
c-HCH	l/g	> 0.20	0.07	> 0.10	0.77	1.32	> 1.37	0.64
HCB	l/g	175	33	25	95	33	92	76
p,p'-DDE	l/g	46	> 46	35	245	230	210	135
p,p'-DDD	l/g	20	> 23	52	208	> 240	226	128
p,p'-DDT	l/g	36	41	< 81	221	< 234	> 239	142
Hepo	l/g	6	> 4	> 10		> 77	> 88	37
Dieldrin	l/g	47	> 44	> 101	> 637	> 991	> 636	409
Endrin	l/g	< 3	3	18	15	41	3	14
α -Endosulf.	l/g	< 1	1	> 1	2	> 11	> 3	3
PCB-28	l/g	> 13	> 8	12	86	47	32	33
PCB-52	l/g	> 66	34	50	346	171	152	137
PCB-101	l/g	> 86	> 63	42	344	226	264	171
PCB-118	l/g	> 378	42	227	1405	1652	1725	905
PCB-138	l/g	138	147	60	425	392	339	250
PCB-153	l/g	237	275	130	844	819	773	513
PCB-180	l/g	197	157	102	593	656	475	363

Tabelle 14. In Moosen bestimmte Gehalte.

Probenahmestelle		Rekingen	Vil.-Neuf	Seltz	Koblenz (Bacharach)	Bimmen	Lobith	Mittelwert
Cd	mg/kg d.w.	1.2	0.9	1.7	1.3	2.8	1.9	1.6
Hg	mg/kg d.w.	0.03	0.04	0.06	0.06	0.07	0.04	0.05
Pb	mg/kg d.w.	20	20	10	15	27	18	18
Zn	mg/kg d.w.	218	242	264	308	548	502	347
Cu	mg/kg d.w.	18	31	35	45	42	40	35
Ni	mg/kg d.w.	19	16	25	23	33	30	24
Cr	mg/kg d.w.	3	5	6	8	13	8	7
HCB	µg/kg d.w.	17	11	23	37	26	10	21
PCB-28	µg/kg d.w.	34	34	28	25	41	45	35
PCB-52	µg/kg d.w.	15	21	17	20	18	19	18
PCB-138	µg/kg d.w.	42	9	10	26	22	23	22
PCB-153	µg/kg d.w.	23	28	28	10	9	23	20
PCB-180	µg/kg d.w.	20	31	16	39	27	23	26

Tabelle 15. Biokonzentrationsfaktoren Moose, berechnet mittels der Formel:

$$BCF = C_{\text{Moosen}} / C_w$$

C_w ist für Metalle bestimmt worden und für organische Mikroverunreinigungen berechnet worden.

		Rekingen	Vil.-Neuf	Seltz	Koblenz (Bacharach)	Bimmen	Lobith	Mittelwert
Cd	l/g	240	15	85	65	140	190	123
Hg	l/g	3	2	12	3	7	4	5
Pb	l/g	67	50	50	300	540	360	228
Zn	l/g	436	40	132	62	91	100	144
Cu	l/g	18	19	25	20	17	15	19
Ni	l/g	95	32	36	13	14	11	33
Cr	l/g	4	5	6	7	7	5	6
HCB	l/g	84	5	10	35	38	15	31
PCB-28	l/g	> 124	> 107	54	143	120	77	104
PCB-52	l/g	> 138	88	70	173	96	57	104
PCB-138	l/g	263	43	24	173	149	111	127
PCB-153	l/g	198	195	96	90	94	181	142
PCB-180	l/g	376	407	94	700	656	364	433

Tabelle 16. Verhältnisse Gehalte in Moosen / Gehalte in Muscheln. Die Gehalte beziehen sich auf dem trockenen Stoff.

	Rekingen	Vil.-Neuf	Seltz	Koblenz	Bimmen	Lobith	Mittelwert
Cd	2.1	1.5	2.7	1.5	2.0	1.5	1.9
Hg	0.2	0.1	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2
Pb	7.1	5.9	3.2	4.4	7.1	5.3	5.5
Cu	1.6	1.7	1.6	1.6	1.8	2.2	1.8
Cr	0.6	0.8	0.9	1.1	3.7	1.6	1.5
HCB	0.5	0.1	0.4	0.4	1.1	0.2	0.4
PCB-28	9.4	13.1	4.3	1.7	2.6	2.4	5.6
PCB-52	2.1	2.6	1.4	0.5	0.6	0.4	1.3
PCB-138	1.9	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.6
PCB-153	0.8	0.7	0.7	0.1	0.1	0.2	0.5
PCB-180	1.9	2.6	0.9	1.2	1.0	0.8	1.4

