



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

AKTIONSPROGRAMM "RHEIN"

Statusbericht Rhein 1995

Sedimentqualität im Längsprofil des Rheins

Teil A

Internationale Meßaktion

Zusammenfassung

Echternach, 10. Dezember 1997

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
2. Meßprogramm
 - 2.1 Probenahme
 - 2.2 Weitere Behandlung und Analyse der Proben
 - 2.3 Hydrologische Bedingungen während der Probenahme
3. Ergebnisse der internationalen Sedimentuntersuchung 1995
 - 3.1 Altersabschätzung und Qualitätskontrolle
 - 3.2 Korngrößenverteilung
 - 3.3 Summenmeßgrößen
 - 3.4 Nährstoffe
 - 3.5 Metalle und Arsen
 - 3.6 Organische Mikroverunreinigungen
4. Zusammenfassung
5. Anlagen

1 Einleitung

Das 1987 beschlossene Aktionsprogramm Rhein hat für das Jahr 2000 folgende Ziele gesetzt:

- das Ökosystem des Rheins soll soweit verbessert werden, daß früher vorhandene höhere Arten (z.B. der Lachs) im Rhein wieder heimisch werden können;
- die Nutzung des Rheinwassers für die Trinkwasserversorgung muß auch künftig gewährleistet sein;
- die Schadstoffbelastung der Sedimente muß soweit verringert werden, daß diese wieder auf das Land aufgebracht bzw. im Meer verklappt werden können;
- den Schutz der Nordsee.

Zur Überwachung und Erfüllung dieser Ziele sind umfangreiche Bestandsaufnahmen insbesondere in den Stichjahren des Aktionsprogramms Rhein erforderlich. Neben den ständig durchgeführten routinemäßigen Untersuchungen der Wasserphase und der Schwebstoffe werden in den Stichjahren auch Untersuchungen von Sedimenten und Organismen an ausgewählten internationalen Meßstellen durchgeführt.

Eine erste Bestandsaufnahme der Rheinsedimente erfolgte im Jahr 1988. Die zweite Bestandsaufnahme im Stichjahr 1990 ergab einige Ergänzungs- und Harmonisierungsvorschläge hinsichtlich der Qualitätssicherung bei Probenahme und Analytik sowie Abstimmung der nationalen Untersuchungen mit dem internationalen Sedimentmeßprogramm, die bei der Bestandsaufnahme im Stichjahr 1995 weitestgehend umgesetzt werden konnten. Durch Erweiterung des internationalen Meßstellennetzes sowie der nationalen Untersuchungen auch auf den Hochrhein sind nun auch Aussagen über die Hintergrundbelastung von Rheinsedimenten möglich.

2 Meßprogramm

Das Sedimentmeßprogramm am Rhein 1995 umfaßte 10 internationale Meßstellen. Gegenüber der Bestandsaufnahme 1990 wurde das Meßstellennetz um Birsfelden am Hochrhein, Haringvlietsluis im Rhein-Maas-Delta und Ketelmeer am Übergang ins IJsselmeer erweitert.

Parallel zum internationalen Meßprogramm wurden auch nationale Untersuchungen durchgeführt, die im Gegensatz zu 1990 mit der internationalen Untersuchung abgestimmt waren. Zusätzlich haben die Bundesländer Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz die Ergebnisse ihrer Untersuchungen übermittelt. Die nationalen Untersuchungen sind in Teil B dieses Berichts beschrieben.

2.1 Probenahme

Die Sedimentproben an nahezu allen internationalen und nationalen Meßstellen wurden im September 1995 von Bord des Laborschiffes "Max Prüss" aus entnommen. Ausnahmen bildeten die Meßstellen Ketelmeer, Haringvlietsluis und Hagestein (Lek), die vom RIZA im Oktober 1995 beprobt wurden, sowie die Meßstellen Kadelburg und Laufenburg am Hochrhein, die im Anschluß an die Fahrt der "Max Prüss" gemeinsam vom LUA und dem Gewässerschutzamt Basel (GSA) vom Ufer aus entnommen wurden.

Die Proben in Kadelburg und Laufenburg wurden mit einem Schöpfbecher gezogen, an allen anderen Meßstellen wurde ein Greifer verwendet.

Tabelle 2.1: Internationale Meßstellen

Meßstelle	Rhein-km		Datum der Probenahme
Augst-Wyhlen	155,2	rechts	17.09.1995
Birsfelden	163	links	17.09.1995
Weil	174	rechts	17.09.1995
Iffezheim	334	Mitte	15.09.1995
Koblenz	590	links	12.09.1995
Lohrwardt	830	rechts	09.09.1995
Lobith	863	rechts	08.09.1995
Keeken-Bimmen	863,8	links	08.09.1995
Ketelmeer	1010		09.10.1995
Haringvlietsluis	1025		16.10.1995

2.2 Weitere Behandlung und Analyse der Proben

Die Sedimentproben der internationalen Meßstellen wurden zentral im LUA gefriergetrocknet, über 2 mm gesiebt und nach der Aufteilung an die an der Untersuchung beteiligten Labors verteilt. Für die Schwermetalluntersuchungen wurde das verteilte Sediment von den beteiligten Labors selbst über 20 µm gesiebt, mit Ausnahme der Teilproben des RIZA, die im LUA gesiebt wurden.

Folgende Untersuchungen wurden im einzelnen durchgeführt:

<u>Untersuchungsgruppe</u>	<u>Institut</u>
Altersabschätzung	LUA, RIZA
Korngrößenverteilung	IRH, BfG, LUA, RIZA
Summenmeßgrößen	alle Labors außer EAWAG
Nährstoffe	alle Labors außer EAWAG
Schwermetalle	alle Labors außer GSA
Organische Mikroverunreinigungen	alle Labors außer EAWAG
Dioxine	LUA
Organische Zinnverbindungen	GSA, LUA

Abweichend wurde zur Bestimmung der PAK im LUA eine Lufttrocknung durchgeführt, um auch die leichtflüchtigen Komponenten zu erfassen. Die Untersuchung auf organische Zinnverbindungen im LUA erfolgte nach saurer Hydrolyse der unbehandelten Sedimente.

Alle Proben wurden im LUA einer Altersabschätzung unterzogen und auch auf organische Zinnverbindungen und auf Dioxine untersucht.

2.3 Hydrologische Bedingungen während der Probenahme

Der langjährige Abflußmittelwert des Rheins beträgt bei Lobith etwa 2200 m³/s. Da der Rhein von Regen- und Schmelzwasser gespeist wird, sind höhere Abflüsse normalerweise im Frühjahr und niedrigere Abflüsse im Spätsommer/Herbst zu erwarten. Abb. 2.2 zeigt die Abflußganglinien des Rheins 1995 im Längsprofil mit dem Probenahmezeitraum. Während der Probenahmetage im September betrug der Abfluß bei Lobith um 2000 m³/s. Das letzte kleinere Hochwasser lag 3 Monate zurück, so daß an den Probenahmestellen rezentes Sediment vorhanden war. Dies ist auch für die nachträglich genommenen Proben der Fall, da der Abfluß bei Lobith während der Probenahmetage im Oktober weiter abnehmende Tendenz hatte.

3 Ergebnisse der internationalen Sedimentuntersuchung 1995

In diesem Kapitel sind die wesentlichen Ergebnisse der Bestandsaufnahme 1995 an den internationalen Meßstellen im Vergleich zu den Stichjahren 1988 und 1990 beschrieben. Die zugehörigen Abbildungen sind im Anhang dargestellt. Bei den Metallen und Arsen erfolgt zusätzlich ein Vergleich mit den Zielvorgaben. Die komplette Ergebnisliste ist den Tabellen im Anhang zu entnehmen.

3.1 Altersabschätzung und Qualitätssicherung

Ein wesentliches Kriterium bei Sedimentuntersuchungen ist der Zeitpunkt der Probenahme. Um genügend frisch abgesetztes (rezentes) Material zu erhalten, muß eine längere Periode mit mittlerem bis niedrigem Abfluß vorangegangen sein. Dies ist in der Regel im Zeitraum August bis November der Fall. Probenahmen kurz nach Hochwasserereignissen oder bei anlaufendem Hochwasser haben sich als besonders ungünstig erwiesen; die hierbei erhaltenen Sedimente können 5 Jahre und älter sein, wie die im LUA zur Qualitätssicherung durchgeführten radiologischen Untersuchungen ergeben haben.

Zur Qualitätssicherung der Probenahme und Altersabschätzung der Sedimentproben werden radioaktive Isotope von Elementen bestimmt, die aktuell aus der Atmosphäre in die Gewässer gelangen, wie Beryllium-7 und Blei-210, oder die durch radioaktiven Fallout bereits in Gewässern vorliegen, z.B. Cäsium-137 aus dem Reaktorunfall von Tschernobyl.

Die Radioaktivitätskonzentrationen der Nuklide Cäsium-137 und des über den Luftpfad eingetragenen Blei-210 in den Sedimenten werden mit den im Rahmen der Radioaktivitätsüberwachung des Rheins untersuchten Schwebstoffen verglichen und sollten im Streubereich der Konzentrationen im Schwebstoff liegen. Enthalten die Sedimentproben Konzentrationen vorhanden. In solchen Sedimentproben können die gemessenen Schadstoffgehalte durch den Verdünnungseffekt in den Bereich unbelasteter bzw. gering belasteter Quellsedimente absinken, so daß die tatsächliche Schadstoffbelastung nicht wiedergegeben wird. Proben mit zu hohen Gewässerbodenanteilen sollten daher verworfen werden.

Ein Maß für die Aktualität der Sedimentproben ist der Gehalt des kurzlebigen Nuklids Beryllium-7 (Halbwertszeit=53 Tage), dessen Radioaktivitätskonzentrationen deutlich über 10 Bq/kg Trockenmasse liegen sollten, im Rheinsediment etwa um 20 Bq/kg. Durch extreme Wetterlagen können die Gehalte auf den 4- bis 5fachen Wert ansteigen.

Hohe Konzentrationen von Blei-210 und Beryllium-7 in Sedimenten (> 200 Bq/kg) deuten auf Einleitungen hin, die größere Mengen Niederschlagswasser von versiegelten Flächen aufnehmen.

Die Auswertung der in der Gesamtprobe durchgeführten radiologischen Untersuchung (Abb. 3.1) an den internationalen Sedimentmeßstellen hat ergeben, daß alle Proben von Augst-Wyhlen bis einschließlich zur deutsch-niederländischen Grenze frisches Material ohne nennenswerte Gewässerbodenanteile enthielten. Die Proben vom Ketelmeer und von der Haringvlietsluis hatten relativ hohe alte Anteile. Dies ist im Tide- bzw. Ästuarbereich von Fließgewässern jedoch nicht außergewöhnlich.

Die vorliegenden Daten zum Sedimentlängsprofil 1995 wurden analytisch und auf Plausibilität überprüft. Aus den Einzeldaten wurden Mittelwerte mit einem Vertrauensbereich von +/- 30% gebildet. Dabei ermittelte Ausreißer wurden eliminiert und ein neuer Mittelwert gebildet. Dieser Wert wurde als endgültiger Wert freigegeben.

Wurden bei der Plausibilitätsprüfung alle Werte wegen der großen Streuung als Ausreißer ermittelt, so wurde kein Wert freigegeben und nur der Streubereich durch die Min.-Max-Werte angegeben. In diesen Fällen wurde für diesen Bericht ein Gesamtmittelwert gebildet, wobei Werte kleiner Bestimmungsgrenze mit dem halben Wert der Bestimmungsgrenze in die Berechnung eingingen.

In Einzelfällen, wenn die plausibilisierten Werte sehr stark von den Ergebnissen früherer Untersuchungen bzw. von den Schwebstoffergebnissen abwichen, wurde in der Regel der Gesamtmittelwert verwendet. Ausnahmen bilden die Ergebnisse der zinnorganischen Verbindungen, bei denen wegen der analytischen Unsicherheit der GSA-Daten nur die LUA-Werte verwendet wurden, sowie die Ergebnisse der Korngrößenverteilung, bei denen sich wegen der starken Streuung der Einzelergebnisse und unterschiedlicher Angabe der Einzelfraktionen häufig Fraktionsanteilssummen von deutlich über 100% ergaben, so daß auch hier nur die Daten des LUA verwendet wurden.

3.2 Korngrößenverteilung

Die Korngrößenverteilung (Abb. 3.2) zeigt 1995 zunächst einen sehr gleichförmigen Verlauf im Längsprofil von Augst-Wyhlen bis Koblenz, insbesondere bei der < 20 µm-Fraktion, deren Anteil bei 50 % liegt. Der 1990 noch relativ hohe Grobkornanteil in Iffezheim ist nicht mehr festzustellen. Einen etwas niedrigeren Anteil der < 20 µm-Fraktion weisen die Meßstellen Lohrwardt und Keeken-Bimmen (um 40 %) und vor allem das Ketelmeer mit lediglich 19 % auf. An der Haringvlietsluis beträgt der Anteil dieser Fraktion hingegen 72 %. Der Anteil der < 63 µm-Fraktion liegt an den Meßstellen Augst-Wyhlen bis Koblenz sowie Lobith bei ca. 80 %, an der Haringvlietsluis bei 95 % und in Lohrwardt, Keeken-Bimmen und im Ketelmeer bei etwa 60 %.

Einen relativ hohen Grobsandanteil > 630 µm haben die Meßstellen Ketelmeer (12 %) und Keeken-Bimmen mit 23 %. Bei diesen Meßstellen ist bei den in der Gesamtprobe untersuchten Stoffen aufgrund des Verdünnungseffektes mit etwas zu niedrigen Ergebnissen zu rechnen. Ohne Grobsandanteil sind die Meßstellen Augst-Wyhlen, Koblenz und Haringvlietsluis.

3.3 Summenmeßgrößen

3.3.1 TOC

Im Längsprofil des Rheins liegen die TOC-Gehalte (Abb. 3.3) 1995 bis zur Meßstelle Koblenz nahezu unverändert um 2,5 %, in Lohrwardt, Keeken-Bimmen und an der Haringvlietsluis über 3 %, in Lobith dagegen wie 1988 über 4 %. Deutlich niedriger ist der TOC-Gehalt mit 1,8 % im Ketelmeer. Die auffälligste Änderung gegenüber den früheren Untersuchungen ist in Iffezheim festzustellen. Dort hat der organische Kohlenstoffgehalt um fast die Hälfte gegenüber 1990 abgenommen.

3.3.2 Extrahierbare organische Halogenverbindungen (EOX)

Deutlich zurückgegangen sind 1995 an den meisten Meßstellen die EOX-Gehalte (Abb. 3.4). Eine Ausnahme bildet die Meßstelle Lobith, wo der EOX-Gehalt von 0,2 auf 0,6 mg/kg angestiegen ist. Den höchsten EOX-Gehalt weist nach wie vor die Meßstelle Iffezheim auf. Hier ist auch die deutlichste Zunahme im Längsprofil festzustellen. Im Mittel- und Niederrhein nehmen die Konzentrationen allmählich ab, an der Haringvlietsluis liegt der EOX-Gehalt wie in Koblenz bei 0,7 mg/kg, im Ketelmeer mit 0,2 mg/kg ähnlich wie im Hochrhein. Die deutliche Abnahme bei Iffezheim im Vergleich zu 1990 und die starke Zunahme in Lobith ist auch bei den meisten chlorhaltigen organischen Einzelstoffen wiederzufinden.

3.3.3 Gesamtkohlenwasserstoffe

Der Gesamtgehalt an Kohlenwasserstoffen (Benzin, Heizöl, Diesel, Schmieröl und weitere Mineralölprodukte) steigt bis Iffezheim deutlich auf 160 mg/kg an und geht im Mittel- und Niederrhein auf Werte zwischen 110 und 130 mg/kg leicht zurück. Im Delta liegen die Gehalte wieder deutlich unter 100 mg/kg.

3.4 Nährstoffe

3.4.1 Stickstoff

Im Verlauf des Rheins steigen die Gesamt-Stickstoffgehalte (Abb. 3.5) im Sediment 1995 bis zur Haringvlietsluis langsam an. Gegenüber 1990 ist an allen Meßstellen mit Ausnahme von Keeken-Bimmen ein deutlicher Rückgang festzustellen. Im Ketelmeer ist der Gesamt-Stickstoffgehalt mit 1,2 g/kg am niedrigsten. Der Anteil der Nährstoffe Nitrat-N und Nitrit-N am Gesamtstickstoff ist zu vernachlässigen, der Ammonium-N-Anteil beträgt ca. 5% (s. Anlage). Die Gesamtstickstoffgehalte dagegen liegen bei etwa 10% der TOC-Gehalte.

3.4.2 Phosphor

Der Anstieg der Gesamtphosphorgehalte (Abb. 3.6) bis zur Meßstelle Lobith fällt 1995 wesentlich deutlicher aus als beim Stickstoff. In Keeken-Bimmen liegt der Phosphorgehalt dagegen auf dem Niveau der Meßstelle Lohrwardt, an der Haringvlietsluis liegt der Phosphorgehalt zwischen denen von Lobith und Keeken-Bimmen, im Ketelmeer dagegen im Bereich der Meßstellen am Hoch- und Oberrhein. Gegenüber 1990 sind die Gehalte rückläufig, insbesondere an der Meßstelle Lohrwardt. Wie in der Wasserphase wirken sich hier die verstärkten Reinigungsmaßnahmen vor allem in den kommunalen Kläranlagen aus.

3.5 Metalle und Arsen

Die Metalle und Arsen wurden grundsätzlich in der $< 20 \mu\text{m}$ -Fraktion untersucht, um mögliche Belastungen auch bei hohem Anteil an grobkörnigem Material zu finden. Die Analyseergebnisse sind daher auch gut mit denen aus Schwebstoffuntersuchungen vergleichbar, und insofern wird in diesem Kapitel auch ein Vergleich mit den IKSZ-Zielvorgaben vorgenommen. In erster Näherung wird dabei vorausgesetzt, daß das rezente Sediment etwa dem 90-Perzentil aus den Schwebstoffmeßergebnissen entspricht.

3.5.1 Arsen

Die Arsengehalte (Abb. 3.7) steigen 1995 in den Rheinsedimenten bis zur Meßstelle Lohrwardt geringfügig, in Lobith deutlich an, in Keeken-Bimmen und an der Haringvlietsluis gehen die Konzentrationen wieder leicht zurück. Der Arsengehalt im Ketelmeer liegt mit 10 mg/kg in der Größenordnung der Meßstellen Birsfelden und Weil.

Im Vergleich zu 1990 liegen die Arsengehalte an den Meßstellen Lobith und Keeken-Bimmen deutlich höher, an den anderen 1990 untersuchten Meßstellen sind sie nur wenig verändert. Gegenüber der Untersuchung von 1988 sind die Gehalte mit Ausnahme von Keeken-Bimmen geringfügig niedriger, ein eindeutiger Trend ist jedoch nicht zu erkennen.

Der Vergleich mit der IKSR-Zielvorgabe von 40 mg/kg zeigt, daß die Gehalte bei allen drei Untersuchungen nicht diesen Wert erreichen oder überschreiten. Beim sogenannten Ist-Soll-Vergleich fallen die Meßstellen Lobith, Keeken-Bimmen und Haringvlietsluis in die Gruppe 2 (die Gehalte liegen im Bereich der Zielvorgabe), an allen anderen Meßstellen wird 1995 die Zielvorgabe eingehalten (Ergebnisgruppe 3, d.h. die Gehalte liegen unter dem halben Wert der Zielvorgabe). Damit ist an den Meßstellen Lobith und Keeken-Bimmen gegenüber 1990 eine Verschlechterung eingetreten, in Lohrwardt eine bessere Einstufung.

3.5.2 Blei

Beim Blei (Abb. 3.8) steigen die Gehalte 1995 von Augst-Wyhlen bzw. Birsfelden bis Koblenz in geringem Maße an, im Niederrhein über Lohrwardt bis zur Haringvlietsluis ist dann eine deutliche Zunahme zu verzeichnen. Der Bleigehalt im Ketelmeer liegt im Bereich des Hochrheins.

Gegenüber den vorherigen Bestandsaufnahmen 1990 und insbesondere 1988 ist an allen Meßstellen ein überwiegend deutlicher Rückgang der Bleigehalte festzustellen.

Der Ist-Soll-Vergleich mit der Zielvorgabe von 100 mg/kg ergibt für die 1988 untersuchten Meßstellen Augst-Wyhlen, Birsfelden, Iffezheim, Koblenz, Lohrwardt und Keeken-Bimmen eine Einstufung in Gruppe 2, an der Meßstelle Lobith lag der Bleigehalt 1988 dagegen deutlich über der Zielvorgabe (Ergebnisgruppe 1 = Gehalt liegt über dem doppelten Wert der Zielvorgabe). 1990 konnte Lobith ebenso wie die in diesem Jahr erstmals untersuchte Meßstelle Weil in Gruppe 2 eingestuft werden, während Lohrwardt in Gruppe 1 eingestuft werden mußte. Erfreulich hat sich die Situation 1995 entwickelt: an den Meßstellen Augst-Wyhlen, Birsfelden, Weil, Iffezheim und Ketelmeer wird die Zielvorgabe eingehalten (Gruppe 3), an den anderen Meßstellen liegen die Bleigehalte im Bereich der Zielvorgabe (Gruppe 2).

3.5.3 Cadmium

Der Verlauf der Cadmiumgehalte (Abb. 3.9) zeigt 1995 eine geringe Zunahme bis Lohrwardt, um dann bei Keeken-Bimmen um den Faktor 2 und bei Lobith um den Faktor 5 anzusteigen. Die gleiche Größenordnung wie in Lobith liegt an der Haringvlietsluis vor, während der Cadmiumgehalt im Ketelmeer mit dem der Meßstelle Iffezheim vergleichbar ist.

An den Meßstellen Augst-Wyhlen, Birsfelden und Weil ist gegenüber den beiden ersten Bestandsaufnahmen ein deutlich rückläufiger Trend zu beobachten, die Meßstellen Iffezheim, Koblenz, Lohrwardt und Keeken-Bimmen zeigen 1990 im Vergleich zu 1988 zunächst einen Anstieg der Cadmiumgehalte, 1995 dagegen einen starken Rückgang. In Lobith ist von 1988 auf 1990 eine deutliche Abnahme der Cadmiumbelastung eingetreten, 1995 allerdings keine weitere nennenswerte Änderung zu verzeichnen.

Beim Zielvorgabenvergleich müssen die Meßstellen Lobith und Keeken-Bimmen bei allen drei Untersuchungen in Gruppe 1 eingestuft werden, ebenso 1995 die Meßstelle Haringvlietsluis. Die Meßstelle Lohrwardt konnte sich 1995 dagegen in Gruppe 2 verbessern. Während Koblenz nach wie vor in Gruppe 2 einzustufen ist, wird die Zielvorgabe an den anderen Meßstellen mittlerweile eingehalten.

3.5.4 Chrom

Einen ähnlichen Verlauf wie Blei nehmen die Chromgehalte (Abb. 3.10) 1995 im Rheinsediment. Allerdings liegt die geogene Hintergrundbelastung bei Chrom deutlich höher. Von Augst-Wyhlen bis Koblenz erfolgt zunächst ein langsamer Anstieg auf einen Gehalt von 75 mg/kg, um sich über Lohrwardt bis Lobith zu verdoppeln. In Keeken-Bimmen und an der Haringvlietsluis sind die Gehalte wieder deutlich geringer, im Ketelmeer ist die Konzentration mit denen der Meßstellen Birsfelden und Weil vergleichbar.

Im Vergleich zu den früheren Untersuchungen ist nur im Hochrhein eine abnehmende Tendenz zu erkennen. Mit Ausnahme der Meßstelle Lohrwardt liegen die Chromgehalte an den anderen Meßstellen 1995 höher als 1990, insbesondere in Lobith aber niedriger als 1988.

Der Ist-Soll-Vergleich mit der Zielvorgabe von 100 mg/kg ergibt bei allen drei Untersuchungen an den internationalen Meßstellen eine Einstufung in Gruppe 2 (Werte liegen im Bereich der Zielvorgabe). Lediglich die Meßstelle Augst-Wyhlen kann 1995 in Gruppe 3 eingestuft werden, während die Meßstelle Weil im Gegensatz zu 1990 (Gruppe 3) nun in Gruppe 2 fällt. An der Meßstelle Lobith lag der Chromgehalt 1988 noch deutlich über der Zielvorgabe, seit 1990 ist eine Einstufung in Gruppe 2 möglich.

3.5.5 Kupfer

Nach nahezu konstanten Gehalten bis Weil steigen die Kupferwerte (Abb. 3.11) 1995 ab Iffezheim bis Lobith kontinuierlich an, in Keeken-Bimmen und auch an der Haringvlietsluis sind die Gehalte wieder geringer. Die deutlich niedrigste Belastung liegt im Ketelmeer vor.

Beim Kupfer zeigt sich an den Meßstellen im Hochrhein und Oberrhein gegenüber den Bestandsaufnahmen von 1988 und 1990 ein deutlicher Rückgang der Gehalte. In Koblenz, Lohrwardt und Keeken-Bimmen erfolgte nach einer Konzentrationszunahme 1990 eine erhebliche Abnahme der Belastung vor allem in Lohrwardt, während sich der Kupfergehalt in Lobith im Vergleich zu 1990 kaum verändert hat.

An dieser Meßstelle wird daher auch die Zielvorgabe von 50 mg/kg nach wie vor deutlich überschritten. 1990 war dies auch für Lohrwardt der Fall, mittlerweile liegt der Kupfergehalt hier jedoch wieder im Bereich der Zielvorgabe. Als einzige Meßstelle ist beim Ketelmeer eine Einstufung in Gruppe 3 möglich, bei allen anderen Meßstellen liegen die Werte trotz eines zum Teil deutlichen Rückgangs noch im Bereich der Zielvorgabe.

3.5.6 Nickel

Beim Nickel (Abb. 3.12) ergeben sich wie schon bei den vorherigen Untersuchungen nur geringe Konzentrationsunterschiede an den internationalen Meßstellen mit einem Anstieg von etwa 20 mg/kg bis zur Haringvlietsluis 1995. Das Ketelmeer weist wiederum den geringsten Gehalt auf.

Die Nickelbelastung zeigt an allen Meßstellen eine abnehmende Tendenz. Mit Ausnahme des Ketelmeeres, bei dem eine Einstufung in Gruppe 3 erfolgen kann, liegen die Gehalte aber noch im Bereich der Zielvorgabe von 50 mg/kg.

3.5.7 Quecksilber

Die Quecksilbergehalte (Abb. 3.13) steigen 1995 ab Birsfelden kontinuierlich an, um in Lobith mit 2 mg/kg ihren Spitzenwert zu erreichen. In Keeken-Bimmen sowie an der Haringvlietsluis liegen die Werte etwas niedriger, im Ketelmeer ist wiederum der geringste Gehalt festzustellen.

Gegenüber der Bestandsaufnahme 1990 ist mit Ausnahme von Lobith an allen Meßstellen ein Rückgang der Quecksilberbelastung im Rheinsediment erreicht worden. Vor allem am Hochrhein sind die Gehalte stark zurückgegangen. Eine relativ geringe Konzentrationsabnahme ergibt sich an den Meßstellen Weil, Iffezheim und Keeken-Bimmen, während in Lohrwardt nach einem Anstieg 1990 ein Rückgang unter das Niveau von 1988 zu verzeichnen ist. In Lobith erfolgte dagegen 1995 eine Zunahme der Quecksilberbelastung, nachdem der Gehalt 1990 stark rückläufig war.

Der Ist-Soll-Vergleich ergibt, daß die Zielvorgabe für Quecksilber von 0,5 mg/kg an den Meßstellen Birsfelden, Weil und Ketelmeer bereits eingehalten wird. An den Meßstellen Augst-Wyhlen, Iffezheim, Koblenz, Lohrwardt und Keeken-Bimmen liegen die Gehalte im Bereich der Zielvorgabe, während diese in Lobith und an der Harinvlietschleuse noch deutlich überschritten wird.

3.5.8 Zink

Beim Zink (Abb. 3.14) ergibt sich 1995 im Längsprofil des Rheins der gleiche Verlauf wie beim Quecksilber; nach einem leichten Rückgang in Birsfelden steigen die Gehalte ab Weil an und erreichen in Lobith und an der Haringvlietsluis mit 685 mg/kg ihren Höchstwert. In Keeken-Bimmen ist die Zinkkonzentration etwas geringer, im Ketelmeer liegt sie im Bereich der Meßstellen Augst-Wyhlen und Weil.

Im Vergleich zu den Untersuchungen von 1988 und 1990 sind die Zinkgehalte an allen Meßstellen recht deutlich zurückgegangen. Lediglich in Lohrwardt war 1990 ein vorübergehender Anstieg festzustellen.

Die Zielvorgabe von 200 mg/kg wird an den Meßstellen Lobith, Keeken-Bimmen und Haringvlietsluis noch deutlich überschritten. Die Zinkgehalte an den Meßstellen Augst-Wyhlen, Weil, Iffezheim, Koblenz, Lohrwardt und Ketelmeer liegen im Bereich der Zielvorgabe und nur an der Meßstelle Birsfelden ist die Einstufung in Gruppe 3 (Zielvorgabe eingehalten) möglich.

3.6 Organische Mikroverunreinigungen

In diesem Kapitel werden von der Vielzahl organischer Mikroverunreinigungen vor allem die Palette der polychlorierten Benzole, Biphenyle und Dibenzo-p-dioxine und -furane, polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe sowie organische Zinnverbindungen ausführlich behandelt, da sie in deutlich meßbaren Konzentrationen in den Sedimenten des Rheins vorkommen. Der letzte Punkt umfaßt die prioritären Stoffe, die nur in sehr geringen Konzentrationen vorkommen bzw. unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze liegen.

3.6.1 Chlorbenzole

Die 1,2-Dichlorbenzolgehalte (Abb. 3.15) steigen ausgehend von einem Wert unterhalb der Bestimmungsgrenze von 1 µg/kg in Augst-Wyhlen über geringe Konzentrationen in Birsfelden und Weil auf Werte über 20 µg/kg an den Meßstellen Iffezheim, Koblenz und Lohrwardt kontinuierlich an. In Lobith kommt es zu einem sprunghaften Anstieg auf 220 µg/kg, während an der linksrheinischen Meßstelle Keeken-Bimmen lediglich 17 µg/kg gemessen werden. An der Haringvlietsluis liegt der 1,2-Dichlorbenzolgehalt ebenfalls deutlich über dem Gehalt der meisten Meßstellen und auch im Ketelmeer ist die Verbindung nachweisbar. Mit Ausnahme der Meßstellen Augst-Wyhlen und Weil liegen die Gehalte 1995 erheblich über denen von 1990.

Ausgehend von 12 µg/kg in Augst-Wyhlen sinkt der 1,3-Dichlorbenzolgehalt (Abb. 3.16) in Birsfelden auf 2,2 µg/kg, um bis Iffezheim auf 30 µg/kg anzusteigen. Über Koblenz findet bis Lohrwardt eine Abnahme auf 8 µg/kg statt. Wie beim 1,2-Dichlorbenzol kommt es in Lobith zu einem Konzentrationssprung auf 120 µg/kg. Linksrheinisch liegt wieder ein erheblich niedrigerer Wert vor, während bis zur Harinvlietsluis eine Zunahme auf 37 µg/kg erfolgt. Im Ketelmeer ist der 1,3-Dichlorbenzolgehalt vergleichsweise gering. Gegenüber 1990 sind die Gehalte an den Meßstellen Augst-Wyhlen, Iffezheim und Lohrwardt zurückgegangen, während sie in Weil, Koblenz, Keeken-Bimmen und insbesondere in Lobith deutlich zugenommen haben.

Ein ähnlicher Verlauf mit allerdings höheren Konzentrationen ergibt sich 1995 für 1,4-Dichlorbenzol (Abb. 3.17). Von Augst-Wyhlen nach Birsfelden nimmt der Gehalt an 1,4-Dichlorbenzol ab, steigt in Weil deutlich auf 50 µg/kg an und geht über Iffezheim und Koblenz auf 23 µg/kg in Lohrwardt zurück. In Lobith ist mit 150 µg/kg wiederum eine Belastungsspitze festzustellen, in Keeken-Bimmen liegt der Gehalt hingegen auf dem Niveau von Koblenz. Die Haringvlietsluis weist mit 99 µg/kg ebenfalls einen hohen Wert auf und auch im Ketelmeer liegt der 1,4-Dichlorbenzolgehalt mit 11 µg/kg deutlich höher als bei den beiden anderen Isomeren. Im Vergleich zu 1990 ist lediglich an der Meßstelle Lohrwardt ein Rückgang festzustellen, in Augst-Wyhlen, Weil, Koblenz, Lobith und Keeken-Bimmen liegen die Werte 1995 dagegen erheblich über denen von 1990.

Die 1,2,3-Trichlorbenzolgehalte liegen in Augst-Wyhlen, Birsfelden, Weil und im Ketelmeer unterhalb der Bestimmungsgrenze von 1 µg/kg, an den anderen Meßstellen nur geringfügig darüber.

Beim 1,2,4-Trichlorbenzol (Abb. 3.18) steigen die Gehalte ab Birsfelden (< 1 µg/kg) bis Koblenz allmählich an und verbleiben bis Lohrwardt auf diesem Niveau. In Lobith erfolgt wieder ein sprunghafter Anstieg auf 80 µg/kg, während linksrheinisch mit 22 µg/kg ein wesentlich geringerer Gehalt vorliegt. An der Haringvlietsluis ist die Belastung mit 53 µg/kg ebenfalls recht hoch, das Ketelmeer weist dagegen nur einen Gehalt von 3,2 µg/kg auf. Bei den früheren Bestandsaufnahmen wurde die Substanz nicht untersucht, so daß hier kein Vergleich möglich ist.

Die Gehalte an 1,3,5-Trichlorbenzol (Abb. 3.19) zeigen nahezu den gleichen Verlauf mit um etwa 50% niedrigeren Werten als beim 1,2,4-Isomeren.

Die sehr hohe Belastung der Meßstellen Lobith und Haringvlietsluis mit Di- und Trichlorbenzolen hängt möglicherweise mit den 1995 durchgeführten Baggergutumlagerungen zusammen. Der u. a. davon betroffene Hafen Wesel war in den 80er Jahren hoch mit diesen Verbindungen belastet. Die in der Vergangenheit durchgeführten niederländischen Untersuchungen ergaben dagegen keine erhöhten Werte.

Von den Tetrachlorbenzolen weisen die Isomere 1,2,3,4-Tetrachlorbenzol und 1,2,3,5-Tetrachlorbenzol nur geringe Gehalte im Bereich der Bestimmungsgrenze von 1 µg/kg auf.

Anders ist die Situation beim 1,2,4,5-Tetrachlorbenzol (Abb. 3.20), dessen Gehalte von 1,7 - 3 µg/kg an den Meßstellen Augst-Wyhlen, Birsfelden und Weil auf 6 µg/kg in Iffezheim ansteigen, in Koblenz zunächst auf 3,6 µg/kg fallen, um über Lohrwardt auf 16 µg/kg in Lobith zuzunehmen. In Keeken-Bimmen und an der Haringvlietsluis liegen die Gehalte wieder deutlich niedriger, im Ketelmeer nur knapp über der Bestimmungsgrenze. Gegenüber 1990 ist die Belastung der Sedimente an den Meßstellen Augst-Wyhlen und Iffezheim zurückgegangen, an den Meßstellen Weil, Koblenz, Lobith und Keeken-Bimmen deutlich höher, in Lohrwardt hingegen nahezu unverändert.

Die Pentachlorbenzolgehalte liegen an allen Meßstellen deutlich unter 10 µg/kg.

Bereits in Augst-Wyhlen ist das Sediment 1995 bei einem Gehalt von 60 µg/kg relativ hoch mit Hexachlorbenzol (HCB) (Abb. 3.21) belastet, verglichen mit den aktuellen Schwebstoffgehalten. Nach einem Rückgang auf knapp 10 µg/kg in Birsfelden steigt der HCB-Gehalt über 92 µg/kg in Weil auf 310 µg/kg in Iffezheim an. Im Gegensatz zu den anderen Chlorbenzolen ist dies für HCB die Meßstelle mit der höchsten Belastung. Im weiteren Verlauf nehmen die Gehalte mit Ausnahme der Meßstelle Lohrwardt (87 µg/kg) auf Werte von 8,6 µg/kg an der Haringvlietsluis bzw. 1,1 µg/kg im Ketelmeer ab. Der Vergleich mit den früheren Bestandsaufnahmen ergibt eine Zunahme der Belastung in Augst-Wyhlen und Weil. An den niederrheinischen Meßstellen Lohrwardt und Lobith haben die HCB-Gehalte nach einer Abnahme 1990 im Jahr 1995 wieder leicht zugenommen, in Keeken-Bimmen ist die Belastung bereits 1990 auf das heutige Niveau von 20 µg/kg zurückgegangen. In Birsfelden erfolgte gegenüber 1988 ein drastischer Rückgang der HCB-Belastung von 950 µg/kg auf 9,4 µg/kg 1995. Auch an der hochbelasteten Meßstelle Iffezheim ist durch den Ausspüleffekt der vergangenen Hochwasserereignisse eine Entspannung der Belastungssituation eingetreten. Nach 790 µg/kg 1988 und 940 µg/kg im Jahre 1990 beträgt der HCB-Gehalt 1995 nur noch ein Drittel der Ausgangswerte.

3.6.2 Polychlorierte Biphenyle (PCB)

Ausgehend von einem niedrigen Niveau in Augst-Wyhlen nehmen die PCB-Gehalte in Birsfelden bzw. Weil zunächst ab und steigen ab Iffezheim bis Lohrwardt langsam an. Wie bei den meisten Schadstoffen ist auch bei den PCB Lobith die Meßstelle mit der höchsten Belastung. Die Summe der 6 Kongenere PCB-28, PCB-52, PCB-101, PCB-138, PCB-153 und PCB-180 (Abb. 3.22) steigt auf dieser Strecke von 9 µg/kg in Birsfelden auf 157 µg/kg in Lobith an. Auch das Verteilungsmuster sieht in Lobith anders aus als an den oberhalb liegenden Meßstellen. Während an den meisten Meßstellen das für z.B. Clophen A60 typische Muster mit zunehmenden Gehalten bis zum PCB-153 vorliegt, dominiert in Lobith das niederchlorierte PCB-28. In Keeken-Bimmen sind die PCB-Gehalte erheblich niedriger, an der Haringvlietsluis ist die Belastung mit 102 µg/kg für die Summe der 6 Kongenere ebenfalls hoch. Auch hier ist bei einem erhöhten Anteil an PCB-52 ein anderes Verteilungsmuster gegeben. Die Gehalte im Ketelmeer entsprechen denen der Meßstellen Birsfelden und Weil (Abb. 3.23 bis 3.28).

Die Gehalte an PCB-118 (Abb. 3.29) nehmen den gleichen Verlauf wie die oben beschriebenen Kongenere und erreichen mit 19 µg/kg in Lobith ihren Höchstwert.

Von den weiteren von einigen Labors untersuchten PCB weist PCB-149 die höchsten Gehalte auf. Auch liegt der Höchstwert mit 30 µg/kg in Lobith. Abweichend hiervon ist der Verlauf beim Deca-chlorbiphenyl (PCB-209): Der höchste Gehalt ist mit 15 µg/kg an der Meßstelle Iffezheim zu finden, während die Werte an den meisten Meßstellen im Bereich oder unterhalb der Bestimmungsgrenze von 1 µg/kg liegen. Lediglich in Lobith ist nochmals ein Anstieg auf 9 µg/kg zu verzeichnen. Bei den Kongeneren PCB-156 und PCB-194 liegen die Gehalte vorwiegend unterhalb der Bestimmungsgrenze, bei PCB-170 steigen die Gehalte bis Lobith auf 10 µg/kg an.

Der Vergleich zu den früheren Untersuchungen zeigt beim PCB-28 (Abb. 3.23) an den Meßstellen Augst-Wyhlen und Birsfelden eine stark fallende Tendenz, in Weil und in Koblenz sind die Gehalte bei niedrigen Ausgangskonzentrationen ebenfalls rückläufig. In Iffezheim und Lohrwardt erfolgte 1990 zunächst ein Anstieg, um 1995 vor allem in Lohrwardt deutlich unter das Ausgangsniveau zu sinken. In Keeken-Bimmen ging der PCB-28-Gehalt bereits 1990 auf den heutigen Wert zurück. An der Meßstelle Lobith hat die PCB-28-Belastung nach einem starken Rückgang 1990 bei der Bestandsaufnahme 1995 wieder zugenommen.

Beim PCB-52 (Abb. 3.24) sind an den Meßstellen Augst-Wyhlen, Birsfelden, Koblenz und Lohrwardt deutlich abnehmende Gehalte zu beobachten. In Weil und Iffezheim sind die Konzentrationen auf niedrigem Niveau nur wenig verändert, während sie in Lobith und Keeken-Bimmen nach einem zunächst starken Rückgang 1995 wieder leicht angestiegen sind.

Die PCB-101-Gehalte (Abb. 3.25) haben in Augst-Wyhlen und Birsfelden deutlich abgenommen, auf der weiteren Fließstrecke bis einschließlich Lohrwardt sind sie dagegen kaum verändert. In Lobith und Keeken-Bimmen folgte auf eine starke Abnahme wieder ein leichter Anstieg der Gehalte.

Anders ist die Situation beim PCB-118 (Abb. 3.29): Hier ist an allen Meßstellen eine stark fallende Tendenz zu verzeichnen, auch wenn die Gehalte in Iffezheim, Koblenz und Lohrwardt bei der Bestandsaufnahme 1990 zwischenzeitlich zugenommen haben.

Eine abnehmende Tendenz ergibt sich auch für PCB-138 (Abb. 3.26) an den Meßstellen Augst-Wyhlen, Birsfelden und Weil. Die Meßstellen Iffezheim und Koblenz zeigen 1990 zunächst einen leichten Anstieg, 1995 dagegen einen deutlichen Rückgang der Gehalte. An den drei niederrheinischen Meßstellen gehen die Gehalte 1990 zunächst zurück, um 1995 mehr oder weniger deutlich anzusteigen.

Ebenfalls fallend sind die Gehalte beim PCB-153 (Abb. 3.27) an den Meßstellen Augst-Wyhlen bis Koblenz, während die Meßstelle Lohrwardt praktisch keine Änderung vorweist. An den Meßstellen Lobith und Keeken-Bimmen erfolgt 1990 wiederum eine Abnahme, 1995 dagegen eine Zunahme der Belastung.

Vorwiegend zurückgehende Konzentrationen zeigen alle Meßstellen beim PCB-180 (Abb. 3.28). In Lobith und Keeken-Bimmen ist 1995 jedoch keine Änderung gegenüber 1990 gegeben.

3.6.3 Polychlorierte Dibenzo-p-dioxine und -furane (PCDD/F)

Die Gehalte an PCDD/F werden in der Regel in internationalen Toxizitätsäquivalenten (ITEQ) angegeben. Dabei wird die Summe der PCDD/F - Kongenere mit Chloratomen in 2,3,7,8-Stellung gebildet, wobei der Gehalt des sogenannten Seveso-Dioxins (2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-p-dioxin) mit dem Faktor 1 eingeht, alle weiteren Kongenere mit entsprechend ihrer Toxizität niedrigerem Faktor bis zu 0,001 für die Octachlorverbindungen (Tab. 3.1). Bei Werten kleiner Bestimmungsgrenze geht der Wert der Bestimmungsgrenze in die Berechnung der ITEQ ein.

Tabelle 3.1: Berechnung der internationalen Toxizitätsäquivalente

PCDD/PCDF	Faktor
2,3,7,8-TetraCDD	1,0
1,2,3,7,8-PentaCDD	0,5
1,2,3,4,7,8-HexaCDD	0,1
1,2,3,6,7,8-HexaCDD	0,1
1,2,3,7,8,9-HexaCDD	0,1
1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD	0,01
OctaCDD	0,001
2,3,7,8-TetraCDF	0,1
1,2,3,7,8-PentaCDF	0,05
2,3,4,7,8-PentaCDF	0,5
1,2,3,4,7,8-HexaCDF	0,1
1,2,3,6,7,8-HexaCDF	0,1
1,2,3,7,8,9-HexaCDF	0,1
2,3,4,6,7,8-HexaCDF	0,1
1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF	0,01
1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF	0,01
OctaCDF	0,001

An den Meßstellen Birsfelden und Ketelmeer ergeben sich für die ITEQ rechnerisch Werte unterhalb einer Bestimmungsgrenze. Dies ist auf die sehr geringe Belastung einerseits und auf für extrem niedrige Bestimmungsgrenzen nicht ausreichend vorhandenes Probenmaterial andererseits zurückzuführen, so daß zahlreiche Kongenere Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze aufweisen.

Der Dioxingehalt (ITEQ) (Abb 3.30) im Rheinsediment steigt 1995 von Augst-Wyhlen bis Weil an und verbleibt bis Koblenz etwa auf diesem Niveau. In Lohrwardt erfolgt eine Verdoppelung der Belastung auf 50 ng/kg, in Lobith ein weiterer Anstieg auf 73 ng/kg. Über Keeken-Bimmen mit 63 ng/kg nehmen die Gehalte an der Haringvlietsluis (57 ng/kg) und im Ketelmeer (< 13 ng/kg) wieder ab.

Im Vergleich zur Bestandsaufnahme 1990 ist die Dioxinbelastung nur an den Meßstellen Augst-Wyhlen, Iffezheim und in geringem Maße in Lobith zurückgegangen. In Weil ist die Situation kaum verändert, während in Koblenz, in Lohrwardt und insbesondere in Keeken-Bimmen eine deutliche Zunahme der Dioxingehalte eingetreten ist.

Für Dioxine sind als einzige prioritären Stoffe keine Zielvorgaben abgeleitet worden. Als Richtwert kann der in der Schweiz und in Deutschland für Kinderspielplätze geltende Grenzwert von 100 ng/kg ITEQ herangezogen werden. An den internationalen Sedimentmeßstellen liegt die Dioxinbelastung durchweg unter diesem Wert.

Auch die Gehalte an 2,3,7,8-TCDD (Abb. 3.31) haben an den niederrheinischen Meßstellen Lobith und Keeken-Bimmen zugenommen, wobei der Anstieg in Lobith mit 15 ng/kg sehr deutlich ausfällt. Der 2,3,7,8-TCDD-Gehalt von 24 ng/kg macht hier allein ein Drittel der ITEQ aus. In Lohrwardt ist der Belastungszustand mit 1990 vergleichbar, an den anderen Meßstellen liegen die Werte im Bereich der Bestimmungsgrenze oder darunter.

3.6.4 Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Die Fluoranthengehalte (Abb. 3.32) nehmen ausgehend von 0,43 mg/kg in Augst-Wyhlen bis zur Meßstelle Weil zunächst geringfügig ab und steigen ab Iffezheim kontinuierlich bis auf 2,9 mg/kg in Lobith an. Über Keeken-Bimmen mit 1,6 mg/kg sinken die Gehalte auf 0,79 mg/kg an der Haringvlietsluis bzw. 0,10 mg/kg im Ketelmeer. Im Vergleich zu den vorherigen Untersuchungen haben die Fluoranthengehalte am Hochrhein sowie an den Meßstellen Weil und Koblenz abgenommen. In Iffezheim ist die Belastung nach einem Anstieg 1990 wieder rückläufig, in Lohrwardt ist dagegen eine leicht zunehmende Tendenz zu verzeichnen. An den Meßstellen Lobith und Keeken-Bimmen erreichten die Gehalte nach einer deutlichen Abnahme 1990 wieder das Niveau der ersten Bestandsaufnahme 1988.

Die Gehalte an Benzo(b)fluoranthen (Abb. 3.33) liegen am Hoch- und Oberrhein auf niedrigem Niveau zwischen 0,19 und 0,29 mg/kg und steigen in Koblenz zunächst mäßig, ab Lohrwardt dann steil auf 1,6 mg/kg in Lobith an. In Keeken-Bimmen liegt der Benzo(b)fluoranthengehalt bei 0,91 mg/kg und nimmt an der Haringvlietsluis auf 0,70 mg/kg und im Ketelmeer auf 0,07 mg/kg ab. Der Vergleich mit den Bestandsaufnahmen von 1988 und 1990 zeigt eine deutlich fallende Tendenz am Hoch- und Oberrhein und nach einem zwischenzeitlichen Rückgang 1990 in Lobith und Keeken-Bimmen eine Zunahme der Belastung an den niederrheinischen Meßstellen.

Einen nahezu identischen Verlauf nehmen die Gehalte an Benzo(k)fluoranthen (Abb. 3.34). Dabei liegen die Werte an den meisten Meßstellen um etwa 50% niedriger als beim Benzo(b)fluoranthen, an der Haringvlietsluis mit 0,29 mg/kg und im Ketelmeer mit 0,02 mg/kg noch deutlich darunter. Der Vergleich mit 1988 und 1990 ergibt fallende Konzentrationen an den Meßstellen bis Koblenz und ansteigende Gehalte am Niederrhein.

Beim Benzo(a)pyren (Abb. 3.35) liegen die Gehalte am Hoch- und Oberrhein auf etwa gleichem Niveau (0,16 - 0,26 mg/kg). Ab Koblenz (0,35 mg/kg) steigen sie über Lohrwardt (0,88 mg/kg) auf 1,6 mg/kg in Lobith an. In Keeken-Bimmen liegt der Benzo(a)pyrengengehalt bei 0,76 mg/kg und erreicht einen Wert von 0,46 mg/kg an der Haringvlietsluis und 0,04 mg/kg im Ketelmeer. Im Vergleich zu 1988 und 1990 liegt eine fallende Tendenz an den Meßstellen Augst-Wyhlen, Birsfelden, Weil, Iffezheim und Koblenz vor, an den Meßstellen im Niederrhein steigen die Gehalte dagegen an.

Wie bei den anderen Borneff-PAK liegen die Gehalte an Benzo(ghi)perylen (Abb. 3.36) im Hoch- und Oberrhein auf niedrigem Niveau um 0,2 mg/kg. Ab Koblenz steigen sie leicht an und nehmen über Lohrwardt auf 1,2 mg/kg in Lobith deutlich zu. Über Keeken-Bimmen mit 0,79 mg/kg gehen die Gehalte auf Werte von 0,46 mg/kg an der Haringvlietsluis und 0,04 mg/kg im Ketelmeer zurück. Gegenüber den Bezugsjahren 1988 und 1990 ergeben sich fallende Konzentrationen an den Meßstellen Augst-Wyhlen, Birsfelden und Weil. In Iffezheim ist der

Benzo(ghi)perylengehalt 1990 zunächst angestiegen, 1995 jedoch wieder zurückgegangen. An der Meßstelle Koblenz sind die Gehalte bei allen drei Untersuchungen nur wenig verändert, in Lohrwardt und Lobith zeigt sich dagegen eine stark steigende Tendenz. In Keeken-Bimmen ist die Konzentration nach einem Rückgang 1990 im Jahr 1995 über das Ausgangsniveau von 1988 angestiegen.

Der Indeno(1,2,3-cd)pyrengehalt (Abb. 3.37) sinkt 1995 zunächst leicht von 0,17 mg/kg in Augst-Wyhlen auf 0,12 mg/kg in Birsfelden. Ab Weil nehmen die Gehalte kontinuierlich erst leicht auf 0,19 mg/kg in Iffezheim, dann sprunghaft auf 0,89 mg/kg in Lobith zu. Auch in Keeken-Bimmen und an der Haringvlietsluis liegen die Gehalte mit 0,68 mg/kg bzw. 0,56 mg/kg noch recht hoch. Im Ketelmeer ist die Belastung mit 0,04 mg/kg dagegen gering. Der Vergleich mit den früheren Bestandsaufnahmen ergibt eine abnehmende Tendenz an den Meßstellen Augst-Wyhlen, Birsfelden und Weil. In Iffezheim und Koblenz sind die Gehalte 1990 zunächst angestiegen, haben 1995 jedoch wieder abgenommen. Nach einer Zunahme 1990 ist der Indeno(1,2,3-cd)pyrengehalt in Lohrwardt 1995 kaum zurückgegangen. Die Belastung in Lobith hat sich dagegen nicht geändert, während in Keeken-Bimmen wie bei den anderen PAK nach einem Rückgang im Jahr 1990 wieder ein deutlicher Anstieg der Konzentration erfolgt ist.

Von den weiteren neben den Borneff-PAK in der EPA-Liste enthaltenen Stoffe steigt Pyren (Abb. 3.38) ausgehend von etwa 0,25 mg/kg an den Meßstellen Augst-Wyhlen, Birsfelden und Weil im weiteren Verlauf des Rheins deutlich auf 2,1 mg/kg in Lobith an. Über 1,2 mg/kg in Keeken-Bimmen gehen die Gehalte auf 0,66 mg/kg an der Haringvlietsluis bzw. 0,07 mg/kg im Ketelmeer zurück. Im Vergleich zu 1988 und 1990 hat die Pyrenbelastung am Hochrhein, in Weil und in Koblenz stark abgenommen. Nach einer Zunahme 1990 ist der Pyrengehalt in Iffezheim 1995 auf unter 0,5 mg/kg gesunken, während in Lohrwardt ein Anstieg der Gehalte zu verzeichnen ist. In Lobith und Keeken-Bimmen sind die Gehalte 1990 zunächst zurückgegangen, 1995 jedoch wieder deutlich angestiegen.

Einen ähnlichen Verlauf zeigen die Gehalte an Benzo(a)anthracen (Abb. 3.39): Sie fallen zunächst von 0,22 mg/kg in Birsfelden auf 0,14 mg/kg in Weil, steigen in Iffezheim und Koblenz mäßig, am Niederrhein dann deutlich auf 1,0 mg/kg in Lohrwardt bzw. 1,3 mg/kg in Lobith an. Ab Keeken-Bimmen erfolgt ein Rückgang auf 0,40 mg/kg an der Haringvlietsluis und 0,04 mg/kg im Ketelmeer. Der zeitliche Vergleich verläuft an den meisten Meßstellen uneinheitlich. Ein eindeutig abnehmender Trend ist nur in Koblenz zu beobachten. In Augst-Wyhlen ist nach einem deutlichen Rückgang 1990 eine Stagnation eingetreten, während die Gehalte am Niederrhein wie bei den meisten PAK 1990 zunächst abgenommen haben, 1995 dagegen wieder stark angestiegen sind.

Phenanthren (Abb. 3.40) wurde erst 1995 in das Untersuchungsprogramm aufgenommen. Die Gehalte bewegen sich am Hoch- und Oberrhein um 0,2 mg/kg, steigen in Koblenz leicht, am Niederrhein wiederum deutlich auf 0,92 mg/kg in Lohrwardt und 1,4 mg/kg in Lobith an, um in Keeken-Bimmen auf 0,91 mg/kg zurückzugehen. Die Gehalte im Rhein-Maas-Delta nehmen auf 0,44 mg/kg an der Harinvlietschleuse und 0,09 mg/kg im Ketelmeer ab.

Bei den weiteren Komponenten der EPA-Liste Naphthalin, Dibenz(ah)anthracen, Anthracen, Fluoren und Acenaphthen liegen die Gehalte im Hochrhein, im Oberrhein, im Ketelmeer sowie teilweise auch in Koblenz unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,05 mg/kg. Im Niederrhein nimmt die Belastung zwar zu, die Werte sind jedoch deutlich geringer als bei den bisher beschriebenen Hauptkomponenten. Eine Ausnahme bildet Chrysen, dessen Konzentrationen von 0,19 mg/kg in Augst-Wyhlen auf 1,1 mg/kg in Lobith ansteigen und anschließend auf 0,34 mg/kg an der Haringvlietsluis bzw. < 0,05 mg/kg im Ketelmeer zurückgehen. Acenaphthylen als weiterer Vertreter der EPA-Liste wurde aus analytischen Gründen nicht untersucht.

Das nicht zur EPA-Liste gehörende Benzo(e)pyren liegt an allen Meßstellen unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,05 mg/kg.

Auch bei der Summe der 6 Borneff-PAK (Abb. 3.41) liegen die Gehalte am Hoch- und Oberrhein mit Werten zwischen 1,1 und 1,6 mg/kg auf dem gleichen niedrigen Niveau und steigen über Koblenz (2,33 mg/kg) erst leicht, im Niederrhein stark an. In Lobith liegen die Borneff-PAK

mit 8,94 mg/kg um das Sechsfache höher als in Augst-Wyhlen. Auch in Keeken-Bimmen ist die Belastung bei 5,19 mg/kg noch mehr als dreimal so hoch. Zum Deltabereich hin gehen die Konzentrationen deutlich zurück (3,26 mg/kg). Das Ketelmeer ist mit 0,31 mg/kg praktisch unbelastet.

Der gleiche Verlauf ergibt sich bei der Summe der 15 untersuchten EPA-PAK (Abb. 3.42). Dabei liegen die Gehalte an den beiden niederrheinischen Meßstellen Lohrwardt und Keeken-Bimmen um Faktor 4, in Lobith um Faktor 7 höher als im Hochrhein.

3.6.5 Organische Zinnverbindungen

Bei den organischen Zinnverbindungen sind in den Tabellen im Anhang sowohl die Konzentrationen der entsprechenden Kationen bzw. Tetrabutylzinn als auch die auf Zinn bezogenen Werte angegeben. In den im folgenden beschriebenen Abbildungen sind nur die auf Zinn umgerechneten Gehalte dargestellt.

Die Gehalte der Dibutylzinnverbindungen (Abb. 3.43) liegen bis einschließlich Koblenz unterhalb der Bestimmungsgrenze von 1 µg/kg. Am Niederrhein steigen die Gehalte auf über 6 µg/kg an und gehen an der Haringvlietsluis auf 2,8 µg/kg zurück. Im Ketelmeer sind Dibutylzinnverbindungen nicht nachweisbar.

Bei der von der Belastung her wichtigsten Stoffklasse, den Tributylzinnverbindungen (Abb. 3.44), sind bereits im Hochrhein und in Weil Konzentrationen zwischen 4 und 8 µg/kg anzutreffen. Bis Iffezheim erfolgt eine Zunahme auf 15 µg/kg und in Koblenz ein weiterer Anstieg auf 41 µg/kg. Am Niederrhein wurden Gehalte um 10 µg/kg gefunden. Der höchste Tributylzinngehalt wird mit 68 µg/kg an der Haringvlietsluis erreicht. Auch das Ketelmeer ist mit 15 µg/kg noch deutlich belastet.

Unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,7 µg/kg liegen die Diöctylzinngehalte (Abb. 3.45) an den Meßstellen Augst-Wyhlen, Birsfelden und Weil. Mit Ausnahme von Lohrwardt (1,1 µg/kg) sind an den Meßstellen Iffezheim, Koblenz, Lobith und Keeken-Bimmen mit etwa 3 µg/kg vergleichbare Konzentrationen anzutreffen. Die Haringvlietsluis weist mit 5,8 µg/kg wiederum den höchsten Wert auf. Im Ketelmeer liegt der Diöctylzinngehalt unterhalb der Bestimmungsgrenze.

Einen völlig anderen Verlauf zeigen die Gehalte an Triphenylzinnverbindungen (Abb. 3.46). Von Augst-Wyhlen (1,7 µg/kg) steigen sie über Birsfelden (2,9 µg/kg) auf 4,7 µg/kg in Weil an und gehen in Iffezheim und Koblenz auf Werte um 3 µg/kg zurück. Die niederrheinischen Meßstellen sind dagegen unbelastet (< 0,6 µg/kg). Der Höchstwert wird wieder an der Haringvlietsluis mit 18 µg/kg erreicht. Die Belastung des Ketelmeeres ist mit der im Ober- und Mittelrhein vergleichbar.

Bei den weiteren untersuchten organischen Zinnverbindungen liegen die Gehalte durchweg unterhalb der Bestimmungsgrenze (siehe Tabelle im Anhang).

3.6.6 Weitere organische Mikroverunreinigungen

An dieser Stelle werden die organischen Stoffe behandelt, die in sehr niedrigen Konzentrationen vorkommen und daher meist unterhalb der Bestimmungsgrenze oder geringfügig darüber liegen. Ein Vergleich mit den früheren Bestandsaufnahmen ist deshalb nur sehr begrenzt möglich.

Von den Verbindungen der DDT-Gruppe liegen die 2,4'-Komponenten nahezu durchgehend unterhalb der Bestimmungsgrenze von 1 µg/kg. Lediglich 2,4'-DDE kommt an den Meßstellen Lohrwardt und Keeken-Bimmen in etwas höheren Konzentrationen vor. Beim 4,4'-DDT und seinen Metaboliten liegen die Gehalte an den Meßstellen Augst-Wyhlen, Birsfelden, Weil und Ketelmeer ebenfalls unter 1 µg/kg. Meßbare Werte zwischen 2 und 8 µg/kg sind ab Iffezheim

vorzufinden, wobei generell anzumerken ist, daß aufgrund der relativ schlechten gaschromatographischen Abtrennbarkeit Überlagerungen mit den in deutlich höheren Konzentrationen vorkommenden PCB möglich sind. Im Vergleich zu den früheren Untersuchungen sind die Stoffe der DDT-Gruppe an den Meßstellen Augst-Wyhlen, Birsfelden und Weil nicht mehr nachweisbar. An den anderen Meßstellen mit Ausnahme von Iffezheim liegen die Werte in der gleichen Größenordnung. In Iffezheim wurden 1990 noch Gehalte von über 10 µg/kg gemessen.

Bei der HCH-Gruppe liegen nur 4 Werte über der Bestimmungsgrenze von 1 µg/kg: Alpha-HCH in Lobith sowie β-HCH in Iffezheim, Koblenz und Lohrwardt. Ein Vergleich mit den vorherigen Bestandsaufnahmen ist wegen der lückenhaften Datenbasis nicht möglich./

Von der Gruppe der Drine und weiterer hochchlorierter Biozide sind lediglich Endrin in Lobith und Keeken-Bimmen sowie Telodrin in Konzentrationen im Bereich der Bestimmungsgrenze von 1 µg/kg in Lobith anzutreffen.

Tetrachlorbenzyltoluole (TCBT), die in den 80er Jahren als PCB-Ersatzstoff Verwendung fanden, werden ebenfalls nur in Konzentrationen knapp oberhalb der Bestimmungsgrenze angetroffen. Etwas höher liegen die Gehalte in Lobith und an der Haringvlietsluis mit bis zu 5 µg/kg je Isomer, wobei auch hier Überlagerungen durch PCB möglich sind.

Bei den weiteren untersuchten chlorhaltigen Stoffen ist vor allem 2,4-Dichlortoluol zu erwähnen, das an den Meßstellen Lobith und Haringvlietsluis in Konzentrationen über 10 µg/kg vorkommt. Der Verlauf im Rheinlängsprofil ist Abbildung 3.47 zu entnehmen.

Octachlorstyrol ist an den Meßstellen von Iffezheim bis Haringvlietsluis in geringen Konzentrationen bis 2,6 µg/kg nachzuweisen.

Die Gehalte von Pentachloranisol sowie der Chlornitro- und Dichlornitrobenzole liegen durchweg unter der Bestimmungsgrenze von 1 µg/kg.

4. Zusammenfassung

Dieses Kapitel enthält die wichtigsten Ergebnisse des internationalen Sedimentmeßprogramms 1995 im Überblick. Die Schwermetalle und Arsen wurden in der < 20 µm-Fraktion untersucht, alle anderen Untersuchungen erfolgten in der Gesamtprobe (< 2000 µm).

Gegenüber der Bestandsaufnahme 1990 wurde das Meßstellennetz um 3 Stellen erweitert, wobei die Meßstellen im Rhein-Maas-Delta, Haringvlietsluis und Ketelmeer, erstmalig beprobt wurden und die Meßstelle Birsfelden am Hochrhein aus der ersten Bestandsaufnahme 1988 wieder in das Untersuchungsprogramm aufgenommen wurde.

Hydrologie

An den Probenahmetagen im September 1995 lag der Abfluß am Pegel Lobith bei 2000 m³/s; dies entspricht etwa dem langjährigen Abflußmittelwert an dieser Meßstelle. Nach einem ausgeprägten Hochwasser Ende Januar 1995 lag das letzte kleinere Hochwasser 3 Monate zurück, so daß an allen Meßstellen genügend frisch abgesetztes (rezentes) Sediment vorlag.

Altersabschätzung und Qualitätssicherung

Die radiologischen Untersuchungen ergaben, daß alle Proben vom Hochrhein bis zur deutsch-niederländischen Grenze aus frischem Material ohne nennenswerte Gewässerbodenanteile bestanden. Lediglich die beiden Proben aus dem Delta enthielten relativ hohe ältere Anteile, was im Tide- bzw. Ästuarbereich von Fließgewässern jedoch nicht außergewöhnlich ist.

Korngrößenverteilung

Bei den meisten Proben lag der Feinkornanteil (< 63 µm) um 80%. Die Meßstellen Lohrwardt, Keeken-Bimmen und Ketelmeer wiesen mit etwa 60% einen etwas geringeren Feinkornanteil auf, die Haringvlietsluis mit 95% einen sehr hohen Feinkornanteil. Höhere Grobsandanteile > 630 µm lagen an den Meßstellen Keeken-Bimmen mit 23% und Ketelmeer mit 12% vor, so daß hier durch den Verdünnungseffekt mit etwas zu niedrigen Ergebnissen bei den Untersuchungen in der Gesamtprobe gerechnet werden muß.

Allgemeine Meßgrößen

Die TOC-Gehalte liegen vom Hochrhein bis zum Mittelrhein um 2,5%, an den nieder-rheinischen Meßstellen Lohrwardt und Keeken-Bimmen sowie an der Haringvlietsluis über 3%. Den höchsten TOC-Gehalt weist die Meßstelle Lobith mit 4,3% auf, im Ketelmeer ist mit 1,8% der geringste TOC-Gehalt festzustellen. Ein Trend ist mit Ausnahme des deutlichen Rückgangs in Iffezheim gegenüber 1990 nicht erkennbar.

Bei den EOX-Gehalten zeigt sich an fast allen Meßstellen ein deutlicher Rückgang, insbesondere in Iffezheim, während in Lobith ein Anstieg von 0,2 mg/kg 1990 auf 0,6 mg/kg 1995 zu verzeichnen ist. Dies ist auch bei den meisten chlorhaltigen organischen Mikroverunreinigungen wiederzufinden. Nach wie vor liegt der EOX-Gehalt mit 0,8 mg/kg in Iffezheim am höchsten, in Weil mit unter 0,1 mg/kg am niedrigsten.

Die Gesamt-Phosphor-Gehalte liegen am Hoch- und Oberrhein unter 1 g/kg und steigen im Längsprofil auf nahezu 2,5 g/kg in Lobith an. Wie in der Wasserphase ist an allen Meßstellen ein mehr oder weniger deutlicher Rückgang der Phosphorkonzentrationen festzustellen.

Schwermetalle und Arsen

Überwiegend rückläufig ist die Belastungssituation bei den meisten Schwermetallen. Eine Ausnahme bilden neben Arsen die Metalle Chrom und an der Meßstelle Lobith Quecksilber, bei denen kein eindeutiger Trend zu beobachten ist. Während 1990 bei einigen Metallen die höchsten Gehalte in Lohrwardt auftraten, ist 1995 die höchste Belastung wie schon 1988 in Lobith zu verzeichnen.

Erstmals wird in diesem Bericht bei den Schwermetallen und Arsen ein Vergleich der Sedimentbelastung mit den IKSZ-Zielvorgaben vorgenommen. Dabei ist in erster Näherung vorausgesetzt worden, daß das rezente Sediment etwa dem 90-Perzentil aus den Schwebstoffmeßergebnissen entspricht.

Deutlich überschritten werden die Zielvorgaben für die Metalle Cadmium, Quecksilber und Zink an der deutsch-niederländischen Grenze und an der Haringvlietsluis (Ergebnisgruppe 1). In Ergebnisgruppe 3 (deutliche Unterschreitung der Zielvorgabe) können die Arsengehalte mit Ausnahme der genannten Meßstellen eingestuft werden. Dies gilt bei den meisten Schwermetallen auch für den Hochrhein und das Ketelmeer. Die Gehalte an Chrom, Kupfer und Nickel liegen weitestgehend im Bereich der Zielvorgabe (Ergebnisgruppe 2).

Organische Mikroverunreinigungen

Von der Vielzahl organischer Mikroverunreinigungen wurden 1995 vor allem polychlorierte Benzole, PCB, "Dioxine", PAK und organische Zinnverbindungen in deutlich meßbaren Konzentrationen in den Sedimenten gefunden.

Auffällig ist der starke Anstieg der Belastung mit Dichlorbenzolen an den Meßstellen Weil, Koblenz und insbesondere Lobith gegenüber 1990. Auch an der Haringvlietsluis liegen hohe Dichlorbenzolgehalte vor. Am Niederrhein und im Delta ist dies möglicherweise auf die 1995 durchgeführten Baggergutumlagerungen zurückzuführen. Der hiervon u. a. betroffene Hafen Wesel wies in den 80er Jahren eine hohe Belastung mit diesen Verbindungen auf. Frühere niederländische Untersuchungen ergaben dagegen keine erhöhten Werte.

Beim HCB ist die Entwicklung sehr unterschiedlich. Während die Gehalte in Augst-Wyhlen und Weil deutlich zugenommen haben, ist durch die Hochwasserereignisse der letzten Jahre an den Meßstellen Iffezheim und Koblenz ein starker Rückgang der HCB-Belastung eingetreten, obwohl der HCB-Gehalt in Iffezheim mit 310 µg/kg noch immer sehr hoch liegt. Am Niederrhein unterliegen die Gehalte dagegen mehr oder weniger deutlichen Schwankungen, während die Belastung im Deltabereich vergleichsweise gering ist.

Die PCB-Gehalte sind vom Hochrhein bis zum Mittelrhein deutlich zurückgegangen. Auch in Lohrwardt zeichnet sich ein Rückgang der PCB-Belastung ab. In Lobith und Keeken-Bimmen sind die Gehalte dagegen nach vorübergehend niedrigeren Werten 1990 im Jahr 1995 wieder angestiegen. Etwas geringer als in Lobith ist die PCB-Belastung an der Haringvlietsluis. Im Ketelmeer sowie an den hochrheinischen Meßstellen liegen die PCB-Konzentrationen im Bereich der ubiquitären Hintergrundbelastung.

An den Meßstellen Augst-Wyhlen und Iffezheim ist die Dioxinbelastung berechnet als internationale Toxizitätsäquivalente (ITEQ) zurückgegangen, während sie in Weil und Lobith nahezu unverändert gegenüber 1990 geblieben ist. Mehr oder weniger deutlich zugenommen hat die Dioxinbelastung an den Meßstellen Koblenz, Lohrwardt und - mit einem Anstieg um das Vierfache - insbesondere in Keeken-Bimmen. Dies ist vor allem auf höhere Gehalte bei den polychlorierten Dibenzofuranen zurückzuführen, während die entsprechenden Dibenzodioxine nur geringfügig höher liegen als 1990. Vergleichbar mit den niederrheinischen Meßstellen ist die Dioxinbelastung auch an der Haringvlietsluis, die Meßstellen Birsfelden und Ketelmeer weisen dagegen nur eine geringe Belastung auf. Für Dioxine sind als einzige prioritären Stoffe keine Zielvorgaben abgeleitet worden. Als Richtwert kann der in der Schweiz und in Deutschland für Kinderspielplätze geltende Grenzwert von 100 ng/kg ITEQ herangezogen werden. Die Dioxingehalte liegen an allen internationalen Meßstellen unter diesem Wert.

Bei den 6 Borneff-PAK Fluoranthen, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen, Benzo(a)pyren, Benzo(ghi)perylene und Indeno(1,2,3-cd)pyren sind die Gehalte am Hochrhein, Oberrhein und Mittelrhein zurückgegangen, am Niederrhein dagegen angestiegen, bei einem Spitzenwert von knapp 9 mg/kg in Lobith. Die Haringvlietsluis ist gegenüber

den niederrheinischen Meßstellen vergleichsweise gering belastet, das Ketelmeer praktisch unbelastet. Der gleiche Verlauf mit ansteigenden Werten ab Weil (2,15 mg/kg) bis nach Lobith (17,3 mg/kg) ergibt sich für die 15 untersuchten PAK der EPA-Liste, wobei Fluoranthen gefolgt von Pyren die Hauptkomponenten darstellen. Im Ketelmeer liegt die Summe der EPA-PAK unter 1 mg/kg.

Anders als bei den meisten organischen Mikroverunreinigungen ist bei den erstmals untersuchten organischen Zinnverbindungen die Haringvlietsluis die am stärksten belastete Meßstelle. Die höchsten Gehalte weisen die in Antifouling-Anstrichen verwendeten Tributylzinnverbindungen mit 68 µg/kg (bezogen auf Zinn) auf. Auch die an einem Yachthafen gelegene Meßstelle Koblenz ist mit 41 µg/kg stärker mit diesen Stoffen belastet. Tributylzinnverbindungen konnten an allen Meßstellen nachgewiesen werden. Höher belastet ist die Haringvlietsluis auch mit den in der Landwirtschaft verwendeten Triphenylzinnverbindungen, während die Gehalte am Niederrhein unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen. Vereinzelt in deutlich geringeren Konzentrationen wurden daneben noch Dibutylzinn und Dioctylzinn nachgewiesen.

Hintergrundbelastung

Durch Erweiterung der nationalen Untersuchungen auf den Hochrhein oberhalb des Zuflusses der Aare sind nun auch Aussagen zur Hintergrundbelastung von Rheinsedimenten möglich. Bei den Schwermetallen unterliegen die Gehalte von der schweizerischen Meßstelle Kadelburg bei Rhein-km 90 bis zur französischen Meßstelle Kembs am Oberrhein (Rhein-km 180) nur geringen Schwankungen. Die Schwermetallgehalte in diesem Rheinabschnitt sind vergleichbar mit den Gehalten an der Schwebstoffmeßstelle Reckingen, so daß diese als Hintergrundbelastung des Rheins angesehen werden können. Für die Metalle Kupfer, Nickel und Zink liegen diese Hintergrundwerte allerdings bereits im Bereich der Zielvorgaben der IKSr, so daß das gewünschte Ziel einer deutlichen Unterschreitung der Zielvorgabe bei diesen Metallen nicht erreichbar scheint.

Anders ist dies bei den organischen Chlorverbindungen. An der Meßstelle Kadelburg lagen die Ergebnisse dieser Stoffgruppe praktisch durchweg unterhalb der Bestimmungsgrenze von 1 µg/kg. Auch die polychlorierten Dioxine und Furane konnten nur vereinzelt nachgewiesen werden, so daß die Belastung ausgedrückt in internationalen Toxizitätsäquivalenten unter 3 ng/kg lag.

Die Gehalte der 6 Borneff-PAK liegen in Kadelburg auf dem sehr niedrigen Niveau von 1,16 mg/kg, steigen in Laufenburg unterhalb der Aare-Einmündung auf 2,0 mg/kg an und gehen bis Kembs wieder auf das Ausgangsniveau zurück.

Bei den organischen Zinnverbindungen liegt bereits in Kadelburg eine wenn auch geringe Belastung mit Tributylzinn vor, die aus dem Bodenseebereich stammt.

5. Anlagen

Anlage 1a: Allgemeine Meßgrößen im Rheinsediment 1995

Meßstelle Rhein-km	Augst-Wyhlen 155,2 r	Blrsfelden 163 I	Weil 174 r	Iffezheim 334	Koblenz 590 I	Lohrhardt 830,0 r	Loblth 863,0 r	Keeken-Blimmen 863,8 I	Heringviletstils 1025	Keteimeer 1010
Altersabschätzung										
Be-7	32	96	124	72	37	56	14	22	6	8
Cs-137	43	24	28	31	25	18	27	22	54	5
Pb-210	58	50	55	54	52	55	64	54	81	42
Bi-214	28	24	28	28	28	40	44	35	38	27
Ra-226	32	27	27	30	36	40	40	37	37	28
Korngrößenverteilung										
Anteile	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
< 2 µm	3,8	7,7	7,2	6,7	5,8	5,0	5,7	4,9	7,7	2,3
< 10 µm	19	20	29	24	24	22	24	25	32	11
< 16 µm	27	25	37	29	31	29	31	34	43	15
< 20 µm	41	49	51	51	49	39	50	40	72	19
< 40 µm	68	67	68	60	64	50	68	55	89	39
< 63 µm	77	79	81	74	77	60	78	63	95	57
< 125 µm	92	94	93	88	93	77	88	72	98	78
< 200 µm	96	98	99	94	99	89	95	76	100	82
> 630 µm	0	0,5	1,0	5,2	0	8,5	5,0	23	0	12
Summenmeßgrößen										
TOC	2,7	2,4	2,4	2,7	2,7	3,2	4,3	3,3	3,3	1,8
EOX	0,3	0,3	<0,1	0,8	0,7	0,6	0,6	0,4	0,7	0,2
Gesamt-KW	13	21	53	160	130	120	130	110	51	76
Nährstoffe										
Gesamt-N	2,0	1,7	2,2	2,1	2,6	2,7	2,6	2,9	3,5	1,2
Nitrat-N	1,5	1,5	1,9	2,5	2,5	2,1	2,2	2,3	2,6	1,7
Nitrit-N	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2
Ammonium-N	38	85	95	120	160	150	150	99	240	89
Gesamt-P	0,85	0,71	0,73	0,90	1,27	1,37	2,46	1,39	2,19	0,78

Anlage 1b: Elemente im Rheinsediment 1995

Meßstelle Rheinh-km	Augst-Wyhlen 155,2 r	Birsfelden 163 l	Weil 174 r	Iffezheim 334	Koblenz 590 l	Lohnwardt 830,0 r	Lobith 863,0 r	Keeken-Birnen 863,8 l	Haringvlietluis 1025	Keteimeer 1010
Elemente (in der Fraktion < 20 µm)										
As	6,8 mg/kg	9,0 mg/kg	9,1 mg/kg	15 mg/kg	15 mg/kg	18 mg/kg	30 mg/kg	27 mg/kg	25 mg/kg	10 mg/kg
Cd	0,32 mg/kg	0,31 mg/kg	0,36 mg/kg	0,46 mg/kg	0,58 mg/kg	1,0 mg/kg	5,3 mg/kg	2,2 mg/kg	5,1 mg/kg	0,48 mg/kg
Cr	46 mg/kg	64 mg/kg	61 mg/kg	73 mg/kg	75 mg/kg	97 mg/kg	157 mg/kg	102 mg/kg	119 mg/kg	57 mg/kg
Cu	30 mg/kg	32 mg/kg	33 mg/kg	47 mg/kg	56 mg/kg	65 mg/kg	113 mg/kg	78 mg/kg	84 mg/kg	13 mg/kg
Fe	19,2 g/kg	22,0 g/kg	25,2 g/kg	22,9 g/kg	26,8 g/kg	29,9 g/kg	31,7 g/kg	29,8 g/kg	36,0 g/kg	21,4 g/kg
Hg	0,26 mg/kg	0,20 mg/kg	0,22 mg/kg	0,36 mg/kg	0,42 mg/kg	0,70 mg/kg	2,0 mg/kg	1,0 mg/kg	1,4 mg/kg	0,16 mg/kg
Mn	410 mg/kg	560 mg/kg	630 mg/kg	520 mg/kg	630 mg/kg	970 mg/kg	860 mg/kg	960 mg/kg	940 mg/kg	527 mg/kg
Ni	32 mg/kg	38 mg/kg	37 mg/kg	41 mg/kg	41 mg/kg	47 mg/kg	49 mg/kg	46 mg/kg	51 mg/kg	16 mg/kg
Pb	26 mg/kg	26 mg/kg	32 mg/kg	37 mg/kg	51 mg/kg	91 mg/kg	163 mg/kg	139 mg/kg	161 mg/kg	24 mg/kg
Zn	110 mg/kg	88 mg/kg	113 mg/kg	138 mg/kg	231 mg/kg	396 mg/kg	685 mg/kg	489 mg/kg	685 mg/kg	116 mg/kg
Al	40,8 g/kg	47,0 g/kg	48,6 g/kg	50,0 g/kg	57,5 g/kg	56,3 g/kg	61,1 g/kg	58,4 g/kg	61,4 g/kg	38,1 g/kg
Ba	225 mg/kg	244 mg/kg	262 mg/kg	279 mg/kg	436 mg/kg	784 mg/kg	1130 mg/kg	583 mg/kg	644 mg/kg	263 mg/kg
Ca	97 g/kg	102 g/kg	101 g/kg	105 g/kg	72 g/kg	63 g/kg	60 g/kg	67 g/kg	57 g/kg	27 g/kg
Co	8,2 mg/kg	12 mg/kg	10 mg/kg	12 mg/kg	14 mg/kg	16 mg/kg	18 mg/kg	16 mg/kg	17 mg/kg	4,5 mg/kg
K	11,6 g/kg	14,5 g/kg	15,2 g/kg	25,1 g/kg	22,7 g/kg	21,8 g/kg	21,9 g/kg	21,2 g/kg	21,3 g/kg	12,8 g/kg
Mg	16,5 g/kg	15,3 g/kg	16,0 g/kg	17,5 g/kg	12,9 g/kg	10,2 g/kg	10,6 g/kg	10,5 g/kg	10,7 g/kg	5,9 g/kg
Na	5,92 g/kg	4,07 g/kg	4,01 g/kg	3,66 g/kg	4,73 g/kg	4,36 g/kg	4,54 g/kg	4,48 g/kg	5,06 g/kg	7,91 g/kg
Si	190 g/kg	184 g/kg	188 g/kg	176 g/kg	214 g/kg	214 g/kg	214 g/kg	212 g/kg	200 g/kg	233 g/kg
Ti	2,74 g/kg	2,90 g/kg	2,95 g/kg	3,12 g/kg	4,14 g/kg	4,16 g/kg	4,46 g/kg	4,02 g/kg	4,16 g/kg	5,17 g/kg
V	56 mg/kg	75 mg/kg	78 mg/kg	84 mg/kg	81 mg/kg	92 mg/kg	98 mg/kg	92 mg/kg	112 mg/kg	47 mg/kg

Anlage 1c: Aromatische Halogenverbindungen im Rheinsügräbent 1995

war

Melstelle	Augst-Wyhlen 155,2 r	Birsfelden 1631	Weil 174 r	Iffezheim 334	Koblenz 5901	Lohrardt 830,0 r	Lobith 863,0 r	Keeken-Blimmen 863,8 l	Haringviletstuis 1025	Ketelmeer 1010
Organische Mikroverunreinigungen (in der Gesamtprobe = Fraktion < 2000 µm)										
Aromatische Halogenverbindungen										
Chlorbenzol	< 2,5	< 2,5	< 2,5	21	26	28	220	17	71	5,2
1,2 - Dichlorbenzol	< 1	2,0	7,0	30	15	8	120	12	37	3,8
1,3 - Dichlorbenzol	12	2,2	24	39	28	23	150	28	99	11
1,4 - Dichlorbenzol	17	6,5	50	1,0	2,1	1,5	4,8	1,2	3,0	< 1
1,2,3 - Trichlorbenzol	< 1	< 1	< 1	11	16	15	80	22	53	3,2
1,2,4 - Trichlorbenzol	1,8	< 1	4,0	11	6,1	6,0	44	11	29	1,9
1,3,5 - Trichlorbenzol	3,1	2,0	2,4	2,5	2,8	1,0	2,4	2,2	4,2	< 1
1,2,3,4 - Tetrachlorbenzol	< 1	< 1	1,6	2,5	1,7	< 1	1,7	< 1	2,1	< 1
1,2,3,5 - Tetrachlorbenzol	< 1	< 1	1,9	60	3,6	5,2	16	7,4	8,9	1,3
1,2,4,5 - Tetrachlorbenzol	3,0	1,7	2,7	5,6	3,1	4,7	7,0	4,8	7,4	< 1
Pentachlorbenzol	3,2	1,9	2,7	310	54	87	42	21	8,6	1,1
Hexachlorbenzol	60	9,4	92	< 1	4,6	1,8	15	3,4	12	< 1
2,4 - Dichlorolul	< 1	< 1	2,7	1,7	1,5	2,4	2,6	1,6	1,8	< 1
Ochlchlorstrol	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Pentachloranisol	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
2-Chlornitrobenzol	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
3-Chlornitrobenzol	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
4-Chlornitrobenzol	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
2,3-Dichlornitrobenzol	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
2,4-Dichlornitrobenzol	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
2,5-Dichlornitrobenzol	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
3,4-Dichlornitrobenzol	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Bromocyclen	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1

Anlage 1e: "Dioxine" im Rheinsediment 1995

Meßstelle	Augst-Wyhlen 155,2 r	Birsfelden 163 l	Weil 174 r	Iffezheim 334	Koblenz 590 l	Lohrwardt 830,0 r	Lablth 863,0 r	Keecken-Elmman 863,8 l	Haringvlietsluis 1025	Ketelmeer 1010
Rhein-km										
Polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD/F)										
2,3,7,8-TCDD	< 0,5	< 5	1,8	< 3	2,1	4,1	24	4,6	13	< 3
1,2,3,7,8-PeCDD	1,2	< 13	20	14	7,3	6,2	9,0	5,3	8,9	< 4
1,2,3,4,7,8-HxCDD	2,5	< 17	11	4,0	5,7	2,8	4,6	< 3	3,6	< 6
1,2,3,6,7,8-HxCDD	3,9	< 17	18	7,8	16	7,7	15	9,3	13	< 6
1,2,3,7,8,9-HxCDD	2,5	< 17	11	5,0	6,9	4,7	7,8	5,4	7,4	< 6
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	75	20	96	120	150	97	190	110	210	35
OctaCDD	2900	160	1700	2000	1600	1100	1600	890	1400	330
2,3,7,8-TCDF	3,4	< 3	4,7	8,2	7,1	20	24	27	24	2,8
1,2,3,7,8-PeCDF	4,0	< 7	3,6	9,5	10	41	28	55	25	5,0
2,3,4,7,8-PeCDF	3,8	< 6	9,3	8,3	13	38	29	30	30	4,7
1,2,3,4,7,8-HxCDF	15	< 8	19	15	29	110	77	220	66	7,6
1,2,3,6,7,8-HxCDF	3,1	< 8	2,6	4,7	17	25	33	45	23	4,5
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,4	< 8	< 3	< 2	< 3	1,6	2,2	2,4	< 1	< 2
2,3,4,6,7,8-HxCDF	1,5	< 8	2,5	2,8	8,0	6,3	16	8,8	14	3,0
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	26	< 15	26	38	83	97	370	230	310	33
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	4,1	< 15	4,4	2,8	8,6	20	40	40	27	< 7
OctaCDF	330	18	260	370	280	500	2100	1100	1400	160
ITEQ	11	< 14	27	23	26	50	73	63	57	< 13

Anlage 1f: Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe im Rheinsediment 1995

Mei3stelle	Augst-Wyhlen 155,2 r	Birsfeiden 163 l	Weil 174 r	Iffzheim 334	Koblenz 590 l	Lohrwardt 830,0 r	Lobith 863,0 r	Keeken-Bimmen 863,8 l	Haringvlietkuis 1025	Ketelmeer 1010
Rhein-km										
Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)										
Fluoranthren	0,43	0,39	0,34	0,51	0,70	1,70	2,9	1,6	0,79	0,10
Benzo(b)fluoranthren	0,27	0,22	0,19	0,29	0,39	0,99	1,6	0,91	0,70	0,07
Benzo(k)fluoranthren	0,13	0,12	0,10	0,14	0,20	0,49	0,75	0,45	0,29	0,02
Naphtthalin	0,05	<0,05	<0,05	0,07	0,10	0,28	0,93	0,63	0,63	0,06
Benzo(ghi)perylen	0,22	0,19	0,19	0,25	0,32	0,76	1,2	0,79	0,46	0,04
Pyren	0,27	0,27	0,23	0,47	0,59	1,25	2,1	1,2	0,66	0,07
Benzo(a)pyren	0,23	0,21	0,16	0,26	0,35	0,88	1,6	0,76	0,46	0,04
Chrysen	0,19	0,28	0,22	0,29	0,33	0,67	1,1	0,64	0,34	<0,05
Dibenz(ah)anthracen	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,08	0,15	0,09	0,05	<0,05
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,17	0,12	0,14	0,19	0,37	0,64	0,89	0,68	0,56	0,04
Anthracen	<0,05	<0,05	<0,05	0,08	0,09	0,28	0,55	0,34	0,24	<0,05
Benzo(a)anthracen	0,21	0,22	0,14	0,23	0,30	1,01	1,3	0,86	0,40	0,04
Phenanthren	0,19	0,21	0,19	0,24	0,31	0,92	1,4	0,91	0,44	0,09
Fluoren	<0,05	<0,05	<0,05	0,09	0,13	0,28	0,66	0,30	0,20	<0,05
Acenaphthen	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,13	0,24	0,11	0,08	<0,05
Benzo(e)pyren	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Summe PAK Borneff	1,45	1,25	1,12	1,64	2,33	5,46	8,94	5,19	3,26	0,31
Summe PAK EPA	2,56	2,48	2,15	3,21	4,28	10,4	17,3	10,3	6,30	0,87

Anlage 1g: Organische Zinnverbindungen im Rheinsediment 1995

Meßstelle	Augst-Wyhlen 155,2 r	Birsfelden 163 l	Weil 174 r	Iffezheim 334	Koblenz 590 l	Lohrwardt 830,0 r	Lobith 863,0 r	Keelken-Blinnen 863,8 l	Hartingwetsluuls 1025	Kerfelmeer 1010
Organische Zinnverbindungen										
Monobutylzinn-Kation	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Monobutylzinn*	<1,4	<1,4	<1,4	<1,4	<1,4	<1,4	<1,4	<1,4	<1,4	<1,4
Dibutylzinn-Kation	<2	<2	<2	<2	<2	12	13	13	5,5	<2
Dibutylzinn*	<1	<1	<1	<1	<1	6,1	6,6	6,6	2,8	<1
Tributylzinn-Kation	18	9,8	20	36	100	21	31	21	166	15
Tributylzinn*	7,4	4,0	8,2	15	41	8,6	13	8,6	68	6,1
Tetrabutylzinn	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Tetrabutylzinn*	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7
Monooctylzinn-Kation	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Monooctylzinn*	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Dioctylzinn-Kation	<2	<2	<2	10	8,9	3,2	9,5	6,7	17	<2
Dioctylzinn*	<0,7	<0,7	<0,7	3,4	3,1	1,1	3,3	2,3	5,8	<0,7
Triphenylzinn-Kation	5,1	8,5	14	8,3	9,4	<2	<2	<2	53	10
Triphenylzinn*	1,7	2,9	4,7	2,8	3,2	<0,6	<0,6	<0,6	18	3,4
Tricyclohexylzinn-Kation	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Tricyclohexylzinn*	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6

* bezogen auf Zinn

Anlage 1h: Organochlorpestizide im Rheinsediment 1993

Meßstelle	Augst-Wyhlen 155,2 r	Birsfelden 163 l	Weil 174 r	Iffezheim 334	Koblenz 500 l	Lohrwardt 830,0 r	Lobith 863,0 r	Keecken-Bimmen 863,8 l	Haringvlietsluis 1025	Keteimeer 1010
Organochlorpestizide										
o,p - DDE	<1	<1	<1	<1	<1	1,6	<1	3,2	<1	<1
p,p - DDE	<1	<1	<1	2,0	4,2	4,1	5,3	3,9	3,0	<1
o,p - DDD	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
p,p - DDD	<1	<1	<1	3,6	2,9	2,4	3,9	3,5	5,0	<1
o,p - DDT	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
p,p - DDT	<1	<1	<1	1,8	5,4	4,4	8,1	4,8	<1	<1
a - HCH	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2,0	<1	<1	<1
b - HCH	<1	<1	<1	1,2	1,1	3,3	<1	<1	<1	<1
g - HCH	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
d - HCH	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
e - HCH	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Aldrin	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Dieldrin	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Endrin	<1	<1	<1	<1	<1	<1	3,1	1,8	<1	<1
Isodrin	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Telodrin	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1,3	<1	<1	<1
Heptachlor	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Cis-Heptachlorepoxyd	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Trans-Heptachlorepoxyd	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Mirex	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Trans-Chlordane	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Methoxychlor	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
A-Endosulfan	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1

Anlage 2.1.1: Zeitliche Entwicklung allgemeiner Meßgrößen und der Elemente im Rheinsediment an den Meßstellen Augst-Wyhlen, Birsfelden und Weil

Meßstelle Rhein-km		Augst-Wyhlen 155,2 r			Birsfelden 163 l		Weil 174 r	
		1988	1990	1995	1988	1995	1990	1995
Altersabschätzung								
Be-7	Bq/kg			32		96		124
Cs-137	Bq/kg			43		24		28
Pb-210	Bq/kg			58		50		55
Bi-214	Bq/kg			28		24		28
Ra-226	Bq/kg			32		27		27
Korngrößenverteilung								
Anteile								
	< 2 µm	%	5,8	3,8		7,7	5,3	7,2
	< 10 µm	%		19		20		29
	< 16 µm	%		27		25		37
	< 20 µm	%	94	55	41	37	49	39
	< 40 µm	%		78	68		67	63
	< 63 µm	%		87	77		79	79
	< 125 µm	%			92		94	
	< 200 µm	%			96		98	
	> 630 µm	%		1,2	0		0,5	1,3
Summenmeßgrößen								
TOC	%	2,27	2,79	2,7	1,31	2,4	2,38	2,4
EOX	mg/kg		0,32	0,3		0,3	0,21	< 0,1
Gesamt-KW	mg/kg			13		21		53
Nährstoffe								
Gesamt-N	g/kg		3,6	2,0		1,7	3,7	2,2
Nitrat-N	mg/kg			1,5		1,5		1,9
Nitrit-N	mg/kg			0,2		0,1		0,2
Ammonium-N	mg/kg		20	38		85	110	95
Gesamt-P	g/kg	0,68	1,02	0,85	0,99	0,71	1,17	0,73
Elemente (in der Fraktion < 20 µm)								
<u>Schwermetalle und Arsen</u>								
As	mg/kg	10,3	6,6	6,8	13	9,0	9,4	9,1
Cd	mg/kg	1,4	0,76	0,32	0,83	0,31	0,97	0,36
Cr	mg/kg	66	52	46	43	64	44	61
Cu	mg/kg	65	49	30	50	32	55	33
Fe	g/kg	20,6	21,6	19,2	16,8	22,0	23,6	25,2
Hg	mg/kg	2,0	0,86	0,26	1,4	0,20	0,37	0,22
Mn	mg/kg	420	440	410	450	560	560	630
Ni	mg/kg	47	39	32	32	38	43	37
Pb	mg/kg	73	52	26	46	26	51	32
Zn	mg/kg	300	202	110	280	88	206	113
<u>Weitere Elemente</u>								
Al	g/kg	38,7	44,4	40,8	51,5	47,0	45,5	48,6
Ba	mg/kg	164	175	225	144	244	208	262
Ca	g/kg	120	121	97	104	102	104	101
Co	mg/kg	8,0	8,9	8,2	8,0	12	12	10
K	g/kg			11,6		14,5		15,2
Mg	g/kg		15,1	16,5		15,3	14,2	16,0
Na	g/kg			5,92		4,07		4,01
Si	g/kg			190		184		188
Ti	g/kg	2,37	2,76	2,74	2,00	2,90	3,02	2,95
V	mg/kg			56		75		78

Anlage 2.1.2: Zeitliche Entwicklung aromatischer Halogenverbindungen im Rheinsediment an den Meßstellen Augst-Wyhlen, Birsfelden und Weil

Meßstelle	Rhein-km	Augst-Wyhlen 155,2 r			Birsfelden 163 l		Weil 174 r	
		1988	1990	1995	1988	1995	1990	1995
Organische Mikroverunreinigungen (in der Gesamtprobe = Fraktion < 2000 µm)								
Aromatische Halogenverbindungen								
Chlorbenzol	µg/kg			< 2,5		< 2,5		< 2,5
1,2 - Dichlorbenzol	µg/kg		< 1	< 1		2,0	< 1	7,0
1,3 - Dichlorbenzol	µg/kg		15	12		2,2	< 1	24
1,4 - Dichlorbenzol	µg/kg		< 1	17		6,5	< 1	50
1,2,3 - Trichlorbenzol	µg/kg			< 1		< 1		< 1
1,2,4 - Trichlorbenzol	µg/kg			1,8		< 1		4,0
1,3,5 - Trichlorbenzol	µg/kg			3,1		2,0		2,4
1,2,3,4 - Tetrachlorbenzol	µg/kg			< 1		< 1		2,2
1,2,3,5 - Tetrachlorbenzol	µg/kg			< 1		< 1		1,6
1,2,4,5 - Tetrachlorbenzol	µg/kg		5,0	3,0		1,7	< 1	1,9
Pentachlorbenzol	µg/kg	6,5	4,0	3,2	12	1,9	1,3	2,7
Hexachlorbenzol	µg/kg	20	34	60	950	9,4	16	92
2,4 - Dichlortoluol	µg/kg			< 1		< 1		2,7
Octachlorstyrol	µg/kg		9,7	< 1		< 1	1,5	< 1
Pentachloranisol	µg/kg		< 1	< 1		< 1	< 1	< 1
2-Chlornitrobenzol	µg/kg			< 1		< 1		< 1
3-Chlornitrobenzol	µg/kg			< 1		< 1		< 1
4-Chlornitrobenzol	µg/kg			< 1		< 1		< 1
2,3-Dichlornitrobenzol	µg/kg			< 1		< 1		< 1
2,4-Dichlornitrobenzol	µg/kg			< 1		< 1		< 1
2,5-Dichlornitrobenzol	µg/kg			< 1		< 1		< 1
3,4-Dichlornitrobenzol	µg/kg			< 1		< 1		< 1
Bromocyclen	µg/kg			< 1		< 1		< 1
Polychlorierte Biphenyle (PCB)								
PCB 28	µg/kg	16	4,3	1,9	52	1,1	1,5	< 1
PCB 52	µg/kg	12	3,3	2,2	35	1,3	1,9	2,0
PCB 101	µg/kg	12	4,2	2,7	17	1,4	2,9	1,9
PCB 118	µg/kg	9,2	5,7	2,0	12	< 1	4,0	1,4
PCB 138	µg/kg	19	6,3	3,9	17	2,2	4,5	2,5
PCB 153	µg/kg	18	7,9	4,4	16	2,1	6,8	2,8
PCB 180	µg/kg	8,0	4,7	2,2	7,9	1,1	3,9	1,3
PCB 149	µg/kg	11	8,3	3,0	11,0	1,0	2,8	2,0
PCB 156	µg/kg			< 1		< 1		< 1
PCB 170	µg/kg	4,0	2,6	1,5	5,0	< 1	< 1	1,1
PCB 194	µg/kg	1,0	2,1	< 1	1,0	< 1	< 1	< 1
PCB 209	µg/kg			2,0		< 1		2,0
Tetrachlorbenzyltoluole (TCBT)								
TCBT 21	µg/kg			< 1		1,8		1,3
TCBT 27	µg/kg			< 1		1,3		1,0
TCBT 28	µg/kg			< 1		1,3		< 1
TCBT 52	µg/kg			< 1		< 1		1,1
TCBT 74	µg/kg			< 1		1,7		1,4
TCBT 80	µg/kg			< 1		1,3		< 1

Anlage 2.1.4: Zeitliche Entwicklung polycyclischer aromatischer Kohlenwasserstoffe und organische Zinnverbindungen 1995 im Rheinsediment an den Meßstellen Augst-Wyhlen, Birsfelden und Weil

Meßstelle Rhein-km		Augst-Wyhlen 155,2 r			Birsfelden 163 l		Weil 174 r	
		1988	1990	1995	1988	1995	1990	1995
Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)								
Fluoranthren	mg/kg	1,03	0,56	0,43	1,45	0,39	0,53	0,34
Benzo(b)fluoranthren	mg/kg	0,76	0,42	0,27	0,54	0,22	0,29	0,19
Benzo(k)fluoranthren	mg/kg	0,30	0,16	0,13	0,24	0,12	0,17	0,10
Naphthalin	mg/kg			0,05		< 0,05		< 0,05
Benzo(ghi)perylene	mg/kg	0,38	0,25	0,22	0,28	0,19	0,25	0,19
Pyren	mg/kg	0,84	0,36	0,27	1,1	0,27	0,39	0,23
Benzo(a)pyren	mg/kg	0,46	0,27	0,23	0,34	0,21	0,23	0,16
Chrysen	mg/kg		0,36	0,19		0,28	0,47	0,22
Dibenz(ah)anthracen	mg/kg	0,60	< 0,1	< 0,05	0,50	< 0,05	< 0,1	< 0,05
Indeno(1,2,3-cd)pyren	mg/kg	0,38	0,31	0,17	0,30	0,12	0,24	0,14
Anthracen	mg/kg	0,07	< 0,1	< 0,05	0,14	< 0,05	< 0,1	< 0,05
Benzo(a)anthracen	mg/kg	0,75	0,18	0,21	0,77	0,22	0,22	0,14
Phenanthren	mg/kg			0,19		0,21		0,19
Fluoren	mg/kg			< 0,05		< 0,05		< 0,05
Acenaphthen	mg/kg			< 0,05		< 0,05		< 0,05
Benzo(e)pyren	mg/kg		0,13	< 0,05		< 0,05	0,11	< 0,05
Summe PAK Borneff	mg/kg	3,31	1,97	1,45	3,15	1,25	1,71	1,12
Summe PAK EPA-1	mg/kg			2,56		2,48		2,15
Organische Zinnverbindungen								
Monobutylzinn-Kation	µg/kg			< 2		< 2		< 2
Monobutylzinn*	µg/kg			< 1,4		< 1,4		< 1,4
Dibutylzinn-Kation	µg/kg			< 2		< 2		< 2
Dibutylzinn*	µg/kg			< 1		< 1		< 1
Tributylzinn-Kation	µg/kg			18		9,8		20
Tributylzinn*	µg/kg			7,4		4,0		8,2
Tetrabutylzinn	µg/kg			< 2		< 2		< 2
Tetrabutylzinn*	µg/kg			< 0,7		< 0,7		< 0,7
Monooctylzinn-Kation	µg/kg			< 2		< 2		< 2
Monooctylzinn*	µg/kg			< 1		< 1		< 1
Diocetylzinn-Kation	µg/kg			< 2		< 2		< 2
Diocetylzinn*	µg/kg			< 0,7		< 0,7		< 0,7
Triphenylzinn-Kation	µg/kg			5,1		8,5		14
Triphenylzinn*	µg/kg			1,7		2,9		4,7
Tricyclohexylzinn-Kation	µg/kg			< 2		< 2		< 2
Tricyclohexylzinn*	µg/kg			< 0,6		< 0,6		< 0,6

* bezogen auf Zinn

Anlage 2.1.3: Zeitliche Entwicklung der "Dioxine" im Rheinsediment an den Meßstellen Augst-Wyhlen, Birsfelden und Weil

Meßstelle Rhein-km		Augst-Wyhlen 155,2 r			Birsfelden 163 l		Weil 174 r	
		1988	1990	1995	1988	1995	1990	1995
<u>Polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD/F)</u>								
2,3,7,8-TCDD	ng/kg	< 1	< 0,5		< 5	< 1	1,8	
1,2,3,7,8-PeCDD	ng/kg	9	1,2		< 13	6	20	
1,2,3,4,7,8-HxCDD	ng/kg	5	2,5		< 17	8	11	
1,2,3,6,7,8-HxCDD	ng/kg	14	3,9		< 17	21	18	
1,2,3,7,8,9-HxCDD	ng/kg	12	2,5		< 17	14	11	
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	ng/kg	270	75		20	270	96	
OctaCDD	ng/kg	12000	2900		160	2200	1700	
2,3,7,8-TCDF	ng/kg	14	3,4		< 3	4	4,7	
1,2,3,7,8-PeCDF	ng/kg	21	4,0		< 7	8	3,6	
2,3,4,7,8-PeCDF	ng/kg	9	3,8		< 6	14	9,3	
1,2,3,4,7,8-HxCDF	ng/kg	51	15		< 8	17	19	
1,2,3,6,7,8-HxCDF	ng/kg	14	3,1		< 8	9	2,6	
1,2,3,7,8,9-HxCDF	ng/kg	1	0,4		< 8	< 1	< 3	
2,3,4,6,7,8-HxCDF	ng/kg	9	1,5		< 8	12	2,5	
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	ng/kg	170	26		< 15	66	26	
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	ng/kg	17	4,1		< 15	7	4,4	
OctaCDF	ng/kg	1800	330		18	310	260	
ITEQ	ng/kg	41	11		< 14	25	27	

Anlage 2.1.5: Zeitliche Entwicklung der Organochlorpestizide im Rheinsediment an den Meßstellen Augst-Wyhlen, Birsfelden und Weil

Meßstelle Rhein-km		Augst-Wyhlen 155,2 r			Birsfelden 163 l		Weil 174 r	
		1988	1990	1995	1988	1995	1990	1995
Organochlorpestizide								
	µg/kg							
o,p - DDE	µg/kg		1,5	<1	9,0	<1	<1	<1
p,p - DDE	µg/kg	5,2	2,2	<1	4,9	<1	1,6	<1
o,p - DDD	µg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
p,p - DDD	µg/kg	3,5	<1	<1	4,8	<1	<1	<1
o,p - DDT	µg/kg	1,0	<1	<1	<1	<1	<1	<1
p,p - DDT	µg/kg	1,0	1,4	<1	<4	<1	1,1	<1
a - HCH	µg/kg	<1	<1	<1	<1	<1/	<1	<1
b - HCH	µg/kg	1,4	<1	<1	<1	<1	<1	<1
g - HCH	µg/kg	<1		<1	<1	<1		<1
d - HCH	µg/kg			<1		<1		<1
e - HCH	µg/kg			<1		<1		<1
Aldrin	µg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Dieldrin	µg/kg	1,0	1,5	<1	<1	<1	<1	<1
Endrin	µg/kg	<1	1,6	<1	<1	<1	1,4	<1
Isodrin	µg/kg		<1	<1		<1	<1	<1
Telodrin	µg/kg			<1		<1		<1
Heptachlor	µg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Cis-Heptachlorepoxyd	µg/kg			<1		<1		<1
Trans-Heptachlorepoxyd	µg/kg			<1		<1		<1
Mirex	µg/kg			<1		<1		<1
Trans-Chlordane	µg/kg			<1		<1		<1
Methoxychlor	µg/kg			<1		<1		<1
α-Endosulfan	µg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1

Anlage 2.2.1: Zeitliche Entwicklung allgemeiner Meßgrößen und der Elemente im Rheinsediment an den Meßstellen Iffezheim, Koblenz und Lohrwardt

Meßstelle Rhein-km		Iffezheim 334			Koblenz 590 I			Lohrwardt 830,0 r		
		1988	1990	1995	1988	1990	1995	1988	1990	1995
Altersabschätzung										
Be-7	Bq/kg			72			37		12	56
Cs-137	Bq/kg			31			25		59	18
Pb-210	Bq/kg			54			52		25	55
Bi-214	Bq/kg			28						40
Ra-226	Bq/kg			30			36		43	40
Korngrößenverteilung										
Anteile										
< 2 µm	%		5,2	6,7		8,0	6,8		11	5,0
< 10 µm	%			24			24			22
< 16 µm	%			29			31			29
< 20 µm	%	53	32	51	60	52	49	64	61	39
< 40 µm	%		50	60		69	64		74	50
< 63 µm	%		65	74		79	77		82	60
< 125 µm	%			88			93			77
< 200 µm	%			94			99			89
> 630 µm	%		13	5,2		4,8	0		5,3	8,5
Summenmeßgrößen										
TOC	%	2,0	5,1	2,7	2,9	2,62	2,7	3,68	3,20	3,2
EOX	mg/kg		1,5	0,8		0,88	0,7		0,93	0,6
Gesamt-KW	mg/kg			160			130			120
Nährstoffe										
Gesamt-N	g/kg		5,0	2,1		4,75	2,6		5,57	2,7
Nitrat-N	mg/kg			2,5			2,5			2,1
Nitrit-N	mg/kg			0,3			0,2			0,2
Ammonium-N	mg/kg			120			160			150
Gesamt-P	g/kg	0,95	1,23	0,90	1,54	1,52	1,27	1,98	2,89	1,37
Elemente (In der Fraktion < 20 µm)										
Schwermetalle und Arsen										
As	mg/kg	17	16	15	16	15	15	19	21	18
Cd	mg/kg	0,88	1,0	0,46	1,1	1,7	0,58	2,4	4,8	1,0
Cr	mg/kg	70	56	73	83	71	75	104	116	97
Cu	mg/kg	74	66	47	76	79	56	93	122	65
Fe	g/kg	24,8	22,7	22,9	31,1	27,6	26,8	32,5	35,0	29,9
Hg	mg/kg	0,55	0,48	0,36	0,78	0,69	0,42	1,1	1,5	0,70
Mn	mg/kg	480	490	520	850	730	630	1120	1130	970
Ni	mg/kg	59	54	41	61	54	41	60	65	47
Pb	mg/kg	66	59	37	81	79	51	150	203	91
Zn	mg/kg	214	205	138	324	328	231	619	846	396
Weitere Elemente										
Al	g/kg	44,3	48,4	50,0	52,6	56,9	57,5	49,0	75,9	56,3
Ba	mg/kg	272	398	279	337	349	436	571	1290	784
Ca	g/kg	89	90	105	56	74	72	68	61	63
Co	mg/kg	11	12	12	16	16	14	19	22	16
K	g/kg			25,1			22,7			21,8
Mg	g/kg		15,1	17,5		12,6	12,9		9,0	10,2
Na	g/kg			3,66			4,73			4,36
Si	g/kg			176			214			214
Ti	g/kg	2,95	3,32	3,12	4,11	3,96	4,14	4,17	5,24	4,16
V	mg/kg			84			81			92

Anlage 2.2.2: Zeitliche Entwicklung aromatischer Halogenverbindungen im Rheinsediment an den Meßstellen Iffezheim, Koblenz und Lohrwardt

Meßstelle Rhein-km		Iffezheim 334			Koblenz 590 I			Lohrwardt 830,0 r		
		1988	1990	1995	1988	1990	1995	1988	1990	1995
Organische Mikroverunreinigungen (in der Gesamtprobe = Fraktion < 2000 µm)										
<u>Aromatische Halogenverbindungen</u>										
Chlorbenzol	µg/kg									
1,2 - Dichlorbenzol	µg/kg		7,0	21	< 1	26		8,0	28	
1,3 - Dichlorbenzol	µg/kg		55	30	< 1	15		18	8	
1,4 - Dichlorbenzol	µg/kg		33	39	< 1	28		35	23	
1,2,3 - Trichlorbenzol	µg/kg			1,0		2,1			1,5	
1,2,4 - Trichlorbenzol	µg/kg			11		16			15	
1,3,5 - Trichlorbenzol	µg/kg			11		6,1			6,0	
1,2,3,4 - Tetrachlorbenzol	µg/kg			2,5		2,8			1,0	
1,2,3,5 - Tetrachlorbenzol	µg/kg			2,5		1,7			< 1	
1,2,4,5 - Tetrachlorbenzol	µg/kg		10	6,0	< 1	3,6		5,0	5,2	
Pentachlorbenzol	µg/kg	14	8,1	5,6	3,8	1,6	3,1	11	5,4	4,7
Hexachlorbenzol	µg/kg	790	940	310	190	150	54	68	53	87
2,4 - Dichlortoluol	µg/kg			< 1		4,6			1,8	
Octachlorstyrol	µg/kg		4,2	1,7		1,5		4,2	2,4	
Pentachloranisol	µg/kg		< 1	< 1		< 1		< 1	< 1	
2-Chlornitrobenzol	µg/kg			< 1		< 1			< 1	
3-Chlornitrobenzol	µg/kg			< 1		< 1			< 1	
4-Chlornitrobenzol	µg/kg			< 1		< 1			< 1	
2,3-Dichlornitrobenzol	µg/kg			< 1		< 1			< 1	
2,4-Dichlornitrobenzol	µg/kg			< 1		< 1			< 1	
2,5-Dichlornitrobenzol	µg/kg			< 1		< 1			< 1	
3,4-Dichlornitrobenzol	µg/kg			< 1		< 1			< 1	
Bromocyclen	µg/kg			< 1		< 1			< 1	
<u>Polychlorierte Biphenyle (PCB)</u>										
PCB 28	µg/kg	3,7	4,7	2,4	5,4	4,2	3,2	16	17	4,8
PCB 52	µg/kg	5,4	5,7	3,8	8,5	4,7	4,1	15	13	7,1
PCB 101	µg/kg	6,1	6,8	4,5	6,8	5,2	5,0	12	12	11
PCB 118	µg/kg	4,0	8,5	3,0	5,7	11,0	2,8	13	15	5,9
PCB 138	µg/kg	11	12	6,2	13	14	8,1	22	16	17
PCB 153	µg/kg	13	14	7,0	12	12	9,0	18	20	18
PCB 180	µg/kg	8,8	8,7	4,2	8,9	10	4,9	14	14	9,2
PCB 149	µg/kg	7,0	6,4	4,0	10	8,2	8,0	15	14	11
PCB 156	µg/kg			< 1		1,1				1,3
PCB 170	µg/kg	3,0	5,1	2,5	5,0	7,2	5,2	8,0	5,8	7,5
PCB 194	µg/kg	1,0	3,5	< 1	1,0	2,7	< 1	3,0	3,2	2,3
PCB 209	µg/kg			15		< 1				1,0
<u>Tetrachlorbenzyltoluole (TCBT)</u>										
TCBT 21	µg/kg			1,9		1,7				2,3
TCBT 27	µg/kg			1,5		1,7				< 1
TCBT 28	µg/kg			1,9		1,7				< 1
TCBT 52	µg/kg			1,1		1,0				1,9
TCBT 74	µg/kg			2,5		1,8				< 1
TCBT 80	µg/kg			1,7		1,5				1,1

Anlage 2.2.3: Zeitliche Entwicklung der "Dioxine" im Rheinsediment an den Meßstellen Iffezheim, Koblenz und Lohrwardt

Meßstelle Rhein-km		Iffezheim 334			Koblenz 590 l			Lohrwardt 830,0 r		
		1988	1990	1995	1988	1990	1995	1988	1990	1995
<u>Polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD/F)</u>										
2,3,7,8-TCDD	ng/kg		2	< 3		1	2,1		5	4,1
1,2,3,7,8-PeCDD	ng/kg		8	14		3	7,3		5	6,2
1,2,3,4,7,8-HxCDD	ng/kg		6	4,0		2	5,7		<1	2,8
1,2,3,6,7,8-HxCDD	ng/kg		17	7,8		7	16		8	7,7
1,2,3,7,8,9-HxCDD	ng/kg		11	5,0		4	6,9		4	4,7
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	ng/kg		250	120		120	150		130	97
OctaCDD	ng/kg		8000	2000		2000	1600		2200	1100
2,3,7,8-TCDF	ng/kg		12	8,2		11	7,1		16	20
1,2,3,7,8-PeCDF	ng/kg		<1	9,5		<1	10		<1	41
2,3,4,7,8-PeCDF	ng/kg		9	8,3		7	13		15	38
1,2,3,4,7,8-HxCDF	ng/kg		34	15		60	29		54	110
1,2,3,6,7,8-HxCDF	ng/kg		10	4,7		11	17		16	25
1,2,3,7,8,9-HxCDF	ng/kg		<1	< 2		<1	< 3		<1	1,6
2,3,4,6,7,8-HxCDF	ng/kg		7	2,8		3	8,0		8	6,3
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	ng/kg		100	38		63	83		180	97
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	ng/kg		12	2,8		13	8,6		21	20
OctaCDF	ng/kg		1400	370		330	280		1900	500
ITEQ	ng/kg		33	23		20	26		32	50

Anlage 2.2.4: Zeitliche Entwicklung polycyclischer aromatischer Kohlenwasserstoffe und organische Zinnverbindungen 1995 im Rheinsediment an den Meßstellen Iffezheim, Koblenz und Lohrwardt

Meßstelle Rhein-km		Iffezheim			Koblenz			Lohrwardt		
		334			590 l			830,0 r		
Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)										
Fluoranthren	mg/kg	0,71	1,43	0,51	1,30	0,98	0,70	1,58	1,67	1,70
Benzo(b)fluoranthren	mg/kg	0,35	0,80	0,29	0,53	0,55	0,39	0,69	0,80	0,99
Benzo(k)fluoranthren	mg/kg	0,17	0,33	0,14	0,26	0,24	0,20	0,32	0,35	0,49
Naphthalin	mg/kg			0,07			0,10			0,28
Benzo(ghi)perylen	mg/kg	0,19	0,50	0,25	0,36	0,38	0,32	0,38	0,55	0,76
Pyren	mg/kg	0,58	0,89	0,47	1,2	0,83	0,59	0,98	1,0	1,25
Benzo(a)pyren	mg/kg	0,28	0,61	0,26	0,45	0,45	0,35	0,55	0,66	0,88
Chrysen	mg/kg		0,92	0,29		1,0	0,33		0,94	0,67
Dibenz(ah)anthracen	mg/kg	< 0,5	< 0,1	< 0,05	0,60	< 0,1	< 0,05	0,63	0,13	0,08
Indeno(1,2,3-cd)pyren	mg/kg	0,22	0,55	0,19	0,33	0,44	0,37	0,43	0,67	0,64
Anthracen	mg/kg	0,07	0,11	0,08	0,15	< 0,1	0,09	0,20	0,18	0,28
Benzo(a)anthracen	mg/kg	0,42	0,52	0,23	0,86	0,50	0,30	0,81	0,57	1,01
Phenanthren	mg/kg			0,24			0,31			0,92
Fluoren	mg/kg			0,09			0,13			0,28
Acenaphthen	mg/kg			< 0,05			< 0,05			0,13
Benzo(e)pyren	mg/kg		0,18	< 0,05		0,25	< 0,05		0,23	< 0,05
Summe PAK Borneff	mg/kg	1,92	4,22	1,64	3,23	3,06	2,33	3,95	4,70	5,46
Summe PAK EPA-1	mg/kg			3,21			4,28			10,4
Organische Zinnverbindungen										
Monobutylzinn-Kation	µg/kg			< 2			< 2			< 2
Monobutylzinn*	µg/kg			< 1,4			< 1,4			< 1,4
Dibutylzinn-Kation	µg/kg			< 2			< 2			12
Dibutylzinn*	µg/kg			< 1			< 1			6,1
Tributylzinn-Kation	µg/kg			36			100			21
Tributylzinn*	µg/kg			15			41			8,6
Tetrabutylzinn	µg/kg			< 2			< 2			< 2
Tetrabutylzinn*	µg/kg			< 0,7			< 0,7			< 0,7
Monooctylzinn-Kation	µg/kg			< 2			< 2			< 2
Monooctylzinn*	µg/kg			< 1			< 1			< 1
Dioctylzinn-Kation	µg/kg			10			8,9			3,2
Dioctylzinn*	µg/kg			3,4			3,1			1,1
Triphenylzinn-Kation	µg/kg			8,3			9,4			< 2
Triphenylzinn*	µg/kg			2,8			3,2			< 0,6
Tricyclohexylzinn-Kation	µg/kg			< 2			< 2			< 2
Tricyclohexylzinn*	µg/kg			< 0,6			< 0,6			< 0,6

* bezogen auf Zinn

Anlage 2.2.5: Zeitliche Entwicklung der Organochlorpestizide im Rheinsediment an den Meßstellen Iffezheim, Koblenz und Lohrwardt

Meßstelle Rhein-km		Iffezheim 334			Koblenz 590 l			Lohrwardt 830,0 r		
		1988	1990	1995	1988	1990	1995	1988	1990	1995
Organochlorpestizide										
	µg/kg		1,5	<1	1,0	<1	<1	1,0	5,0	1,6
o,p - DDE	µg/kg	4,8	6,1	2,0	4,1	3,5	4,2	3,7	6,3	4,1
p,p - DDE	µg/kg	<1	15	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
o,p - DDD	µg/kg	3,3	7,4	3,6	2,8	3,2	2,9	1,5	4,9	2,4
p,p - DDD	µg/kg	<1	11	<1	<1	1,7	<1	1,0	3,7	<1
o,p - DDT	µg/kg	<1	17	1,8	<1	3,2	5,4	3,3	3,8	4,4
p,p - DDT										
a - HCH	µg/kg	<1		<1	<1		<1	<1	<1	<1
b - HCH	µg/kg	7,1		1,2	3,0	<1	1,1	5,3	<1	3,3
g - HCH	µg/kg	2,3		<1	<1		<1	<1		<1
d - HCH	µg/kg			<1			<1			<1
e - HCH	µg/kg			<1			<1			<1
Aldrin	µg/kg	<1	<1	<1	<1		<1	<1	<1	<1
Dieldrin	µg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	3,0	1,3	<1
Endrin	µg/kg	<1	1,1	<1	<1	<1	<1	<1	2,5	<1
Isodrin	µg/kg		<1	<1		<1	<1		<1	<1
Telodrin	µg/kg			<1			<1			<1
Heptachlor	µg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Cis-Heptachlorepoxyd	µg/kg			<1			<1			<1
Trans-Heptachlorepoxyd	µg/kg			<1			<1			<1
Mirex	µg/kg			<1			<1			<1
Trans-Chlordane	µg/kg			<1			<1			<1
Methoxychlor	µg/kg			<1			<1			<1
α-Endosulfan	µg/kg	<1	<1	<1	1,8	1,0	<1	1,3	<1	<1

Anlage 2.3.1: Zeitliche Entwicklung allgemeiner Meßgrößen und der Elemente im Rheinsediment an den Meßstellen Lobith und Keeken-Bimmen und Ergebnisse 1995 im Rheindelta

Meßstelle Rhein-km		Lobith 863,0 r			Keeken-Bimmen 863,8 l			Haringvliet sluis 1025	Ketelmeer 1010
		1988	1990	1995	1988	1990	1995	1995	1995
Altersabschätzung									
Be-7	Bq/kg			14		12	22	6	8
Cs-137	Bq/kg			27		21	22	54	5
Pb-210	Bq/kg			64		18	54	81	42
Bi-214	Bq/kg			44			35	38	27
Ra-226	Bq/kg			40		22	37	37	28
Korngrößenverteilung									
Anteile									
< 2 µm	%		8,2	5,7		8,9	4,9	7,7	2,3
< 10 µm	%			24			25	32	11
< 16 µm	%			31			34	43	15
< 20 µm	%	53	49	50	59	62	40	72	19
< 40 µm	%		72	68		79	55	89	39
< 63 µm	%		82	78		86	63	95	57
< 125 µm	%			88			72	98	78
< 200 µm	%			95			76	100	82
> 630 µm	%		7,6	5,0		4,1	23	0	12
Summenmeßgrößen									
TOC	%	4,24	3,24	4,3	3,15	2,05	3,3	3,3	1,8
EOX	mg/kg		0,20	0,6		0,6	0,4	0,7	0,2
Gesamt-KW	mg/kg			130			110	51	76
Nährstoffe									
Gesamt-N	g/kg		5,39	2,6		2,5	2,9	3,5	1,2
Nitrat-N	mg/kg			2,2			2,3	2,6	1,7
Nitrit-N	mg/kg			0,2			0,2	0,1	0,2
Ammonium-N	mg/kg		140	150			99	240	89
Gesamt-P	g/kg	2,79	2,73	2,46	1,74	1,41	1,39	2,19	0,78
Elemente (in der Fraktion < 20 µm)									
Schwermetalle und Arsen									
As	mg/kg	39	19	30	23	20	27	25	10
Cd	mg/kg	12,7	5,4	5,3	2,7	3,1	2,2	5,1	0,48
Cr	mg/kg	242	120	157	117	93	102	119	57
Cu	mg/kg	189	110	113	89	91	78	84	13
Fe	g/kg	37,8	36,6	31,7	35,7	31,8	29,8	36,0	21,4
Hg	mg/kg	4,8	1,5	2,0	1,2	1,1	1,0	1,4	0,16
Mn	mg/kg	920	890	860	1040	1110	960	940	527
Ni	mg/kg	68	68	49	65	58	46	51	16
Pb	mg/kg	320	183	163	163	142	139	161	24
Zn	mg/kg	1200	763	685	615	615	489	685	116
Weitere Elemente									
Al	g/kg	54,6	70,5	61,1	51,0	55,4	58,4	61,4	38,1
Ba	mg/kg	1060	846	1130	490	518	583	644	263
Ca	g/kg	47	51	60	52	71	67	57	27
Co	mg/kg	21	21	18	19	19	16	17	4,5
K	g/kg			21,9			21,2	21,3	12,8
Mg	g/kg			10,6			10,5	10,7	5,9
Na	g/kg			4,54			4,48	5,06	7,91
Si	g/kg			214			212	200	233
Ti	g/kg	4,75	5,35	4,48	4,37	4,23	4,02	4,16	5,17
V	mg/kg			98			92	112	47

Anlage 2.3.2: Zeitliche Entwicklung aromatischer Halogenverbindungen im Rheinsediment an den Meßstellen Lobith und Keeken-Bimmen und Ergebnisse 1995 im Rheindelta

Meßstelle Rhein-km		Lobith 863,0 r			Keeken-Bimmen 863,8 l			Haringvliet sluis 1025	Ketelmeer 1010
		1988	1990	1995	1988	1990	1995	1995	1995
Organische Mikroverunreinigungen (in der Gesamtprobe = Fraktion < 2000 µm)									
<u>Aromatische Halogenverbindungen</u>									
Chlorbenzol	µg/kg								
1,2 - Dichlorbenzol	µg/kg		9,0	220		4,0	17	71	5,2
1,3 - Dichlorbenzol	µg/kg		37	120		5,0	12	37	3,8
1,4 - Dichlorbenzol	µg/kg		41	150		12	28	99	11
1,2,3 - Trichlorbenzol	µg/kg			4,8		1,2	3,0	<1	
1,2,4 - Trichlorbenzol	µg/kg			80		22	53	3,2	
1,3,5 - Trichlorbenzol	µg/kg			44		11	29	1,9	
1,2,3,4 - Tetrachlorbenzol	µg/kg			2,4		2,2	4,2	<1	
1,2,3,5 - Tetrachlorbenzol	µg/kg			1,7		<1	2,1	<1	
1,2,4,5 - Tetrachlorbenzol	µg/kg		8,0	16		2,0	7,4	8,9	1,3
Pentachlorbenzol	µg/kg	14	7,4	7,0	5,5	2,7	4,8	7,4	<1
Hexachlorbenzol	µg/kg	60	18	42	62	20	21	8,6	1,1
2,4 - Dichlortoluol	µg/kg			15			3,4	12	<1
Octachlorstyrol	µg/kg		<1	2,6		<1	1,6	1,8	<1
Pentachloranisol	µg/kg		<1	<1		<1	<1	<1	<1
2-Chlornitrobenzol	µg/kg			<1		<1	<1	<1	<1
3-Chlornitrobenzol	µg/kg			<1		<1	<1	<1	<1
4-Chlornitrobenzol	µg/kg			<1		<1	<1	<1	<1
2,3-Dichlornitrobenzol	µg/kg			<1		<1	<1	<1	<1
2,4-Dichlornitrobenzol	µg/kg			<1		<1	<1	<1	<1
2,5-Dichlornitrobenzol	µg/kg			<1		<1	<1	<1	<1
3,4-Dichlornitrobenzol	µg/kg			<1		<1	<1	<1	<1
Bromocyclen	µg/kg			<1		<1	<1	<1	<1
<u>Polychlorierte Biphenyle (PCB)</u>									
PCB 28	µg/kg	68	25	38	9,4	5,1	4,9	14	1,9
PCB 52	µg/kg	61	19	21	14	4,2	5,6	19	1,5
PCB 101	µg/kg	70	19	27	14	5,8	7,7	15	1,8
PCB 118	µg/kg	54	22	19	13	7,3	5,2	9,6	1,0
PCB 138	µg/kg	44	19	26	18	8,1	10	18	2,0
PCB 153	µg/kg	61	22	33	15	9,0	12	25	2,6
PCB 180	µg/kg	32	12	12	13	6,0	6,3	11	<1
PCB 149	µg/kg	33	12	30	14	5,7	11	18	2,0
PCB 156	µg/kg			1,5			1,1	1,6	<1
PCB 170	µg/kg	14	8,4	10	7,0	3,6	4,8	8,3	<1
PCB 194	µg/kg	4,0	4,3	3,5	2,0	2,7	1,4	3,6	<1
PCB 209	µg/kg			9,0			2,0	3,0	<1
<u>Tetrachlorbenzyltoluole (TCBT)</u>									
TCBT 21	µg/kg			4,5			1,8	5,0	<1
TCBT 27	µg/kg			4,8			2,2	5,2	<1
TCBT 28	µg/kg			3,2			<1	2,0	<1
TCBT 52	µg/kg			1,6			<1	1,4	<1
TCBT 74	µg/kg			3,1			1,1	2,6	<1
TCBT 80	µg/kg			2,8			1,3	3,8	<1

Anlage 2.3.3: Zeitliche Entwicklung der "Dioxine" im Rheinsediment an den Meßstellen Lobith und Keeken-Bimmen und Ergebnisse 1995 im Rheindelta

Meßstelle Rhein-km		Lobith 863,0 r			Keeken-Bimmen 863,8 l			Haringvliet sluis 1025	Ketelmeer 1010
		1988	1990	1995	1988	1990	1995	1995	1995
<u>Polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD/F)</u>									
2,3,7,8-TCDD	ng/kg		9	24		3	4,6	13	< 3
1,2,3,7,8-PeCDD	ng/kg		8	9,0		2	5,3	8,9	< 4
1,2,3,4,7,8-HxCDD	ng/kg		7	4,6		< 1	< 3	3,6	< 6
1,2,3,6,7,8-HxCDD	ng/kg		13	15		5	9,3	13	< 6
1,2,3,7,8,9-HxCDD	ng/kg		10	7,8		2	5,4	7,4	< 6
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	ng/kg		210	190		61	110	210	35
OctaCDD	ng/kg		2700	1600		790	890	1400	330
2,3,7,8-TCDF	ng/kg		25	24		8	27	24	2,8
1,2,3,7,8-PeCDF	ng/kg		28	28		4	55	25	5,0
2,3,4,7,8-PeCDF	ng/kg		50	29		6	30	30	4,7
1,2,3,4,7,8-HxCDF	ng/kg		110	77		25	220	66	7,6
1,2,3,6,7,8-HxCDF	ng/kg		56	33		8	45	23	4,5
1,2,3,7,8,9-HxCDF	ng/kg		< 1	2,2		< 1	2,4	< 1	< 2
2,3,4,6,7,8-HxCDF	ng/kg		36	16		4	8,8	14	3,0
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	ng/kg		480	370		68	230	310	33
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	ng/kg		41	40		6	40	27	< 7
OctaCDF	ng/kg		1800	2100		720	1100	1400	160
ITEQ	ng/kg		77	73		15	63	57	< 13

Anlage 2.3.4: Zeitliche Entwicklung polycyclischer aromatischer Kohlenwasserstoffe und organische Zinnverbindungen 1995 im Rheinsediment an den Meßstellen Lobith und Keeken-Bimmen und Ergebnisse 1995 im Rheindelta

Meßstelle Rhein-km		Lobith 863,0 r			Keeken-Bimmen 863,8 l			Haringvliet sluis 1025	Ketelmeer 1010
		1988	1990	1995	1988	1990	1995	1995	1995
Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)									
Fluoranthren	mg/kg	3,05	1,83	2,9	1,65	0,86	1,6	0,79	0,10
Benzo(b)fluoranthren	mg/kg	1,27	1,03	1,6	0,80	0,38	0,91	0,70	0,07
Benzo(k)fluoranthren	mg/kg	0,54	0,46	0,75	0,35	0,20	0,45	0,29	0,02
Naphthalin	mg/kg			0,93			0,63	0,63	0,06
Benzo(ghi)perylene	mg/kg	0,71	0,70	1,2	0,44	0,31	0,79	0,46	0,04
Pyren	mg/kg	1,8	1,1	2,1	2,1	0,63	1,2	0,66	0,07
Benzo(a)pyren	mg/kg	0,97	0,77	1,6	0,63	0,31	0,76	0,46	0,04
Chrysen	mg/kg		1,0	1,1		0,54	0,64	0,34	< 0,05
Dibenz(ah)anthracen	mg/kg	1,2	< 0,1	0,15	0,71	< 0,1	0,09	0,05	< 0,05
Indeno(1,2,3-cd)pyren	mg/kg	0,86	0,86	0,89	0,58	0,32	0,68	0,56	0,04
Anthracen	mg/kg	0,66	< 0,1	0,55	0,21	< 0,1	0,34	0,24	< 0,05
Benzo(a)anthracen	mg/kg	1,5	0,63	1,3	0,95	0,31	0,86	0,40	0,04
Phenanthren	mg/kg			1,4			0,91	0,44	0,09
Fluoren	mg/kg			0,66			0,30	0,20	< 0,05
Acenaphthen	mg/kg			0,24			0,11	0,08	< 0,05
Benzo(e)pyren	mg/kg		0,27	< 0,05		0,14	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Summe PAK Borneff	mg/kg	7,40	5,65	8,94	4,45	2,38	5,19	3,26	0,31
Summe PAK EPA-1	mg/kg			17,3			10,3	6,30	0,87
Organische Zinnverbindungen									
Monobutylzinn-Kation	µg/kg			< 2			< 2	< 2	< 2
Monobutylzinn*	µg/kg			< 1,4			< 1,4	< 1,4	< 1,4
Dibutylzinn-Kation	µg/kg			13			13	5,5	< 2
Dibutylzinn*	µg/kg			6,6			6,6	2,8	< 1
Tributylzinn-Kation	µg/kg			31			21	166	15
Tributylzinn*	µg/kg			13			8,6	68	6,1
Tetrabutylzinn	µg/kg			<			< 2	< 2	< 2
Tetrabutylzinn*	µg/kg			< 0,7			< 0,7	< 0,7	< 0,7
Monooctylzinn-Kation	µg/kg			< 2			< 2	< 2	< 2
Monooctylzinn*	µg/kg			< 1			< 1	< 1	< 1
Diocetylzinn-Kation	µg/kg			9,5			6,7	17	< 2
Diocetylzinn*	µg/kg			3,3			2,3	5,8	< 0,7
Triphenylzinn-Kation	µg/kg			< 2			< 2	53	10
Triphenylzinn*	µg/kg			< 0,6			< 0,6	18	3,4
Tricyclohexylzinn-Kation	µg/kg			< 2			< 2	< 2	< 2
Tricyclohexylzinn*	µg/kg			< 0,6			< 0,6	< 0,6	< 0,6

* bezogen auf Zinn

Anlage 2.3.5: Zeitliche Entwicklung der Organochlorpestizide im Rheinsediment an den Meßstellen Lobith und Keeken-Bimmen und Ergebnisse 1995 im Rheindelta

Meßstelle Rhein-km		Lobith 863,0 r			Keeken-Bimmen 863,8 l			Haringvliet sluis 1025	Ketelmeer 1010
		1988	1990	1995	1988	1990	1995	1995	1995
<u>Organochlorpestizide</u>									
o,p- DDE	µg/kg	3,0	< 1	< 1	< 1	< 1	3,2	< 1	< 1
p,p- DDE	µg/kg	8,9	6,7	5,3	3,4	3,3	3,9	3,0	< 1
o,p- DDD	µg/kg	2,0	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
p,p- DDD	µg/kg	6,9	3,3	3,9	2,3	2,5	3,5	5,0	< 1
o,p- DDT	µg/kg	1,0	< 1	< 1	1,0	2,6	< 1	< 1	< 1
p,p- DDT	µg/kg	< 1	3,4	8,1	< 1	1,4	4,8	5,7	< 1
a- HCH	µg/kg	< 1	2,1	2,0	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
b- HCH	µg/kg	3,3		< 1	3,3		< 1	< 1	< 1
g- HCH	µg/kg	3,8	< 1	< 1	1,8	< 1	< 1	< 1	< 1
d- HCH	µg/kg			< 1			< 1	< 1	< 1
e- HCH	µg/kg			< 1			< 1	< 1	< 1
Aldrin	µg/kg	1,5	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Dieldrin	µg/kg	< 1	1,1	< 1	2,0	< 1	< 1	< 1	< 1
Endrin	µg/kg	3,0	1,3	3,1	< 1	< 1	1,8	< 1	< 1
Isodrin	µg/kg		< 1	< 1		< 1	< 1	< 1	< 1
Telodrin	µg/kg			1,3			< 1	< 1	< 1
Heptachlor	µg/kg	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Cis-Heptachlorepoxyd	µg/kg			< 1			< 1	< 1	< 1
Trans-Heptachlorepoxyd	µg/kg			< 1			< 1	< 1	< 1
Mirex	µg/kg			< 1			< 1	< 1	< 1
Trans-Chlordane	µg/kg			< 1			< 1	< 1	< 1
Methoxychlor	µg/kg			< 1			< 1	< 1	< 1
α-Endosulfan	µg/kg	2,3	2,0	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1

Abb. 3.34: Benzo(k)fluoranthen im Rheinsediment

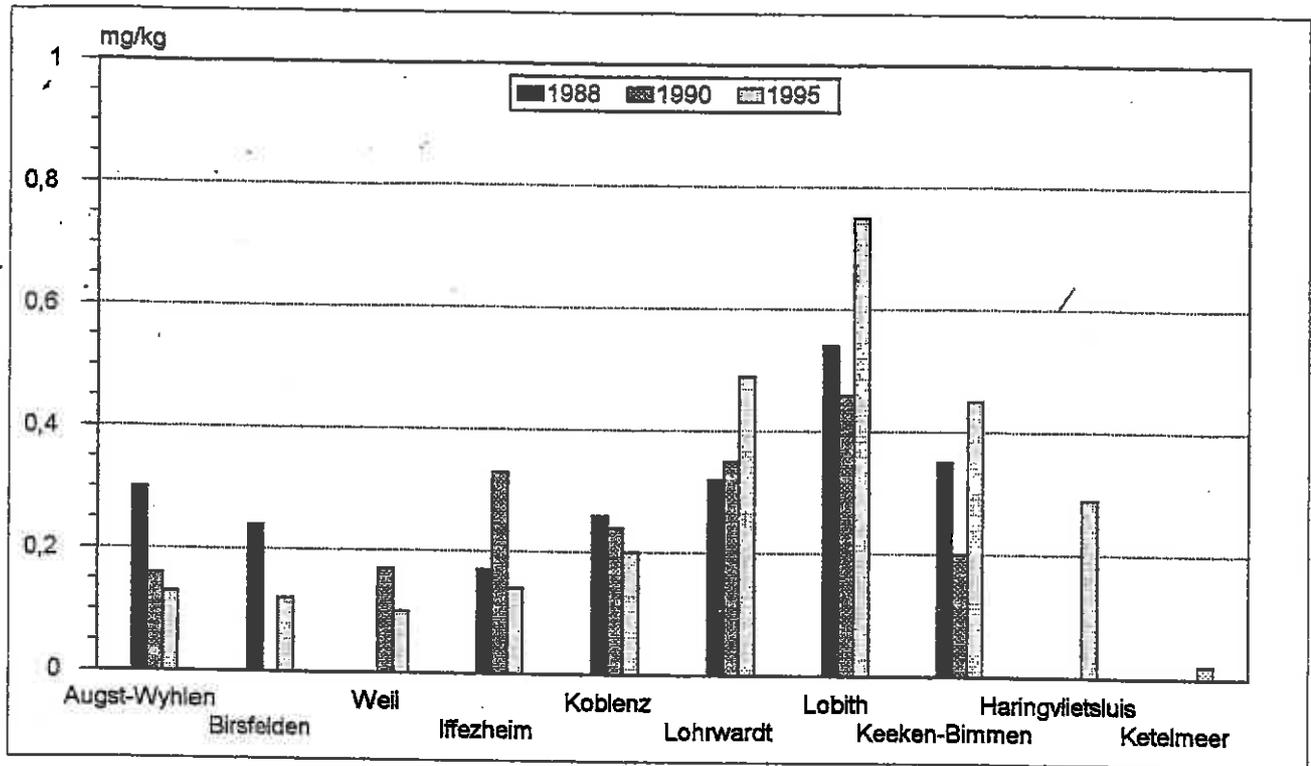


Abb. 3.35: Benzo(a)pyren im Rheinsediment

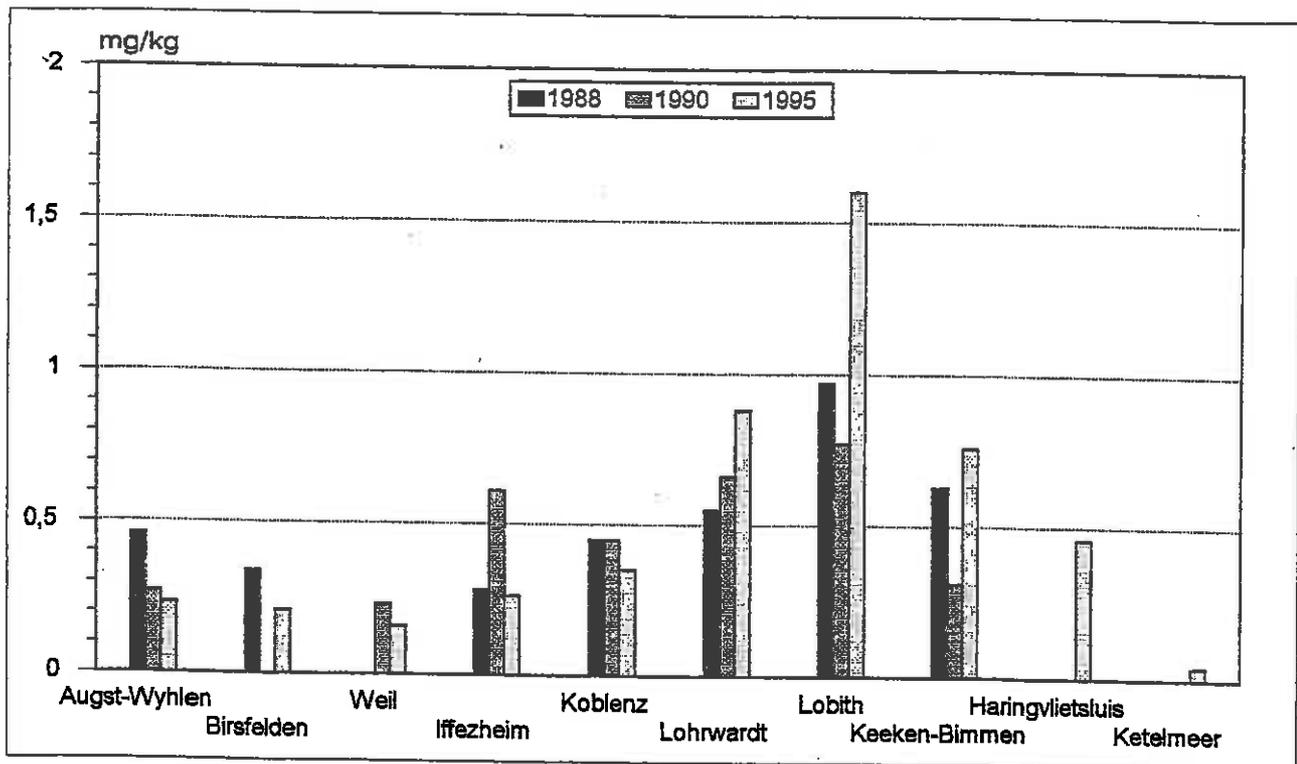


Abb. 3.36: Benzo(ghi)perylene im Rheinsediment

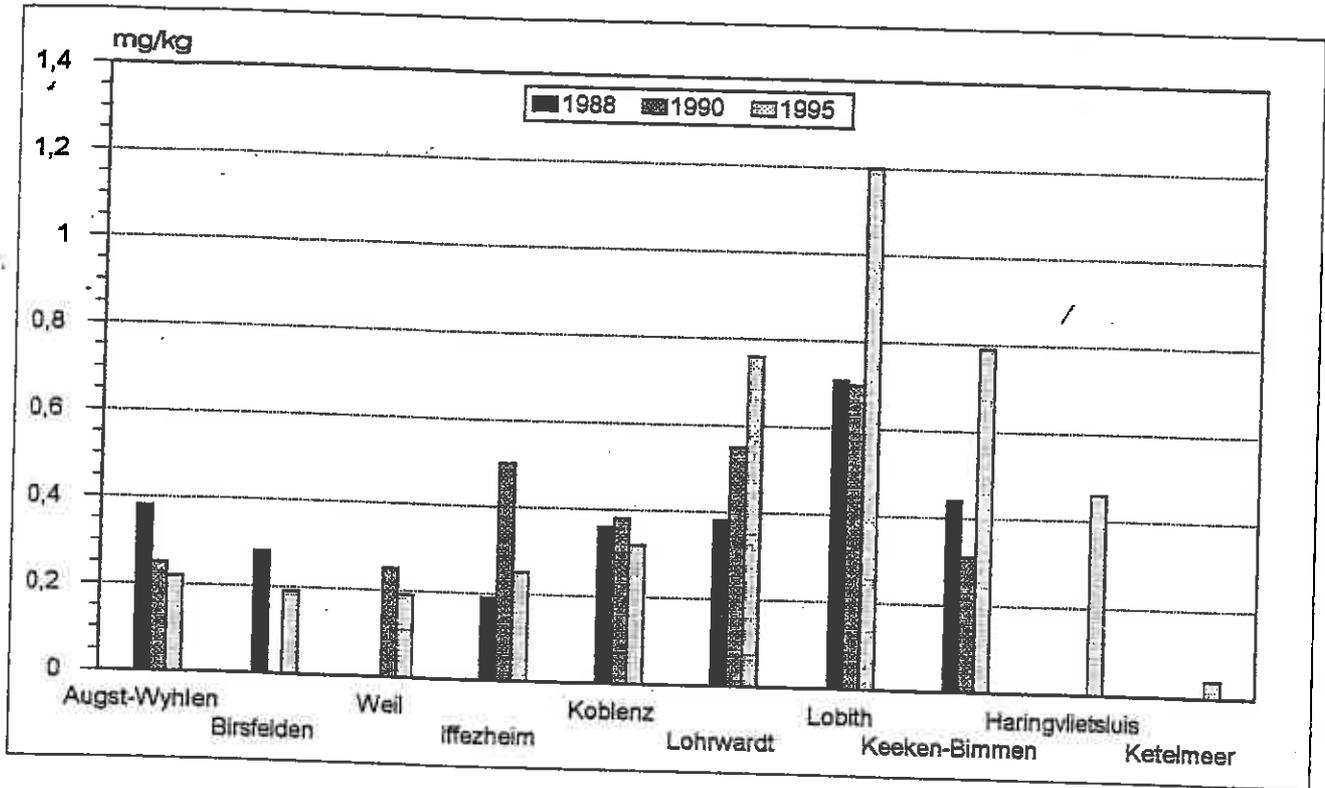


Abb. 3.37: Indeno(1,2,3-cd)pyren im Rheinsediment

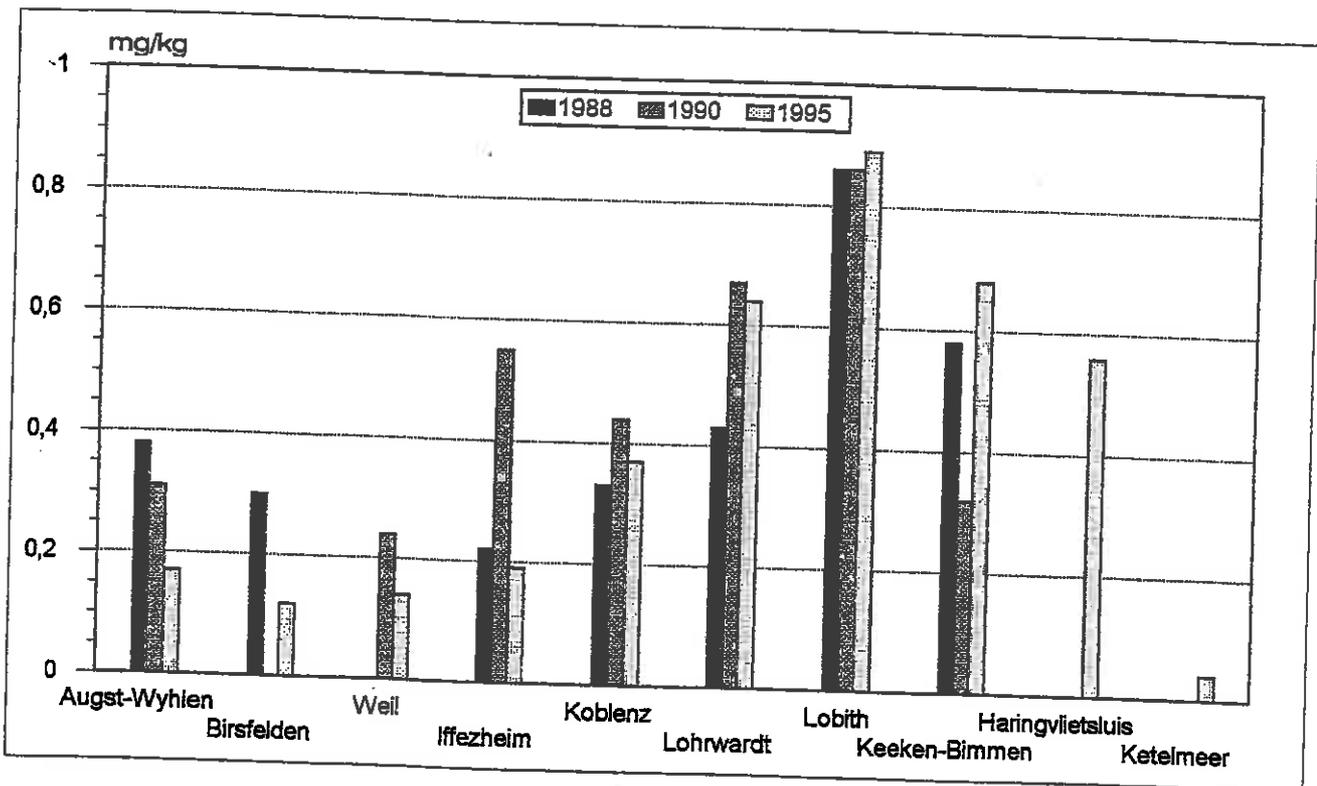


Abb. 3.38: Pyren im Rheinsediment

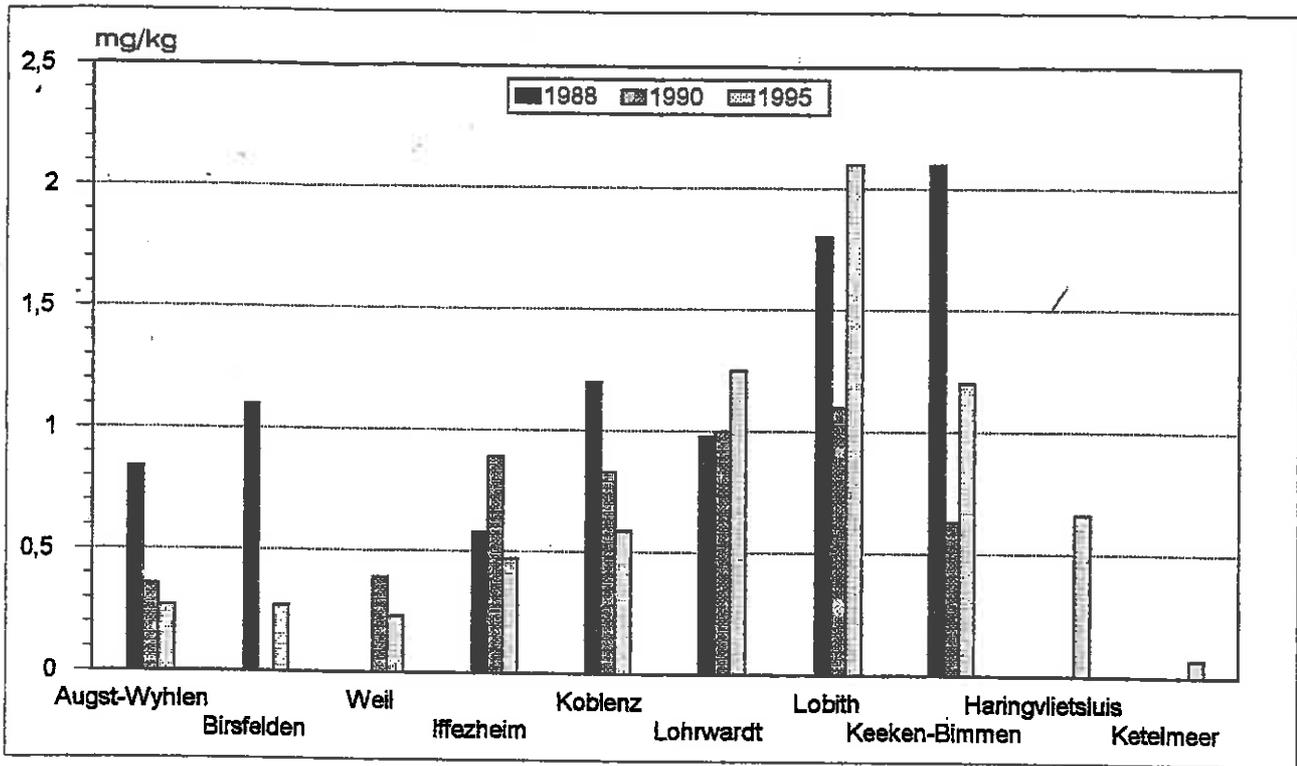


Abb. 3.39: Benzo(a)anthracen im Rheinsediment

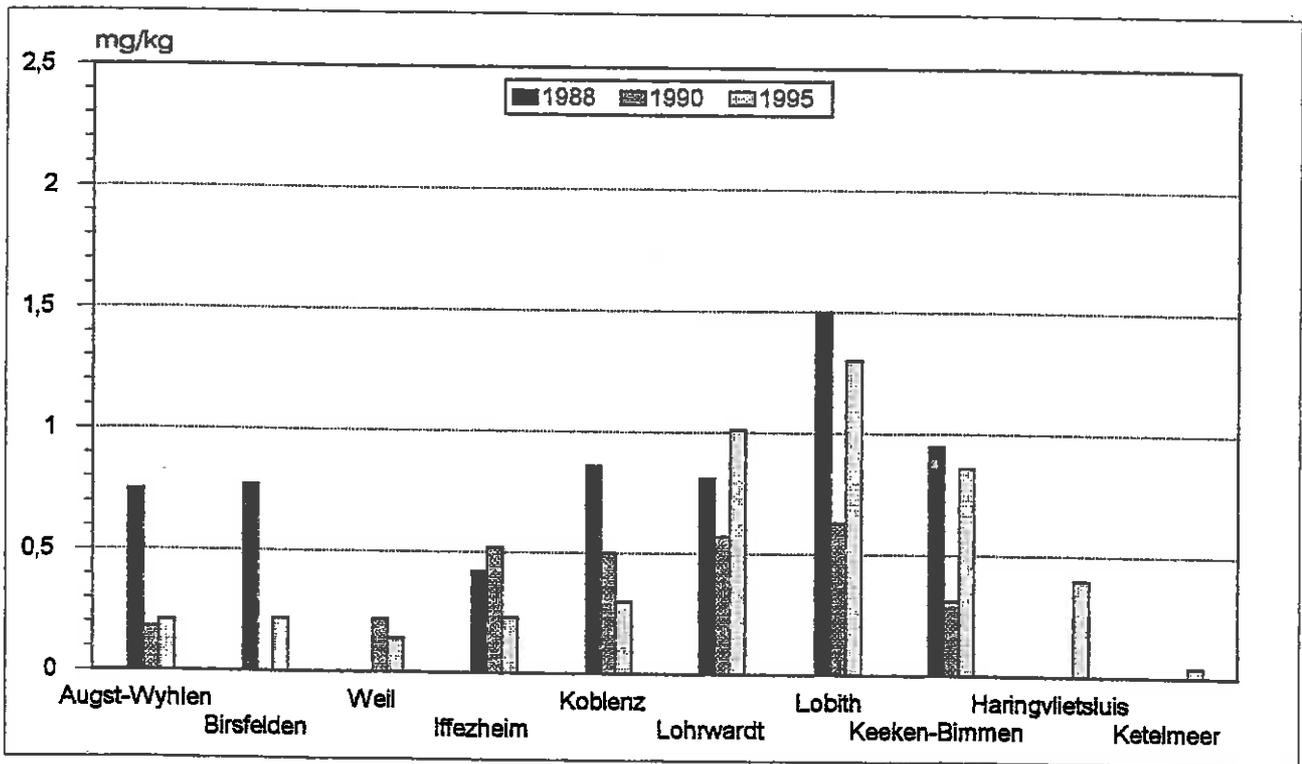


Abb. 3.40: Phenanthren im Rheinsediment

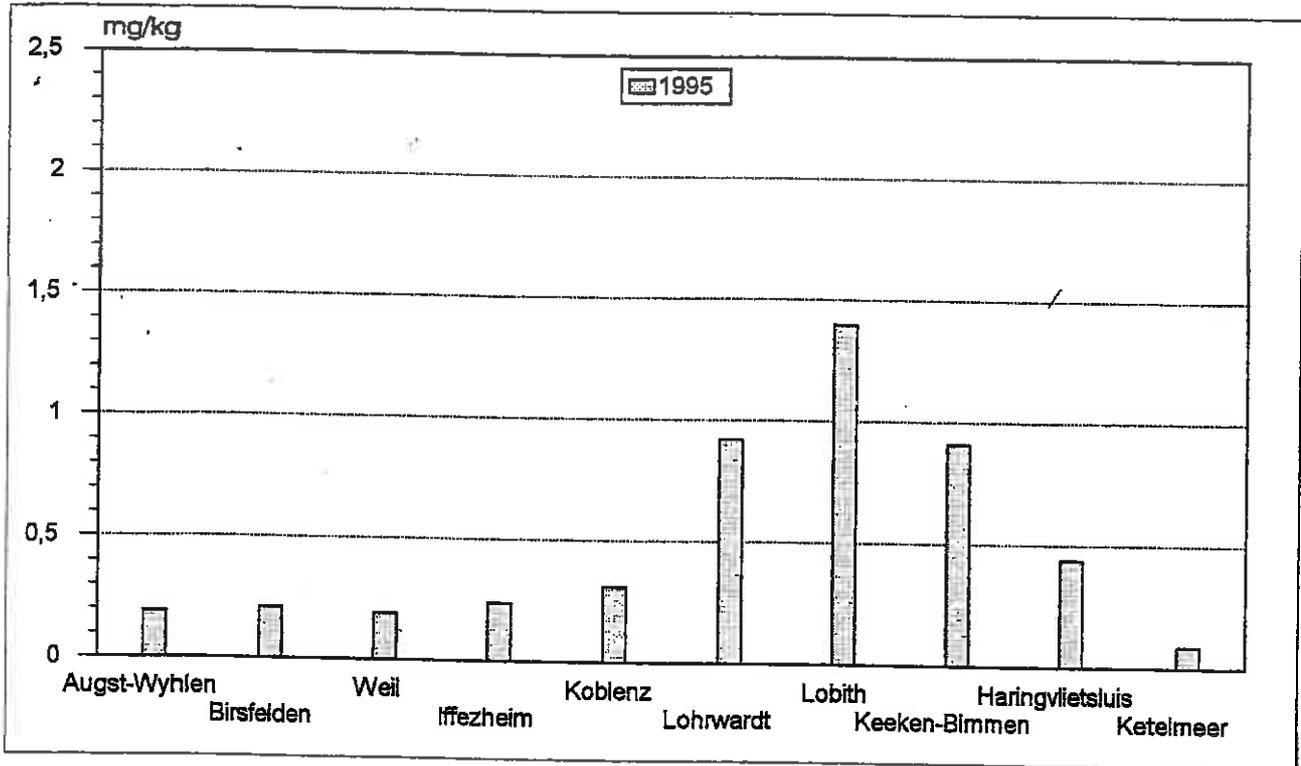


Abb. 3.41: Summe PAK nach Borneff im Rheinsediment

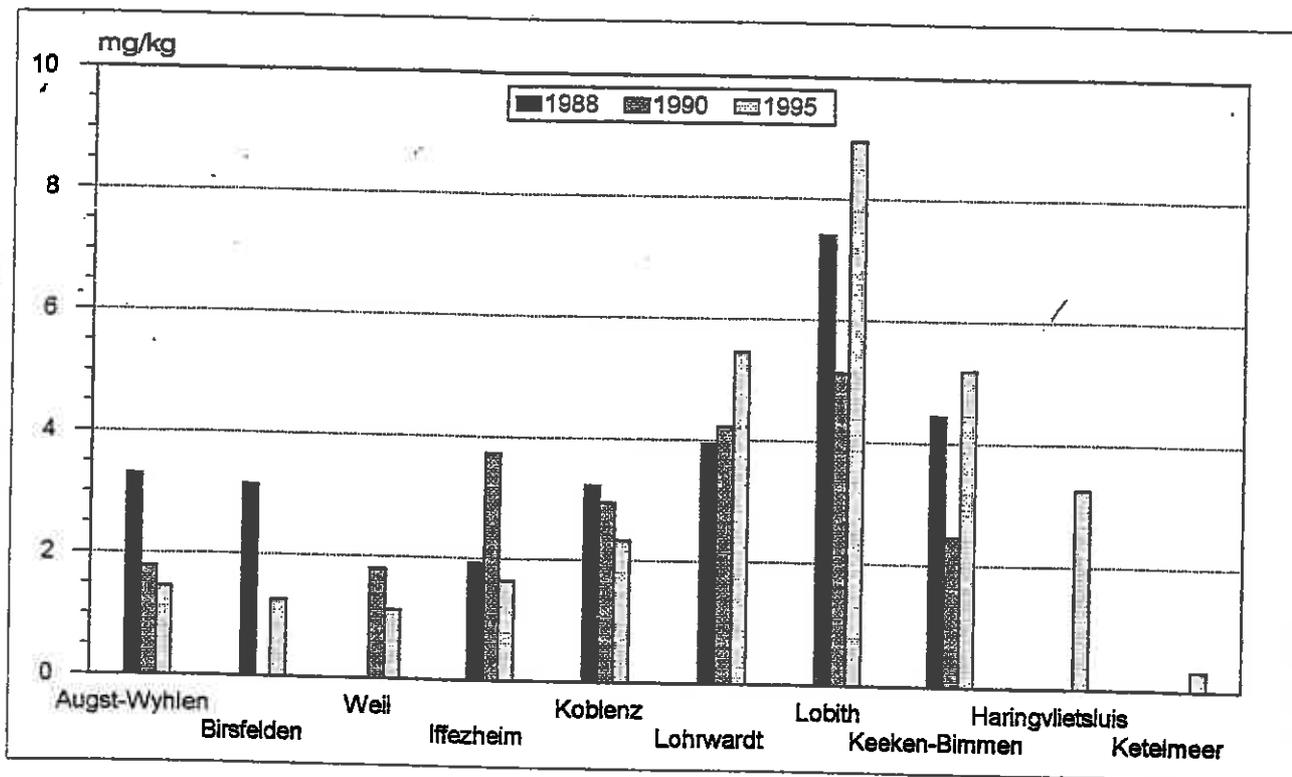


Abb. 3.42: Summe PAK nach EPA im Rheinsediment

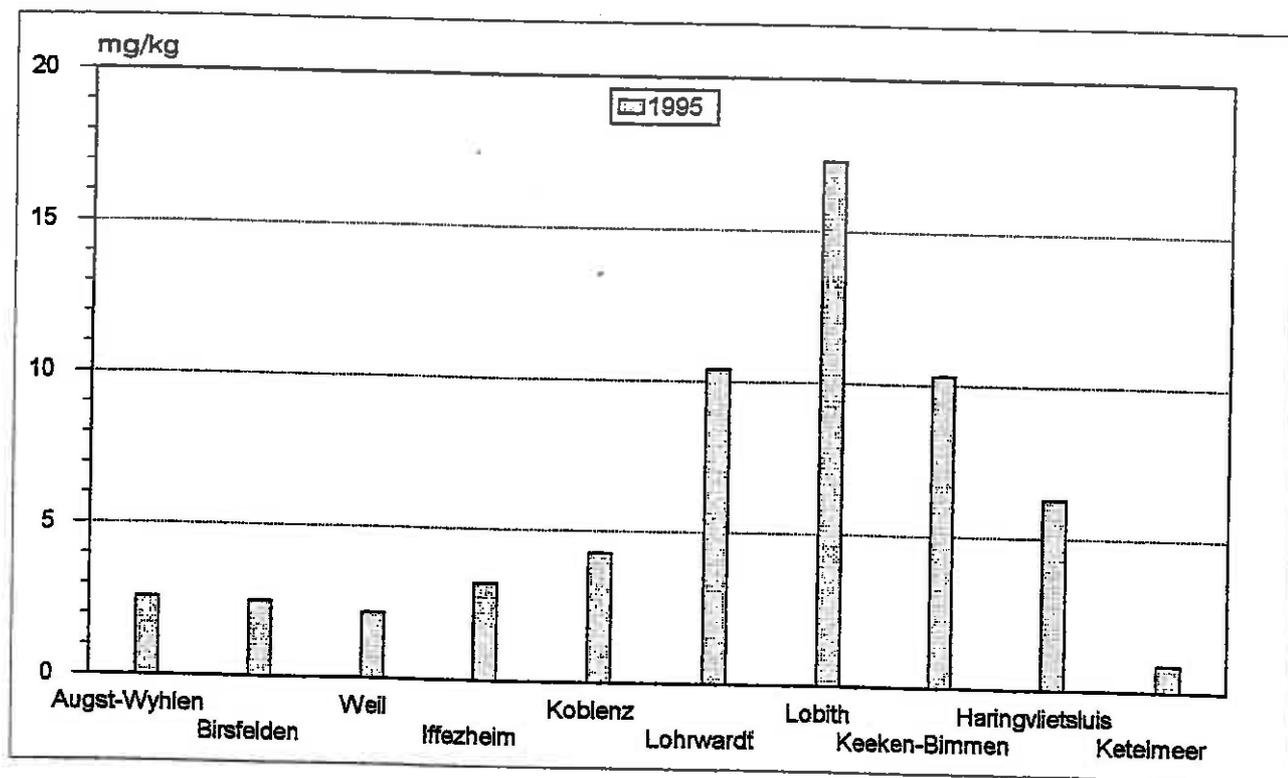


Abb. 3.43: Dibutylzinn im Rheinsediment

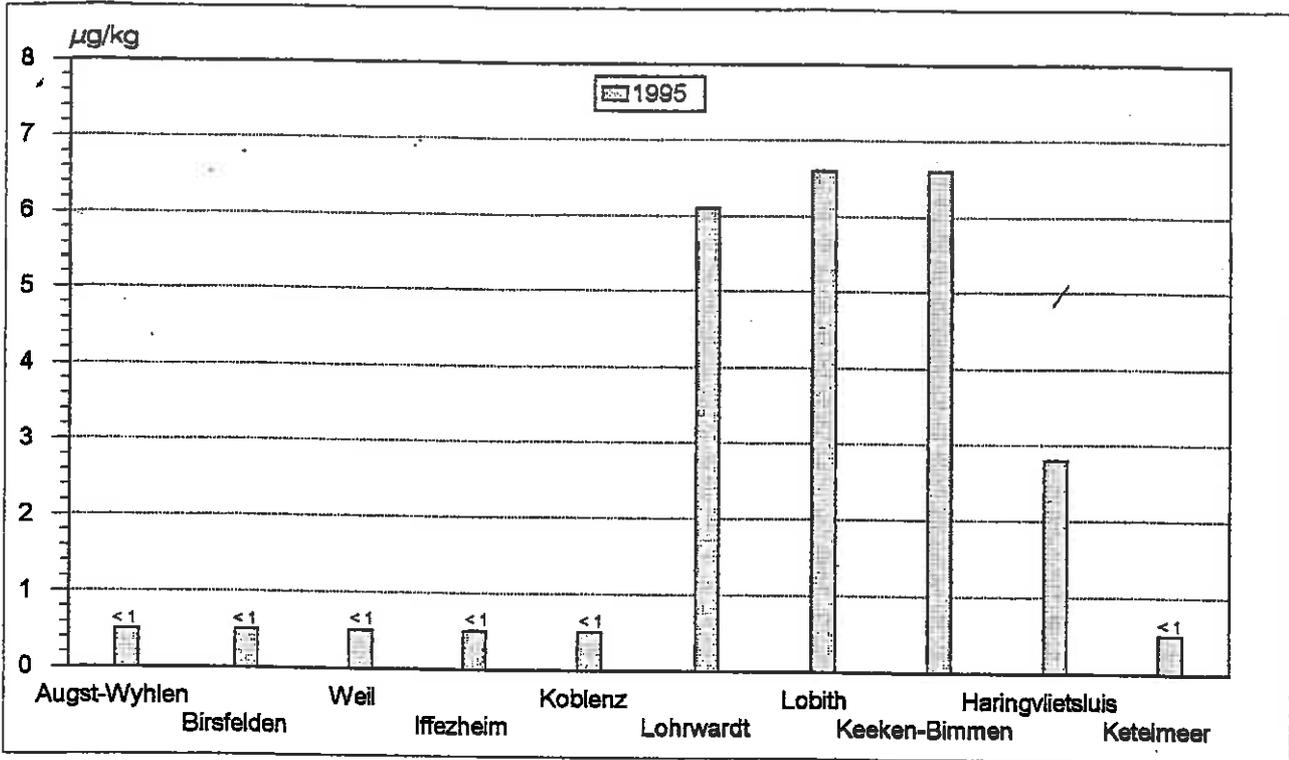


Abb. 3.44: Tributylzinn im Rheinsediment

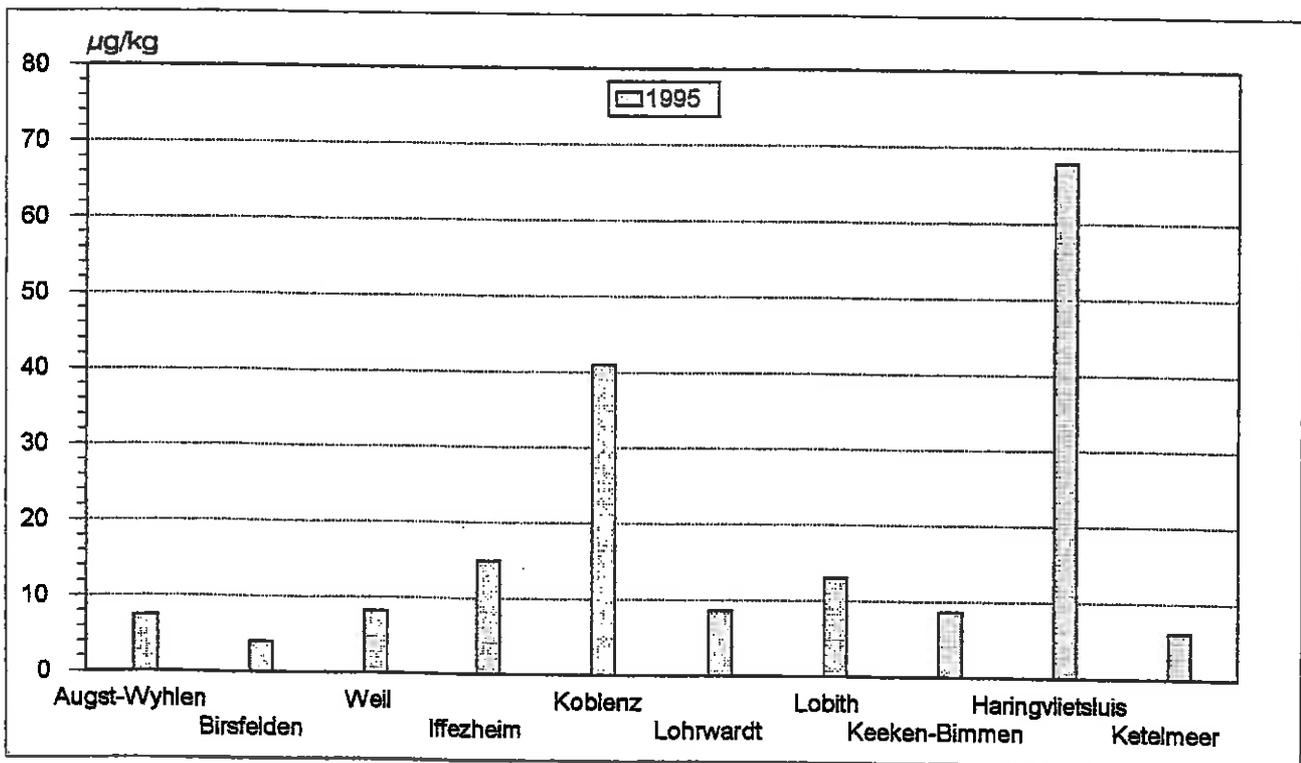


Abb. 3.45: Dioctylzinn im Rheinsediment

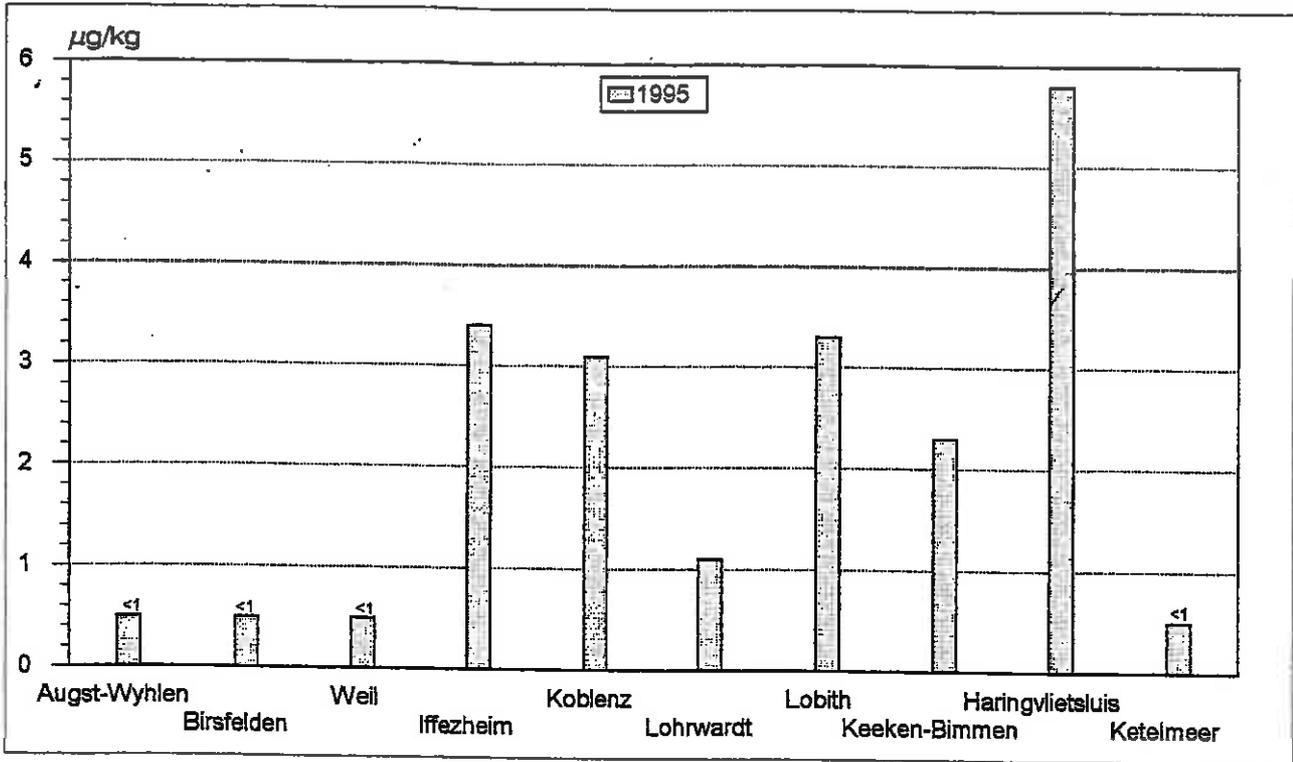


Abb.3.46: Triphenylzinn im Rheinsediment

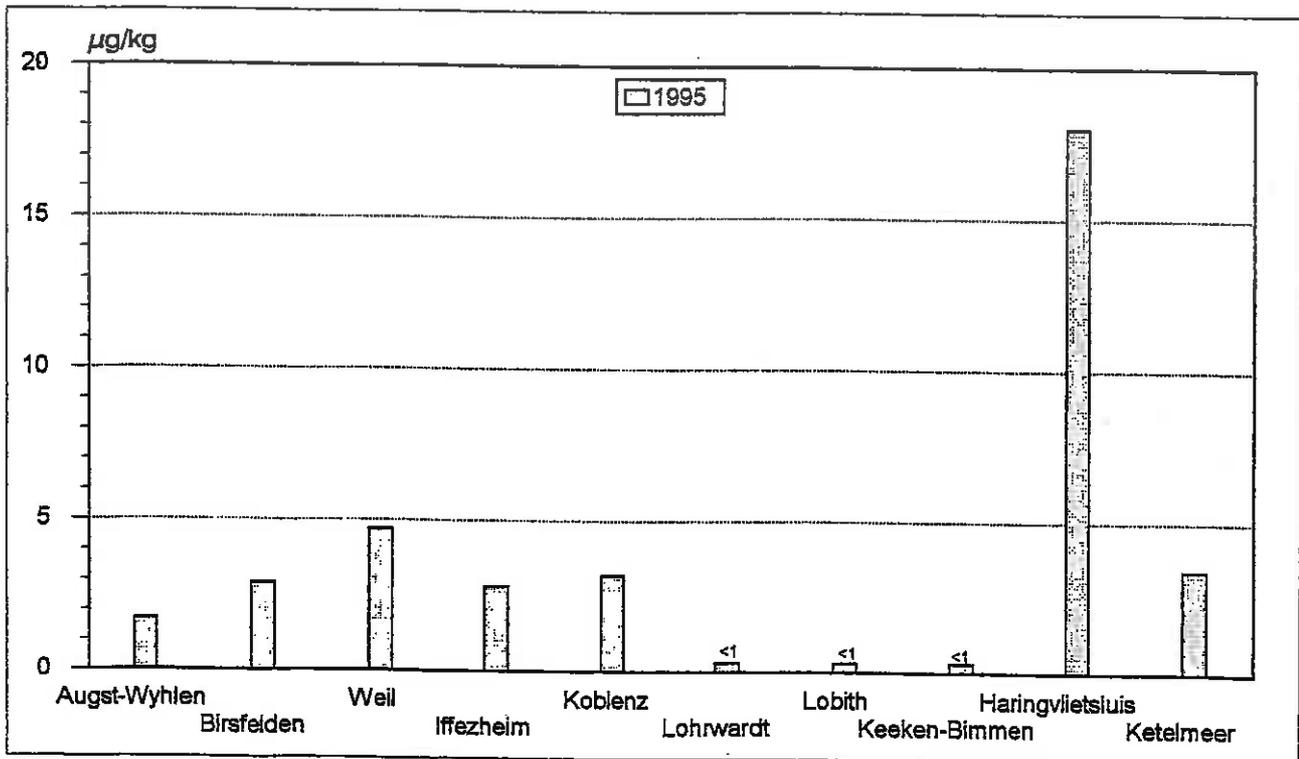


Abb. 3.47: 2,4-Dichlortoluol im Rheinsediment

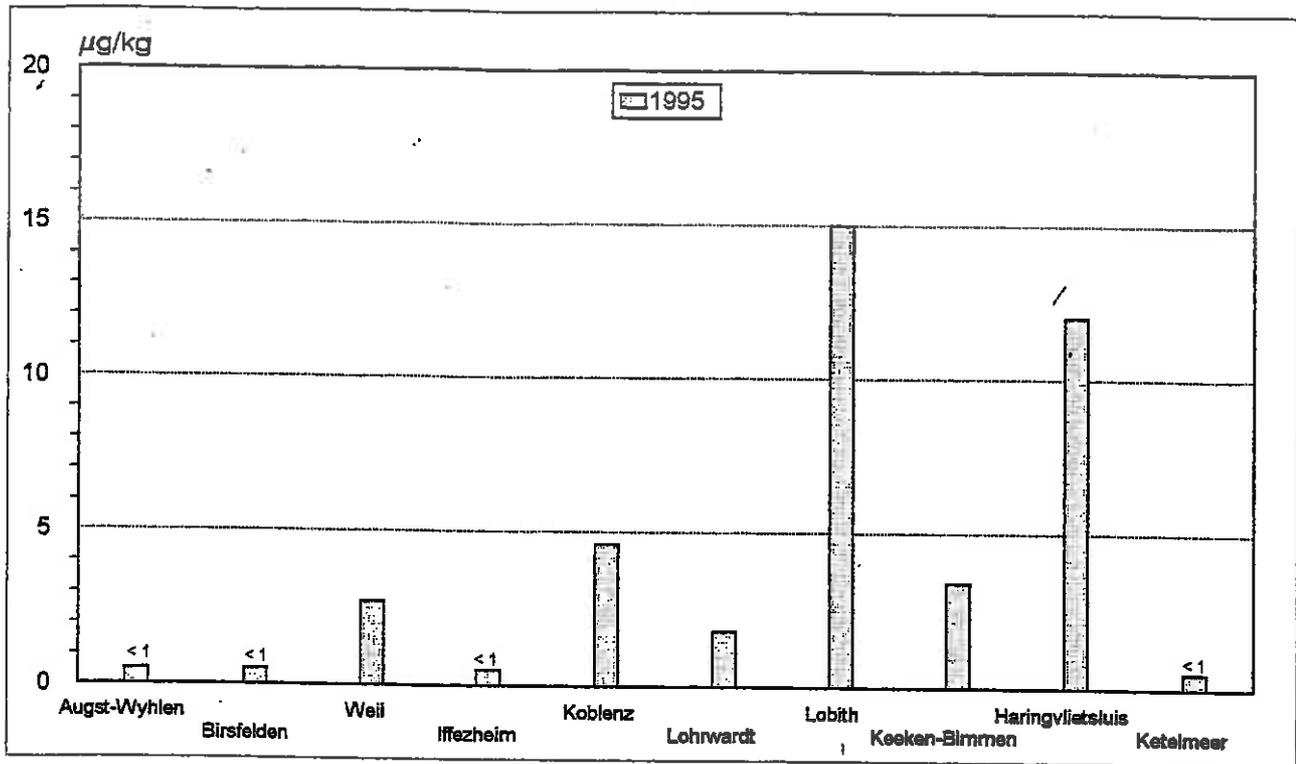


Abb. 3.1: Altersabschätzung und Qualitätssicherung der Probenahme (Radioaktivität im Rheinsediment 1995 [Bq/kg])

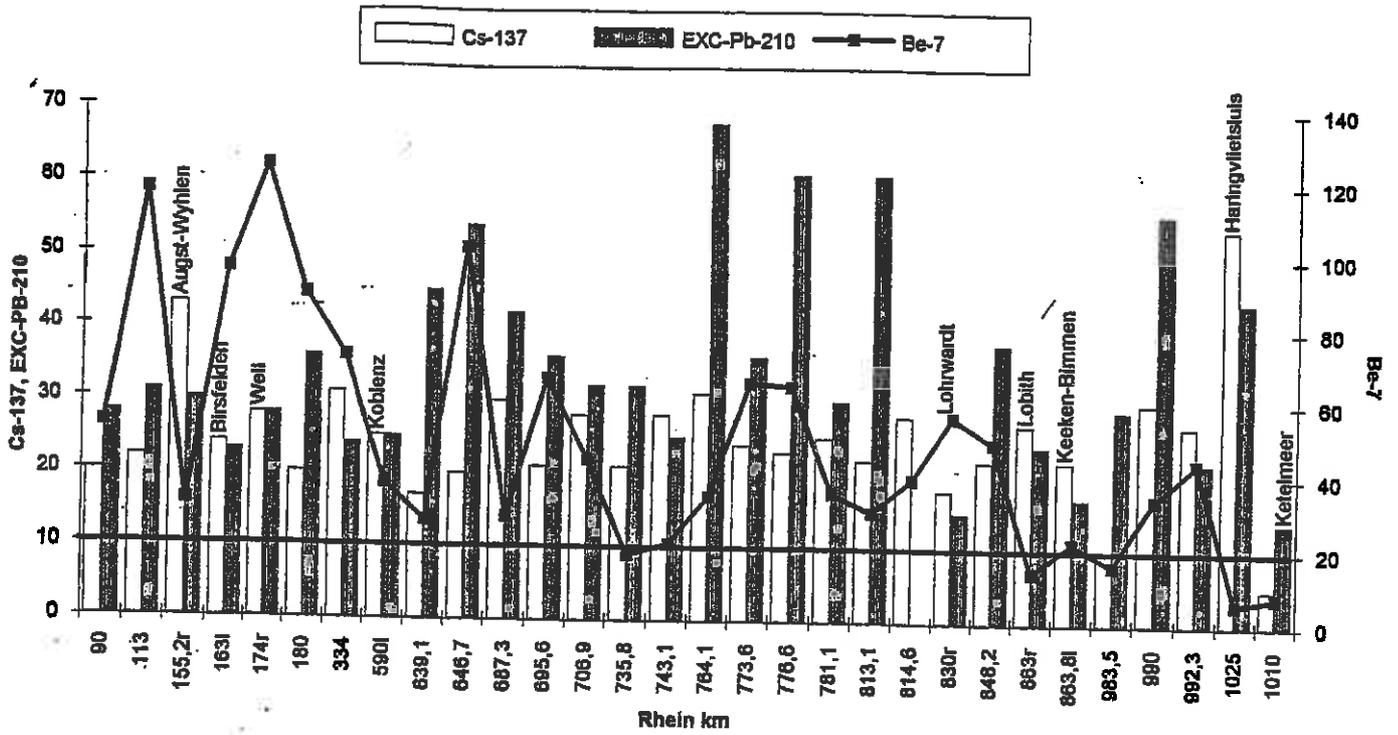


Abb. 3.2: Korngrößenverteilung im Rheinsediment

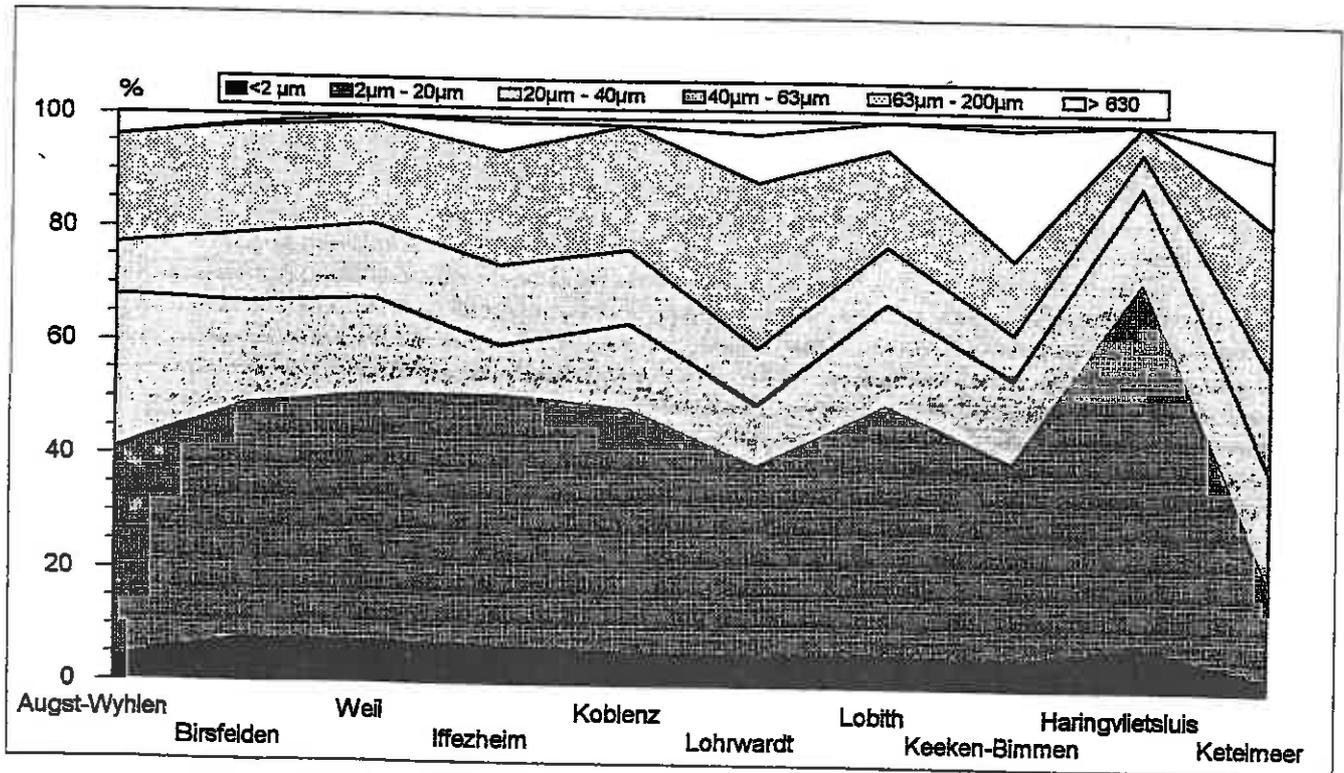


Abb. 3.3 TOC im Rheinsediment

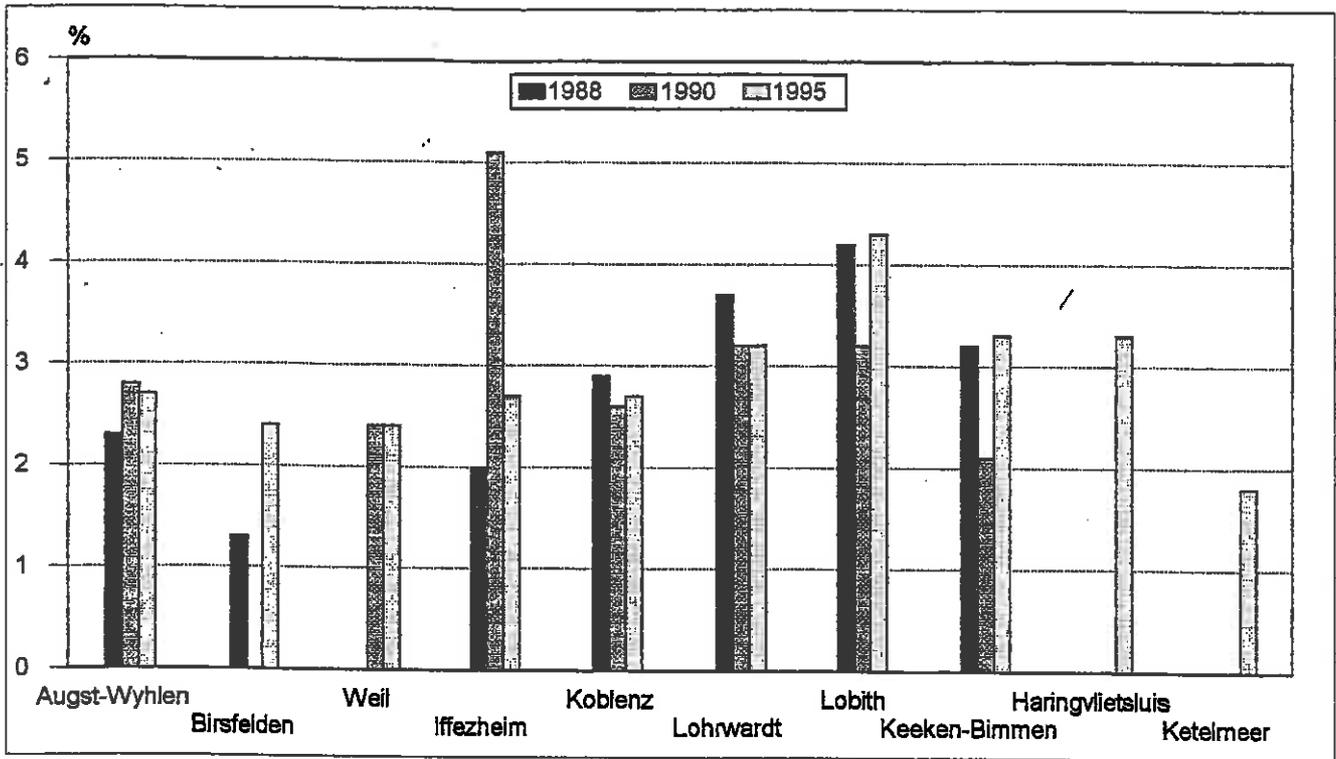


Abb. 3.4: EOX im Rheinsediment

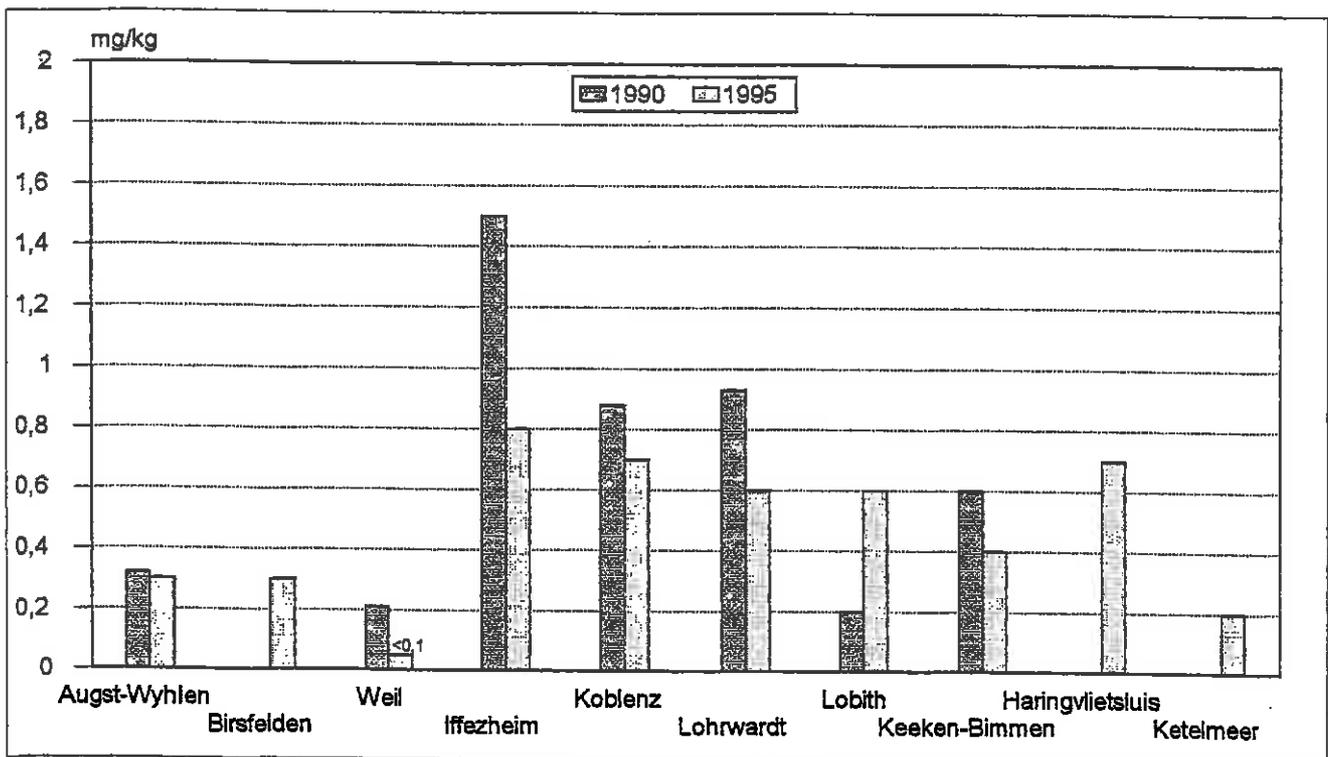


Abb. 3.5: Gesamt-Stickstoff im Rheinsediment

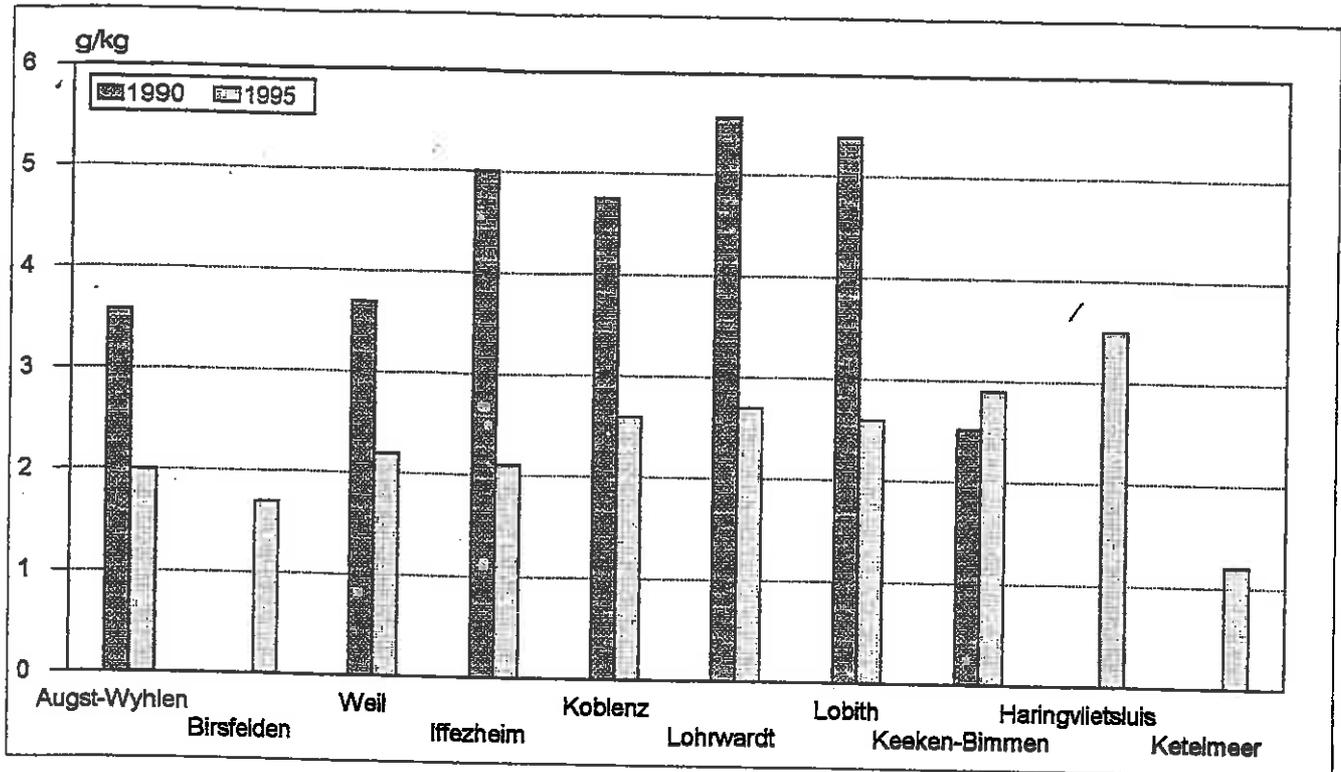


Abb. 3.6: Gesamt-Phosphor im Rheinsediment

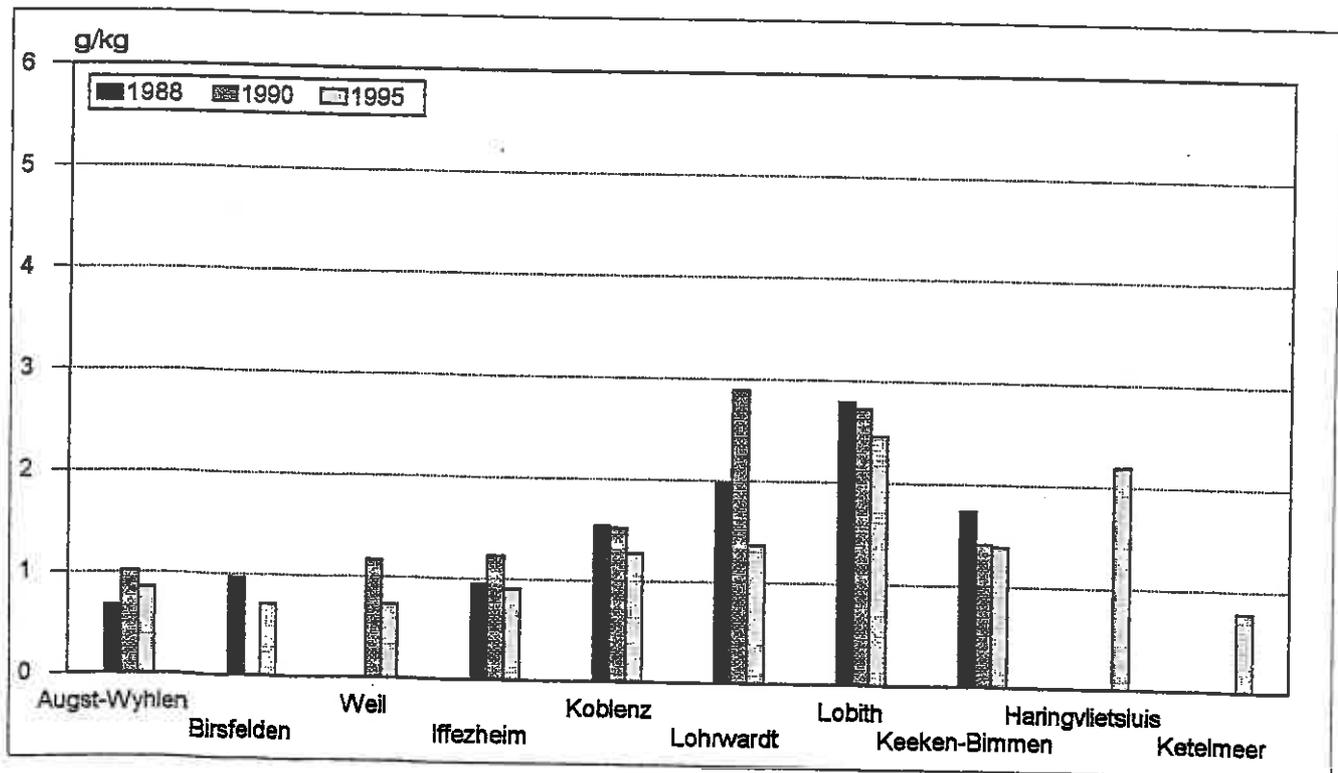


Abb. 3.7: Arsen im Rheinsediment (< 20 µm-Fraktion)

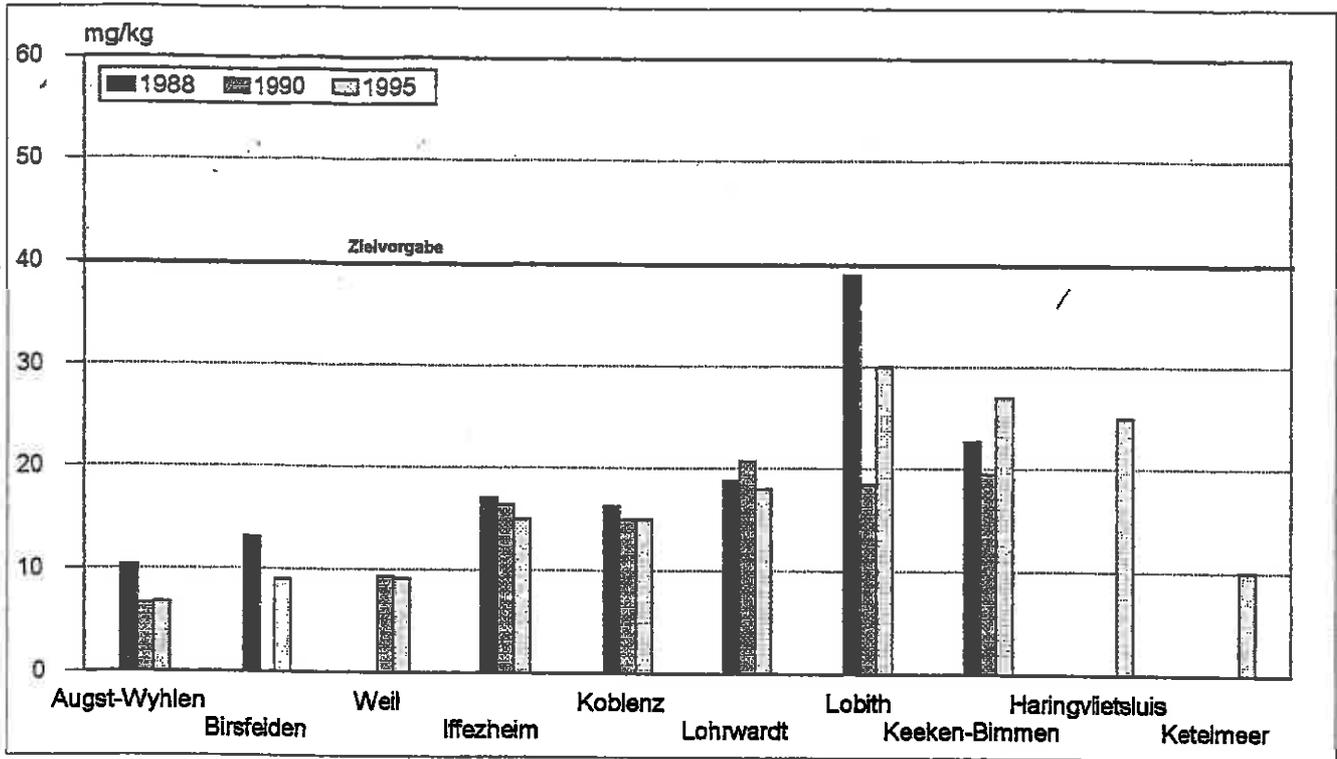


Abb. 3.8: Blei im Rheinsediment (< 20 µm-Fraktion)

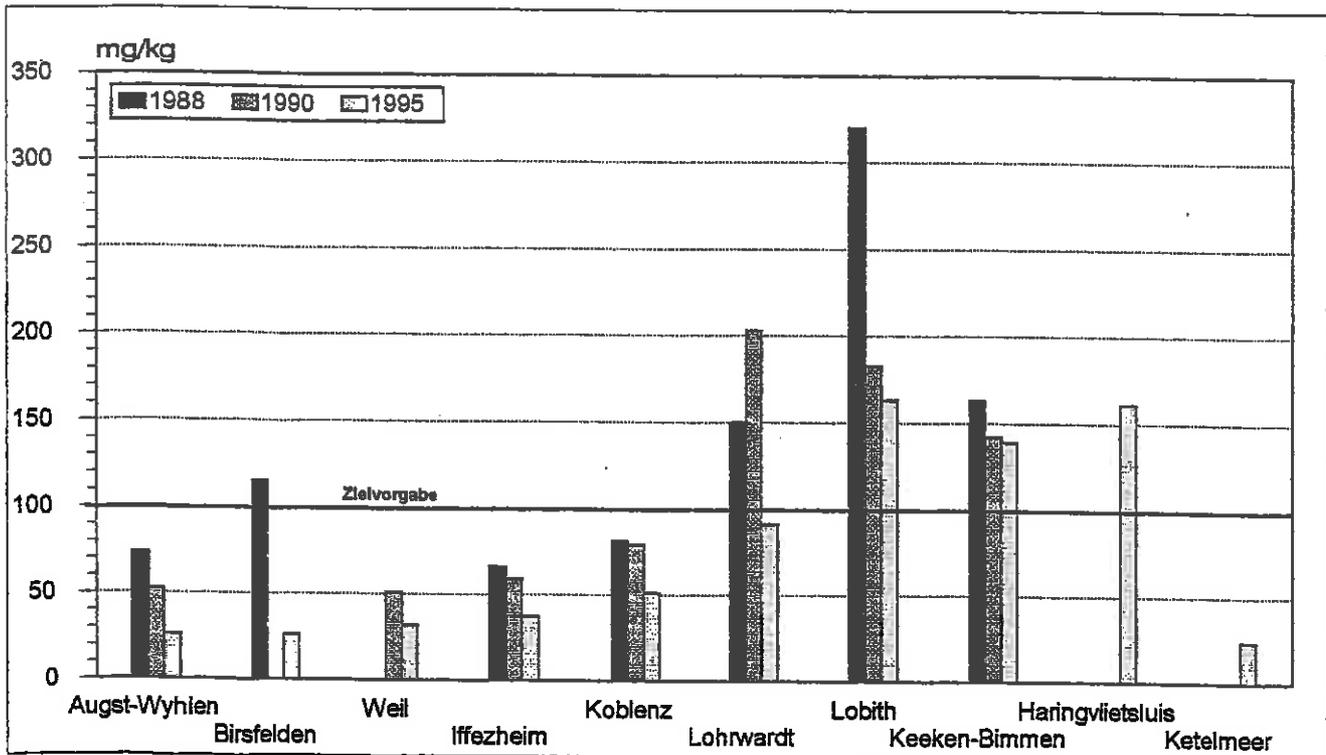


Abb. 3.9: Cadmium im Rheinsediment (< 20 µm-Fraktion)

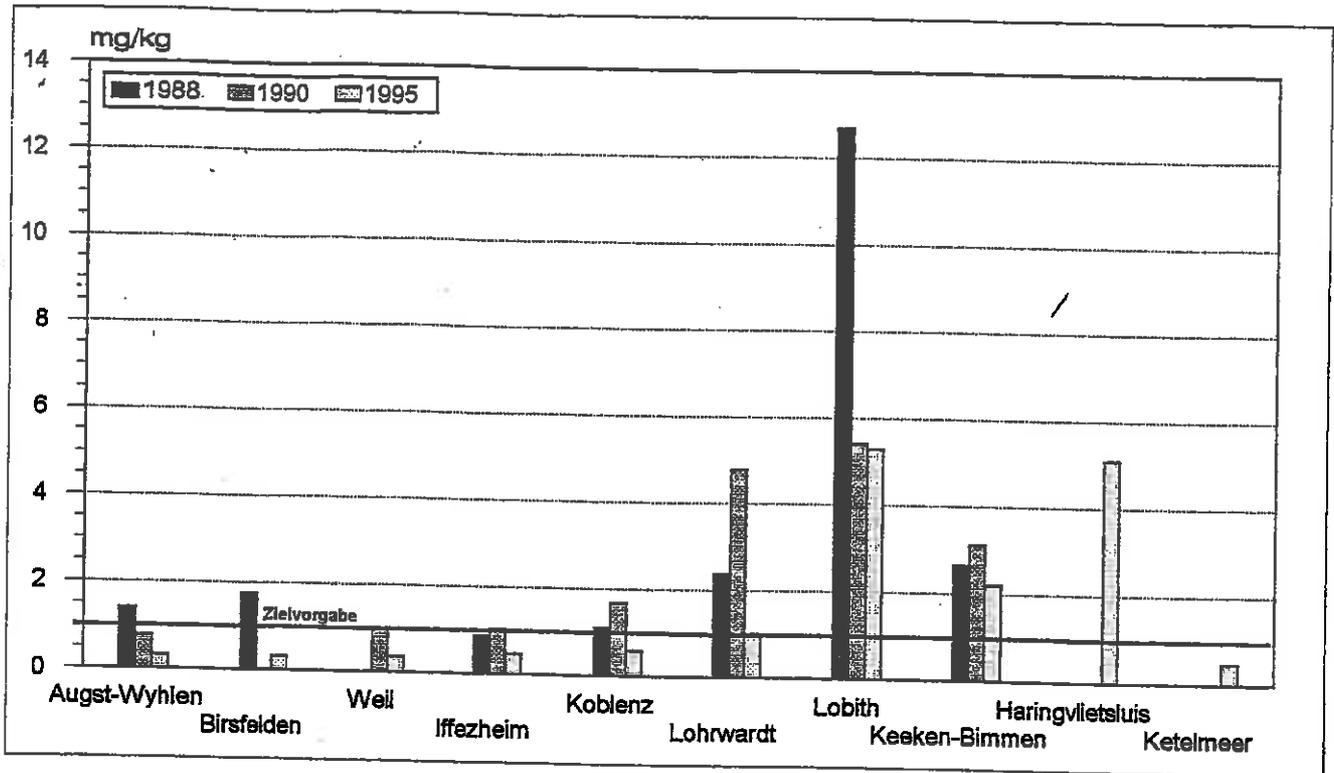


Abb. 3.10: Chrom im Rheinsediment (< 20 µm-Fraktion)

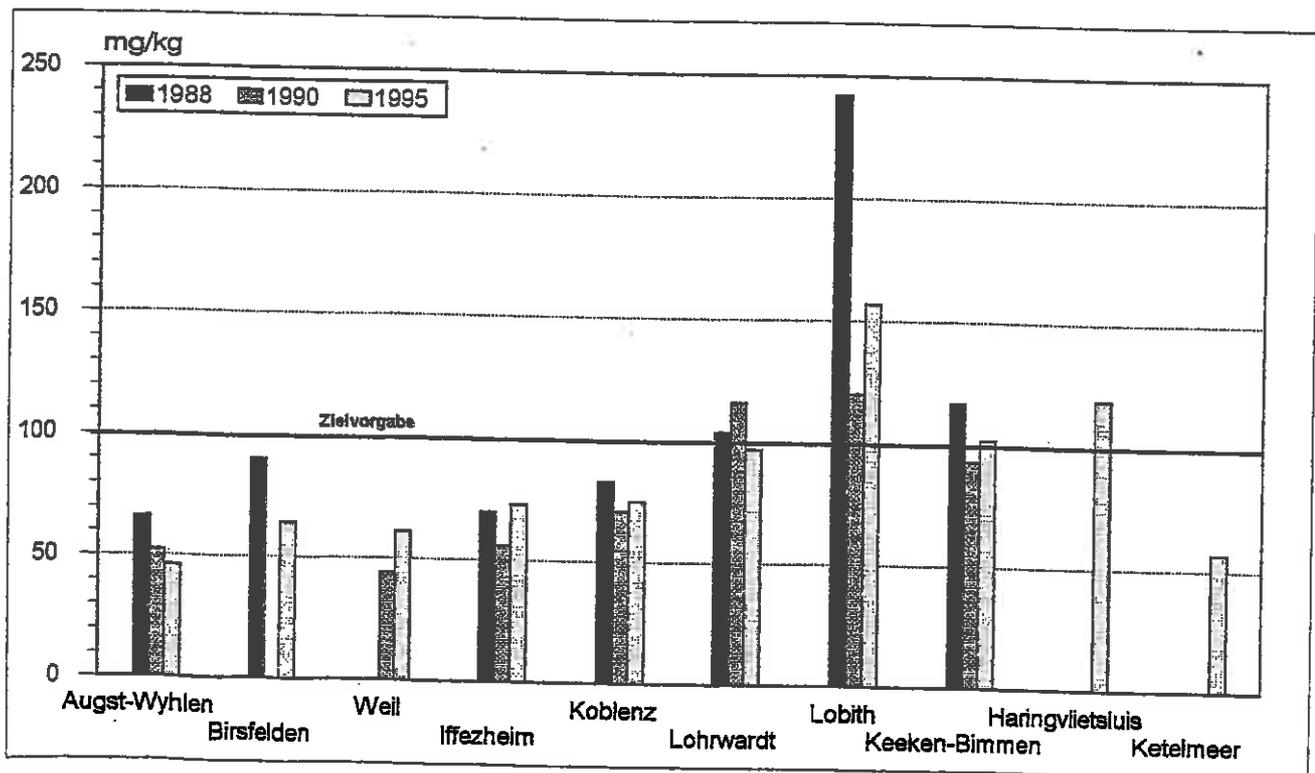


Abb. 3.11: Kupfer im Rheinsediment (< 20 µm-Fraktion)

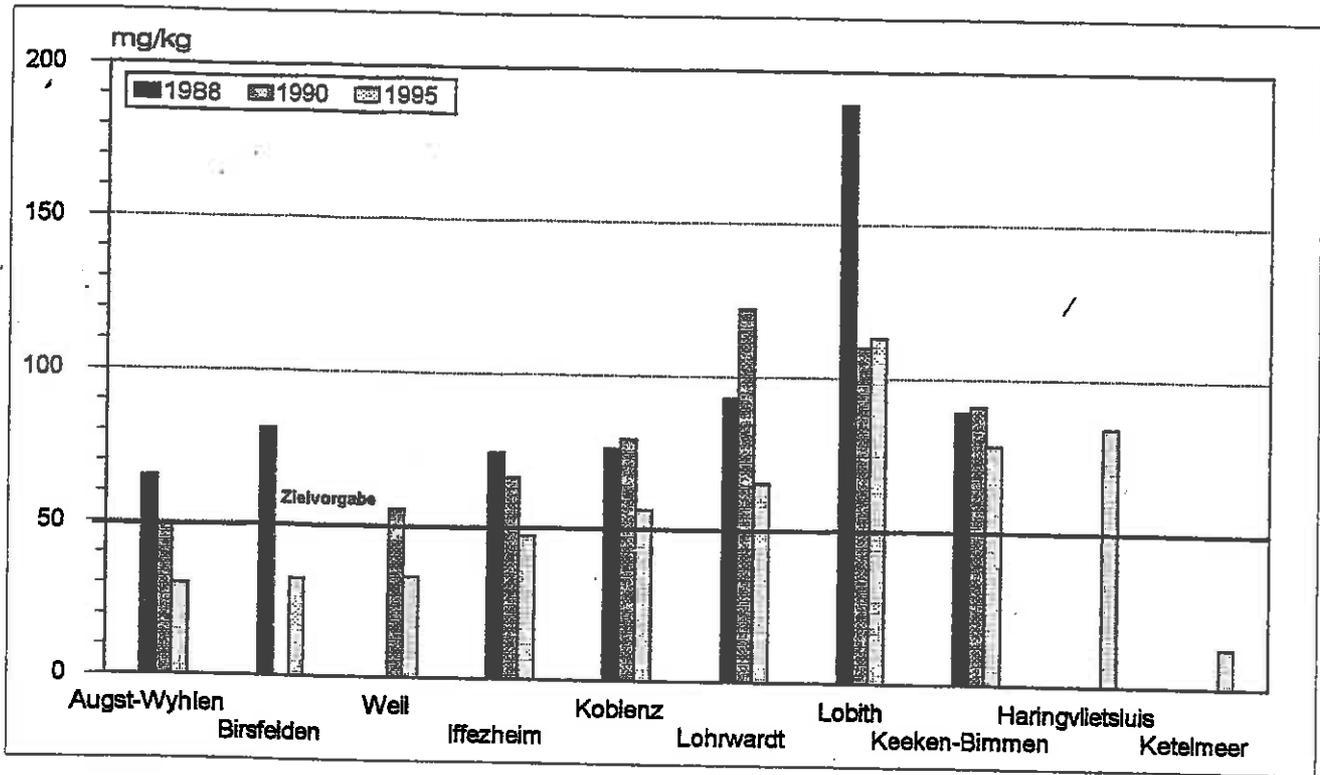


Abb. 3.12: Nickel im Rheinsediment (< 20 µm-Fraktion)

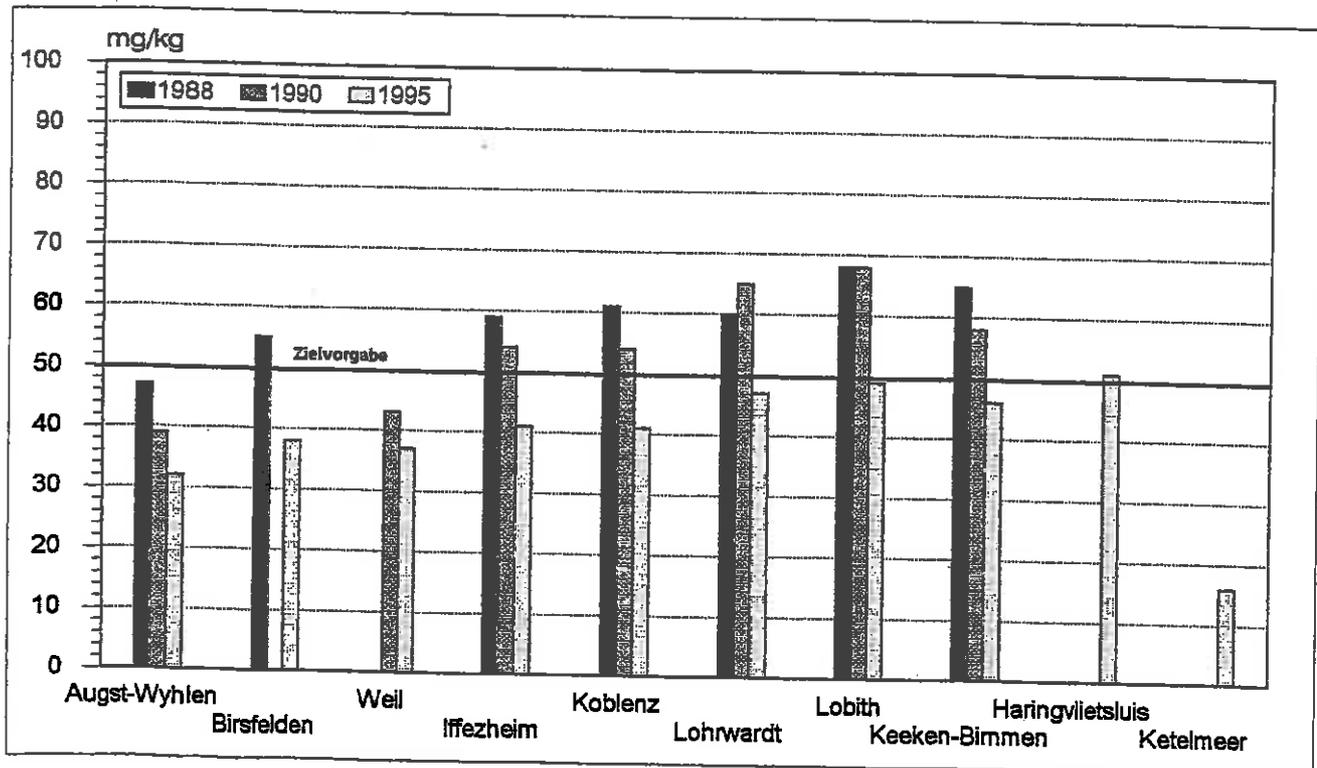


Abb. 3.13: Quecksilber im Rheinsediment (< 20 µm-Fraktion)

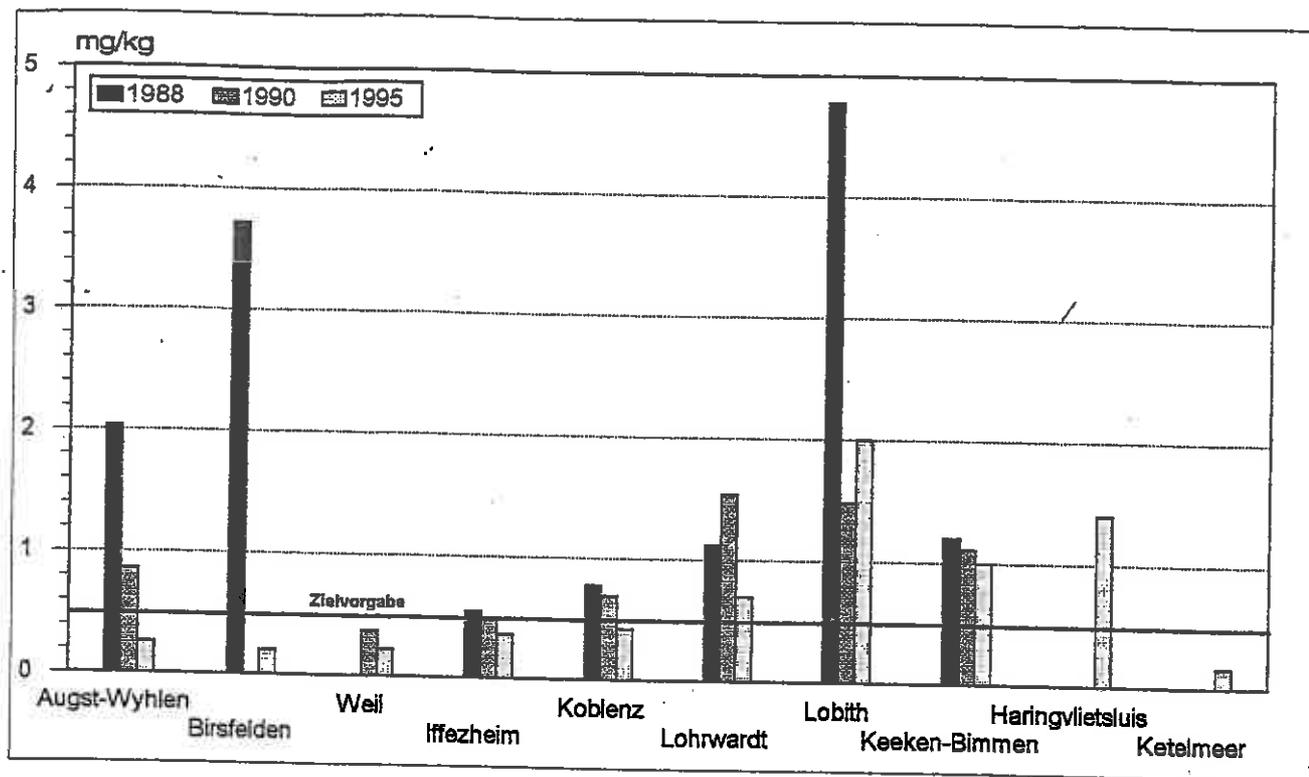


Abb. 3.14: Zink im Rheinsediment (< 20 µm-Fraktion)

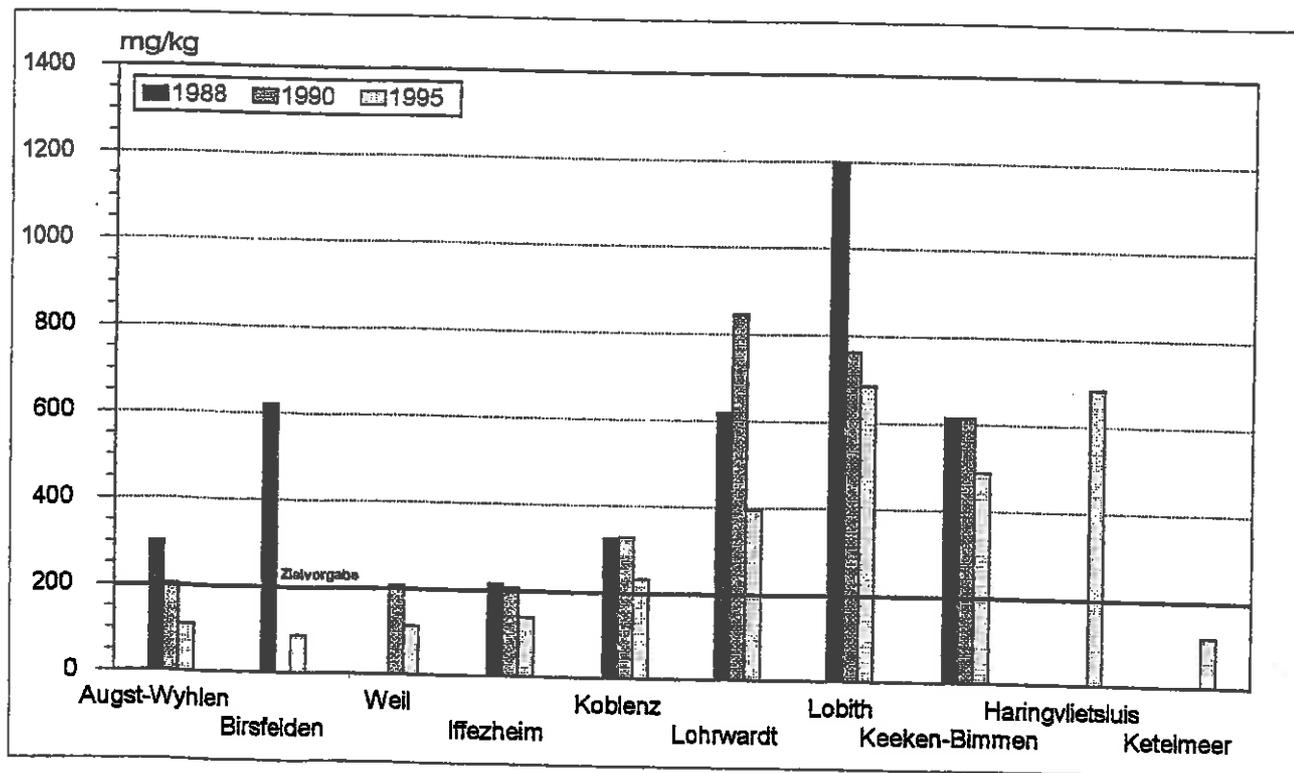


Abb. 3.15: 1,2-Dichlorbenzol im Rheinsediment

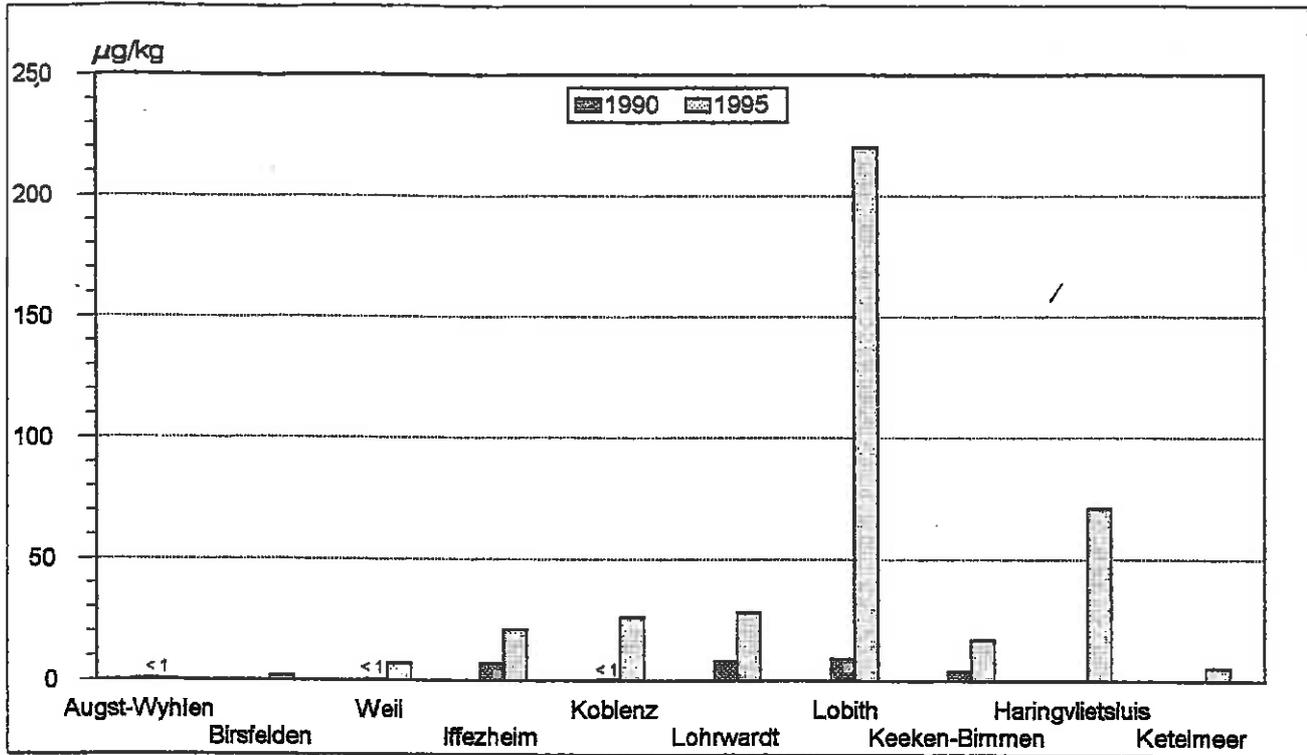


Abb. 3.16: 1,3-Dichlorbenzol im Rheinsediment

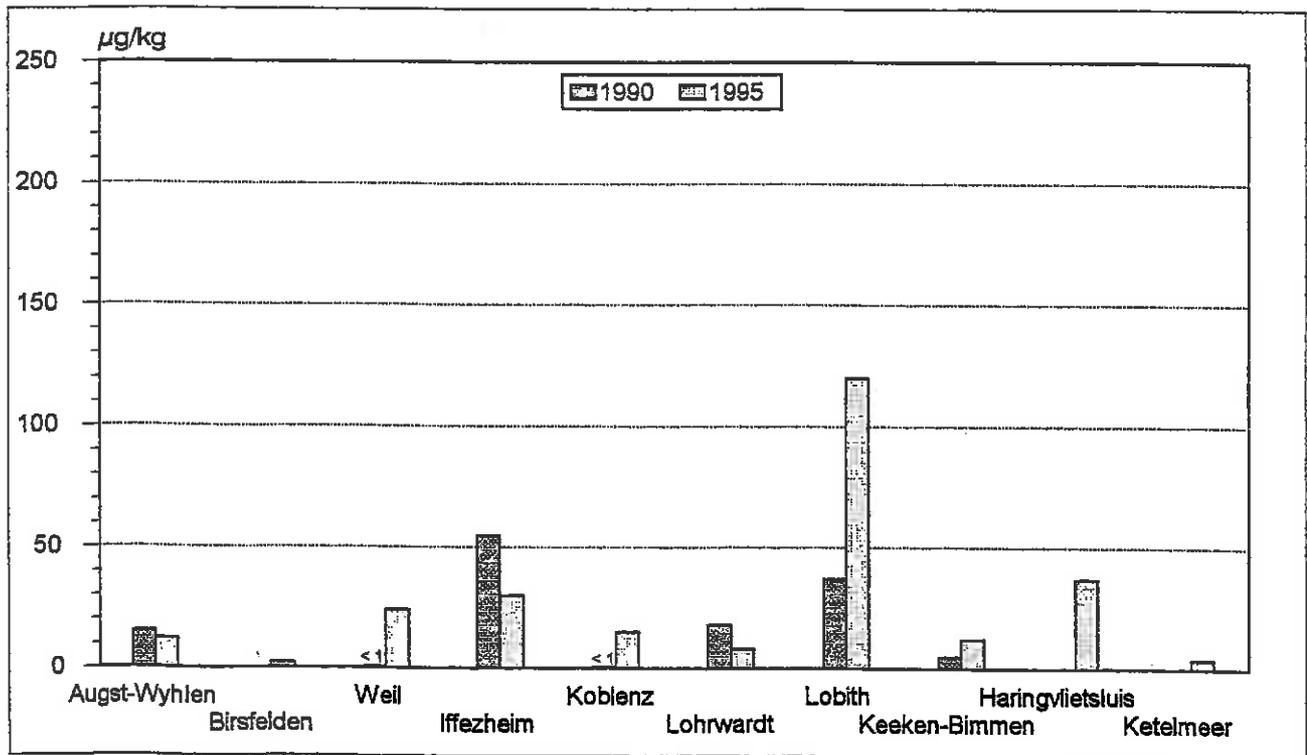


Abb. 3.17: 1,4-Dichlorbenzol im Rheinsediment

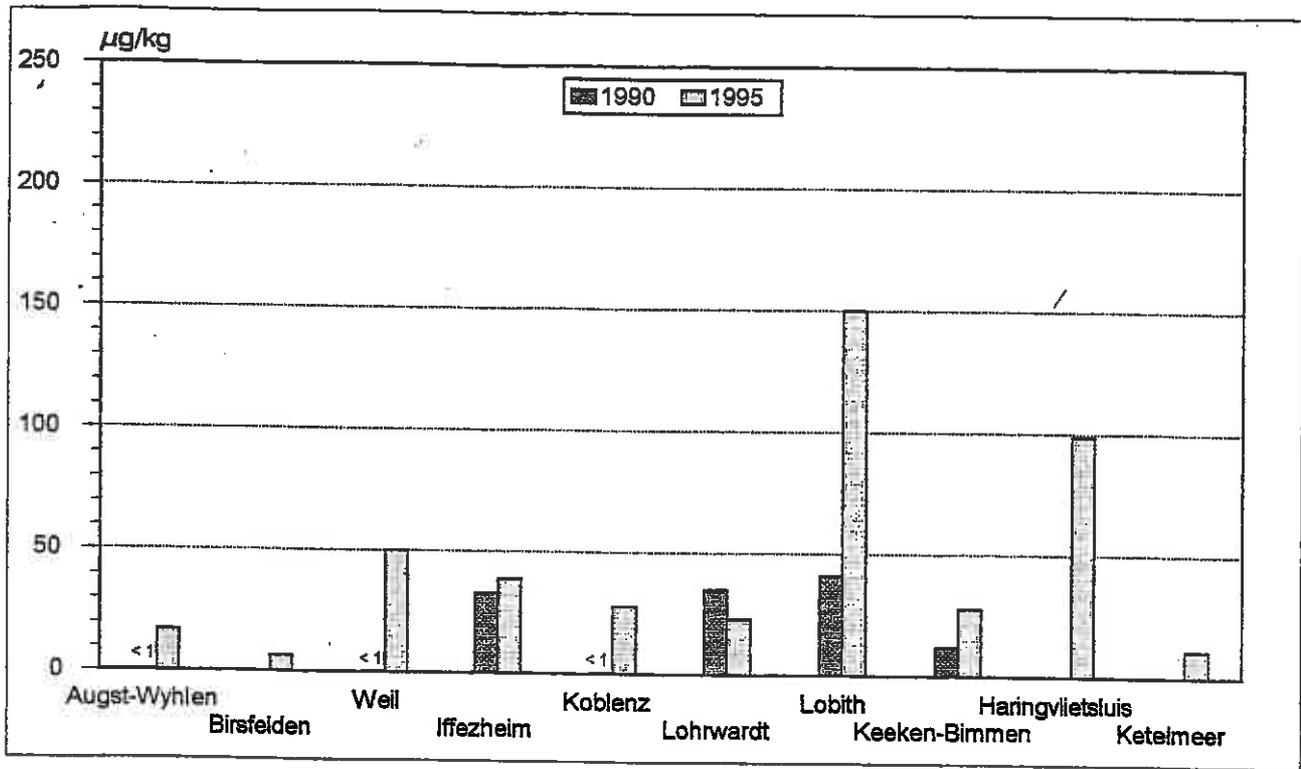


Abb. 3.18: 1,2,4-Trichlorbenzol im Rheinsediment

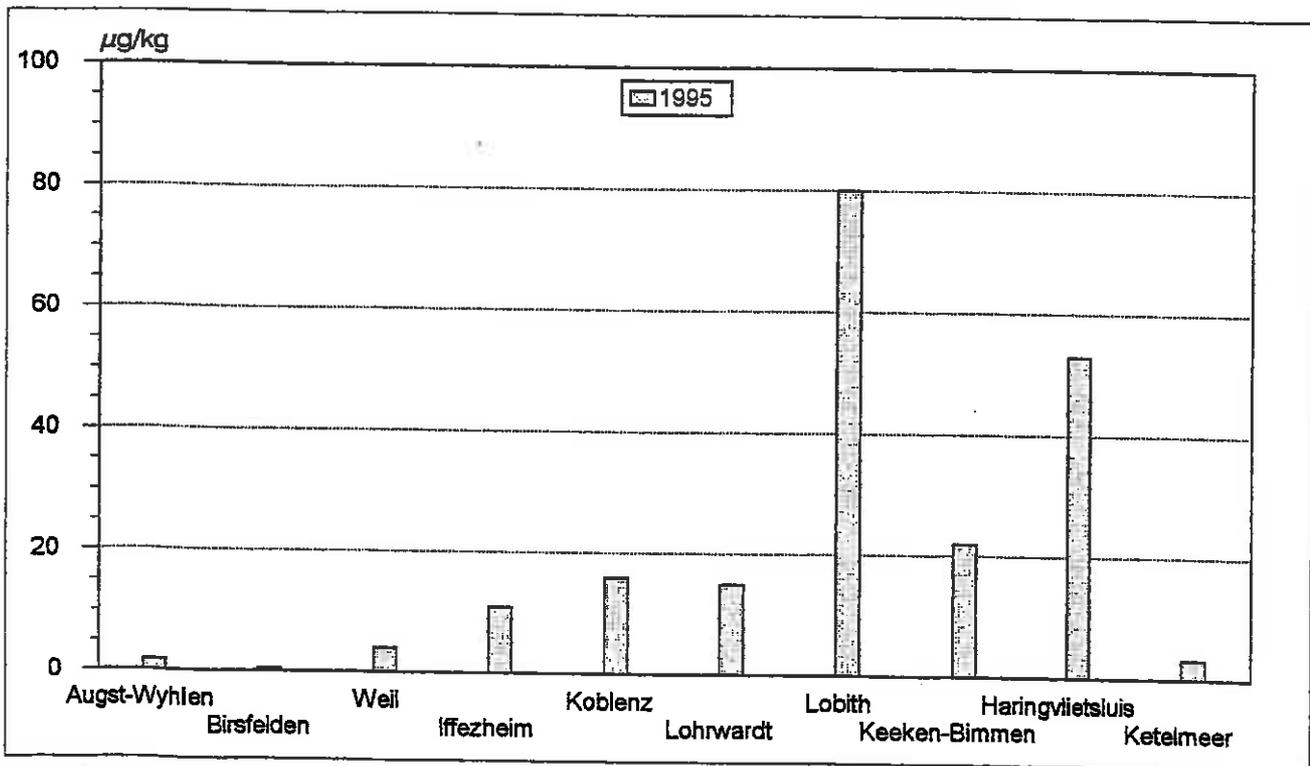


Abb. 3.19: 1,3,5-Trichlorbenzol im Rheinsediment

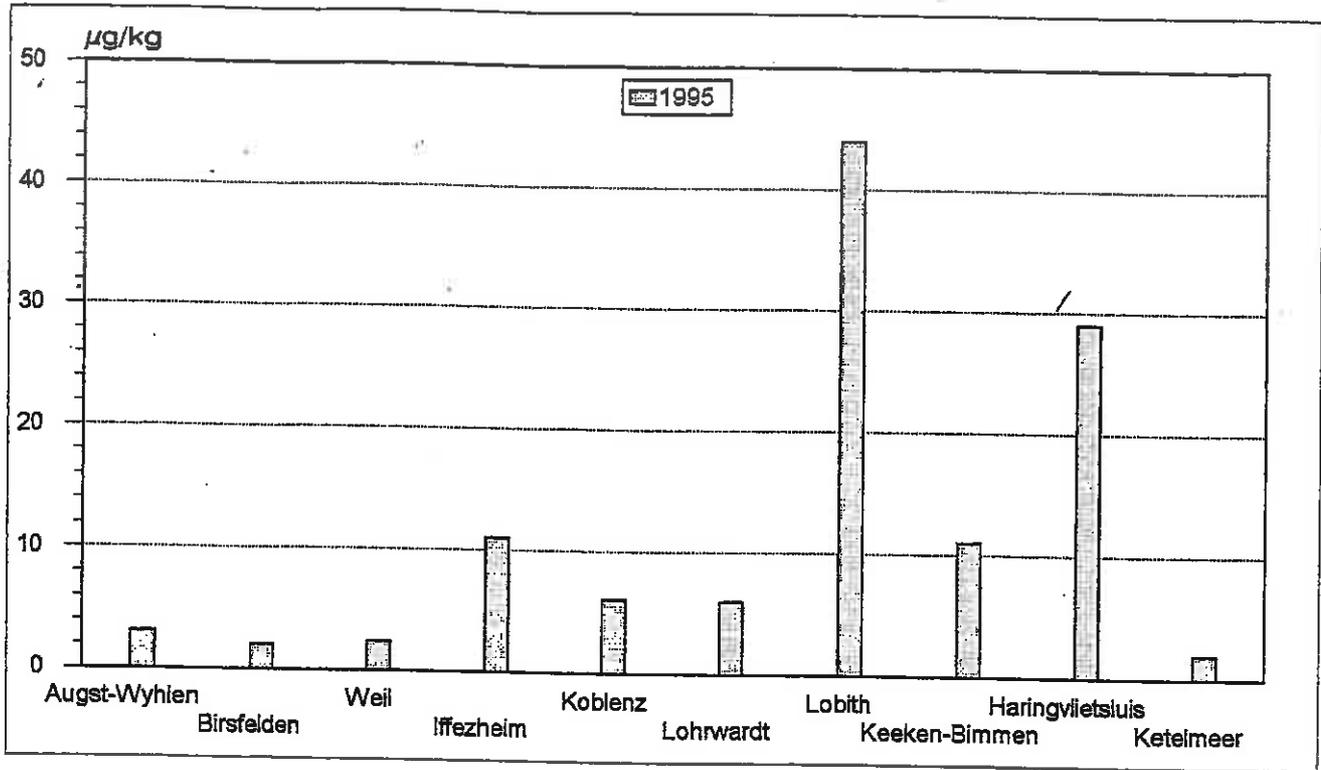


Abb. 3.20: 1,2,4,5-Tetrachlorbenzol im Rheinsediment

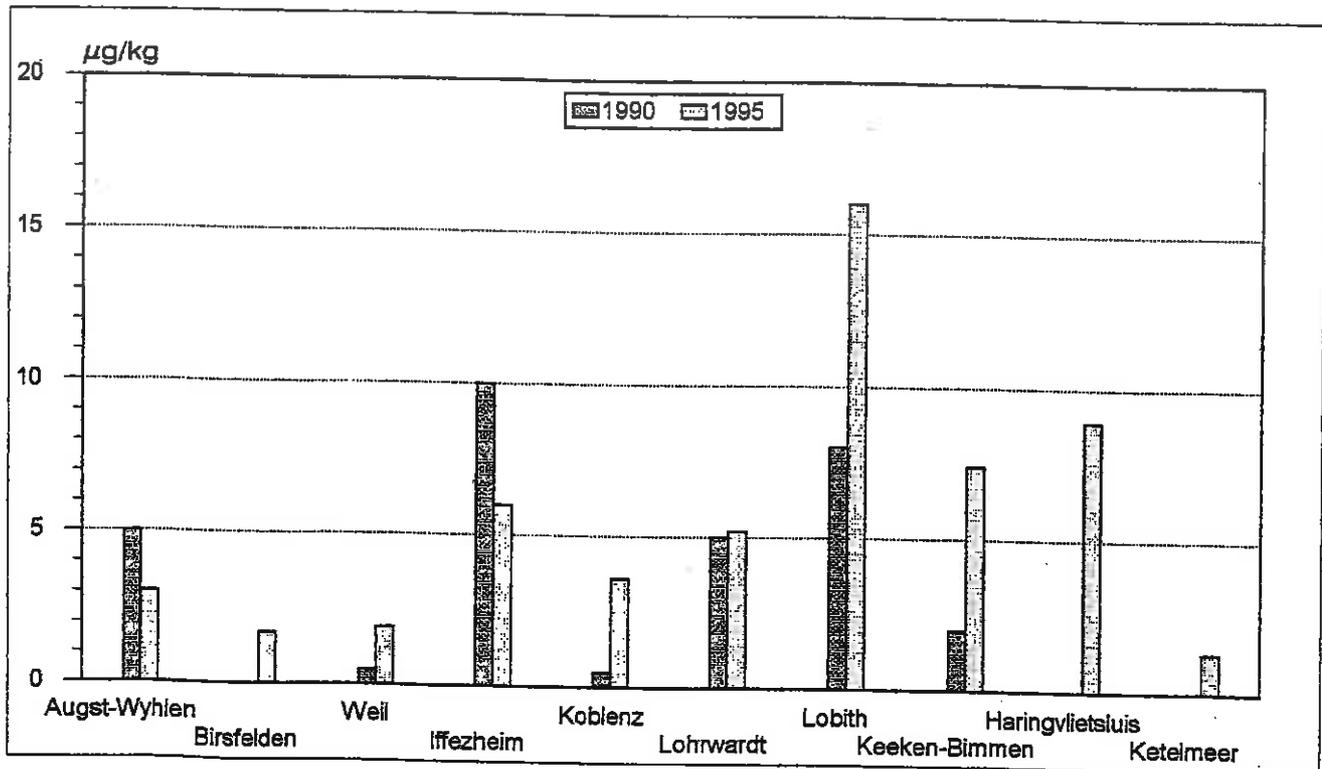


Abb. 3.21: Hexachlorbenzol (HCB) im Rheinsediment

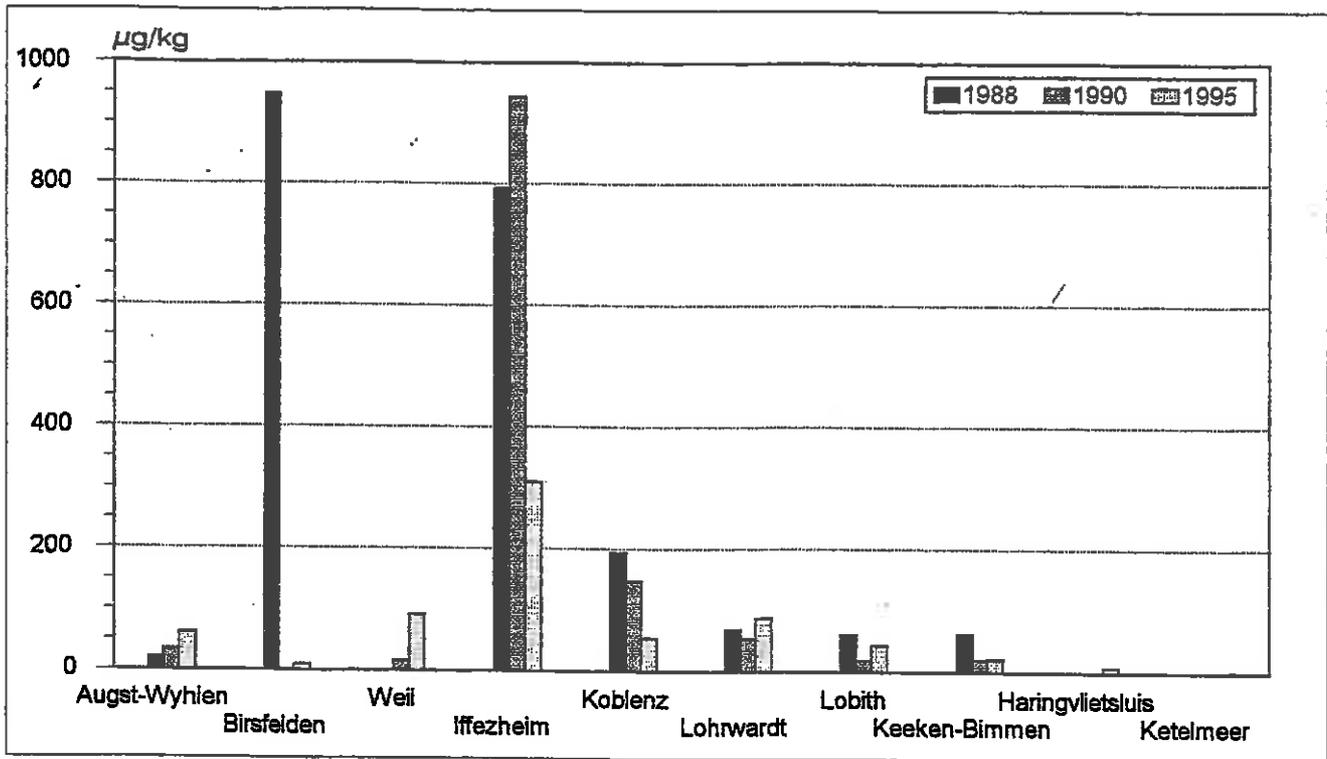


Abb. 3.22: Summe PCB (6 Kongenere) im Rheinsediment

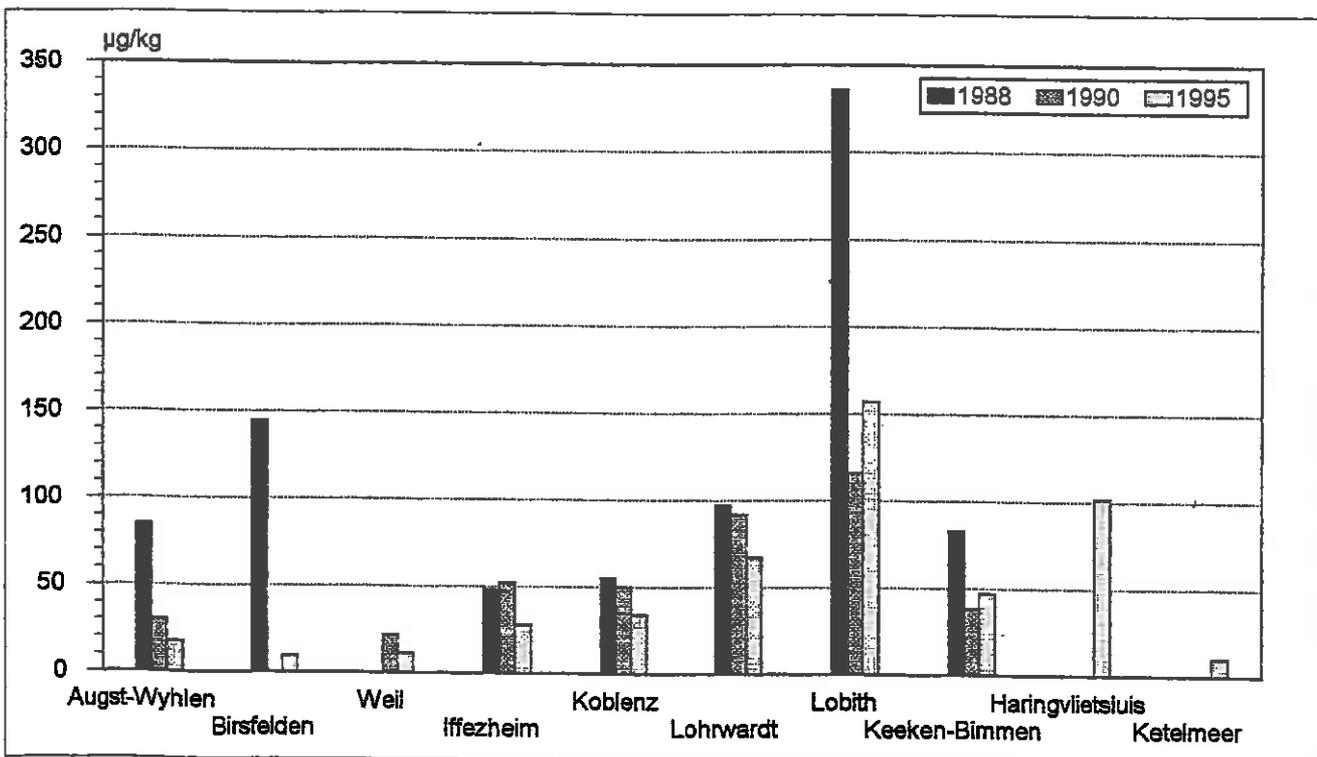


Abb. 3.23: PCB 28 im Rheinsediment

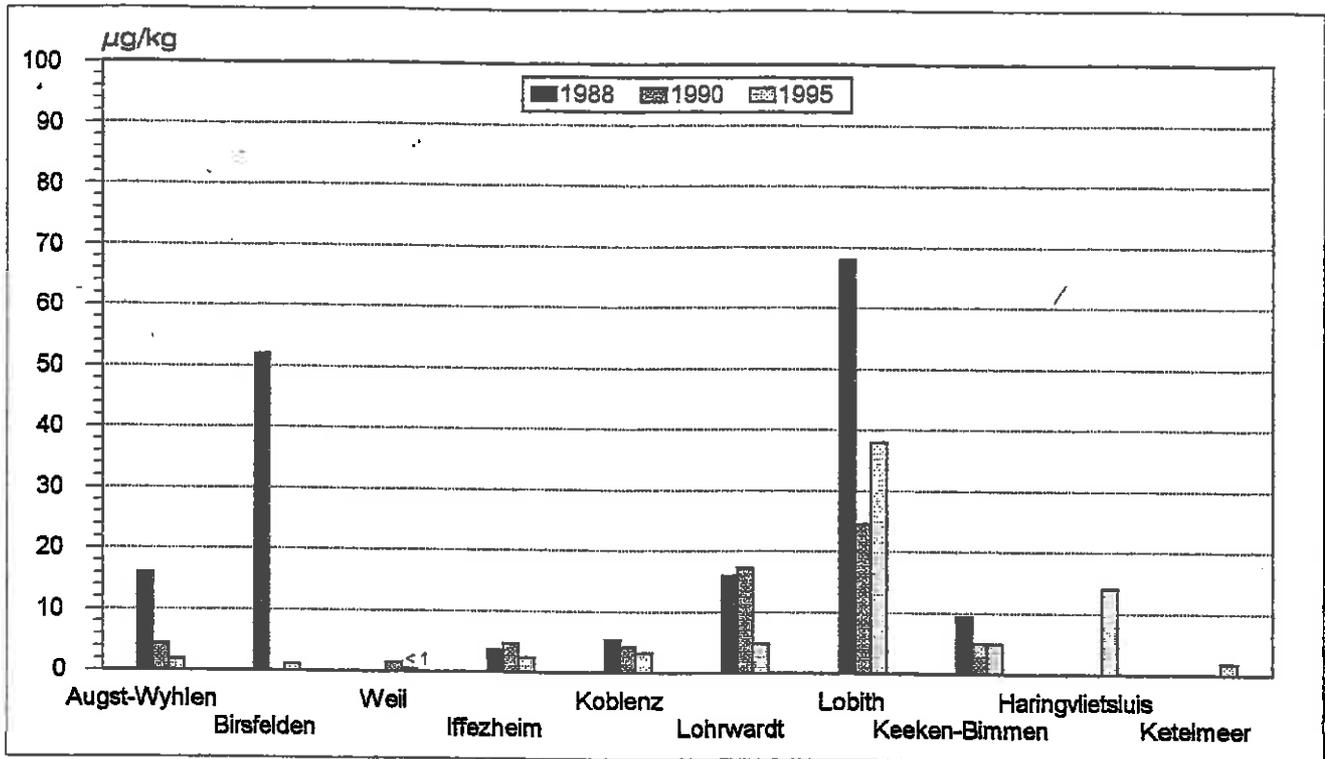


Abb. 3.24: PCB 52 im Rheinsediment

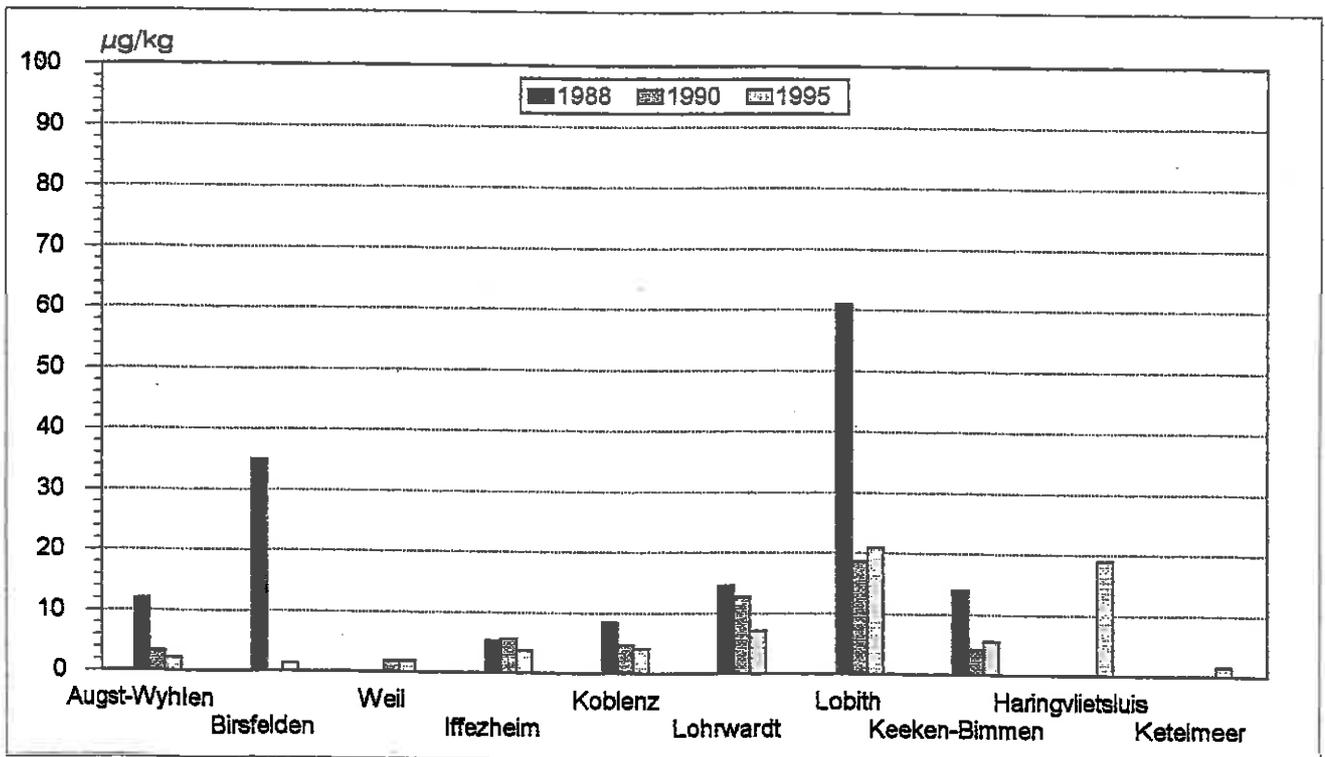


Abb. 3.25: PCB 101 im Rheinsediment

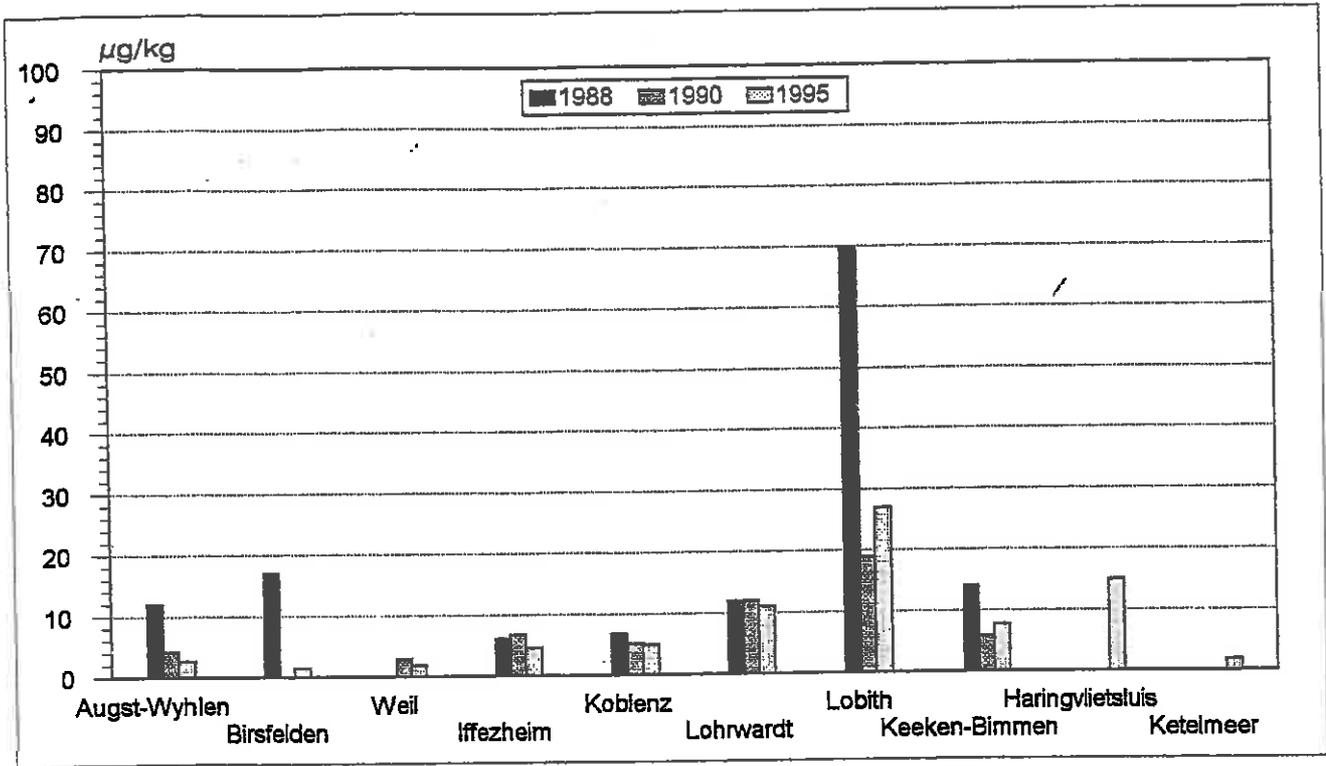


Abb. 3.26: PCB 138 im Rheinsediment

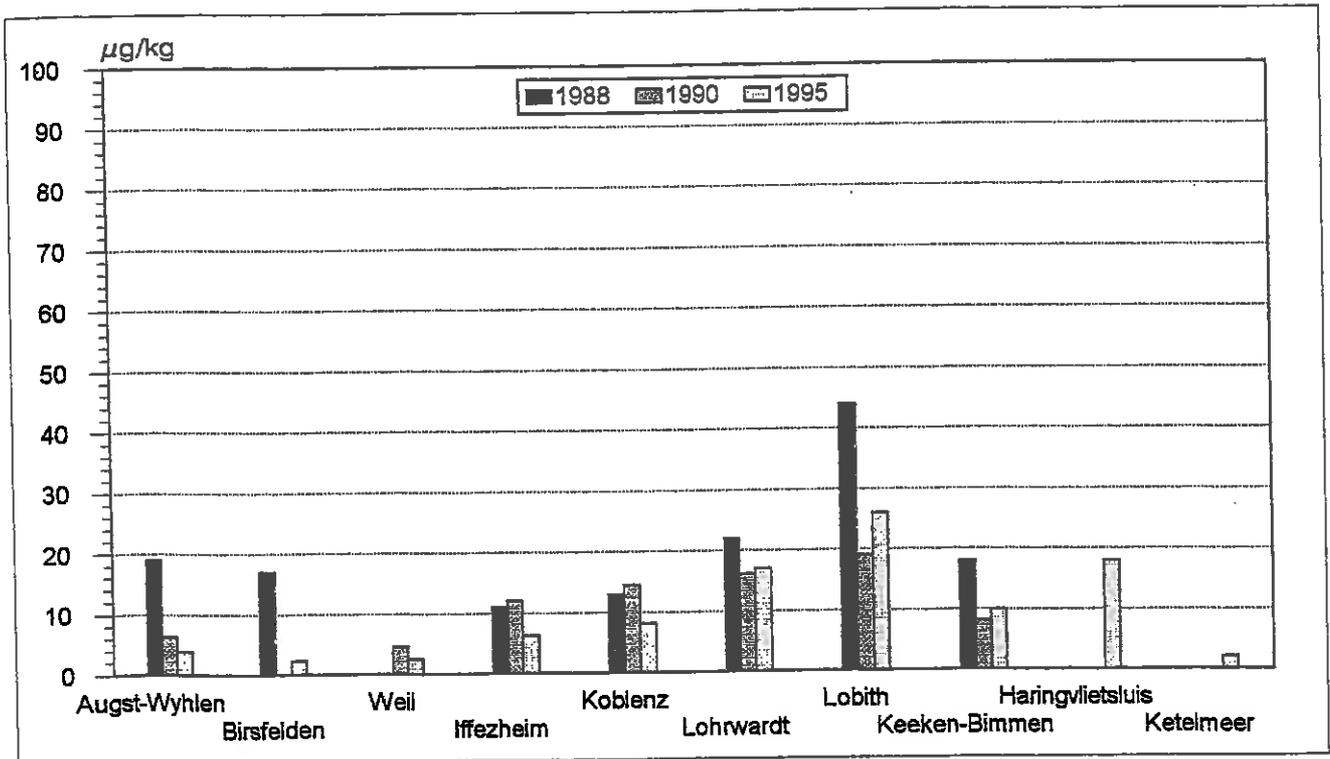


Abb. 3.27: PCB 153 im Rheinsediment

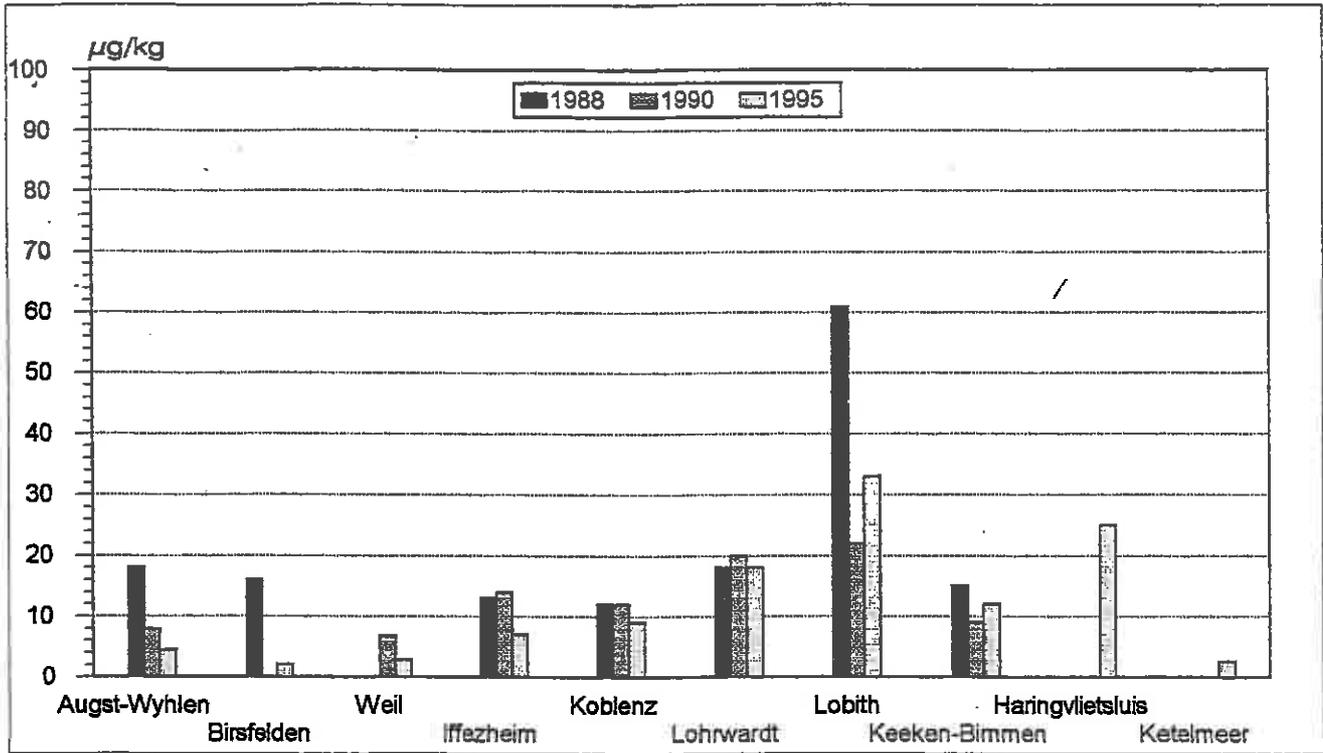


Abb. 3.28: PCB 180 im Rheinsediment

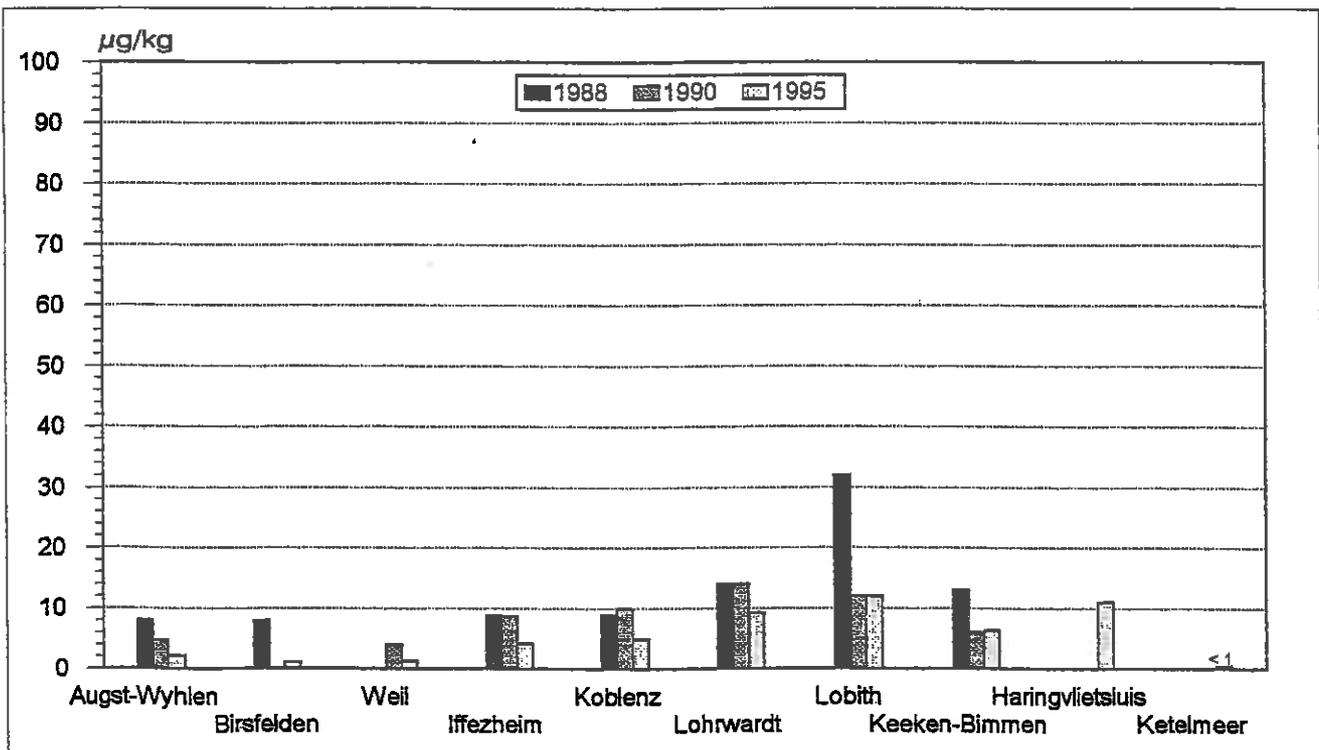


Abb. 3.29: PCB 118 im Rheinsediment

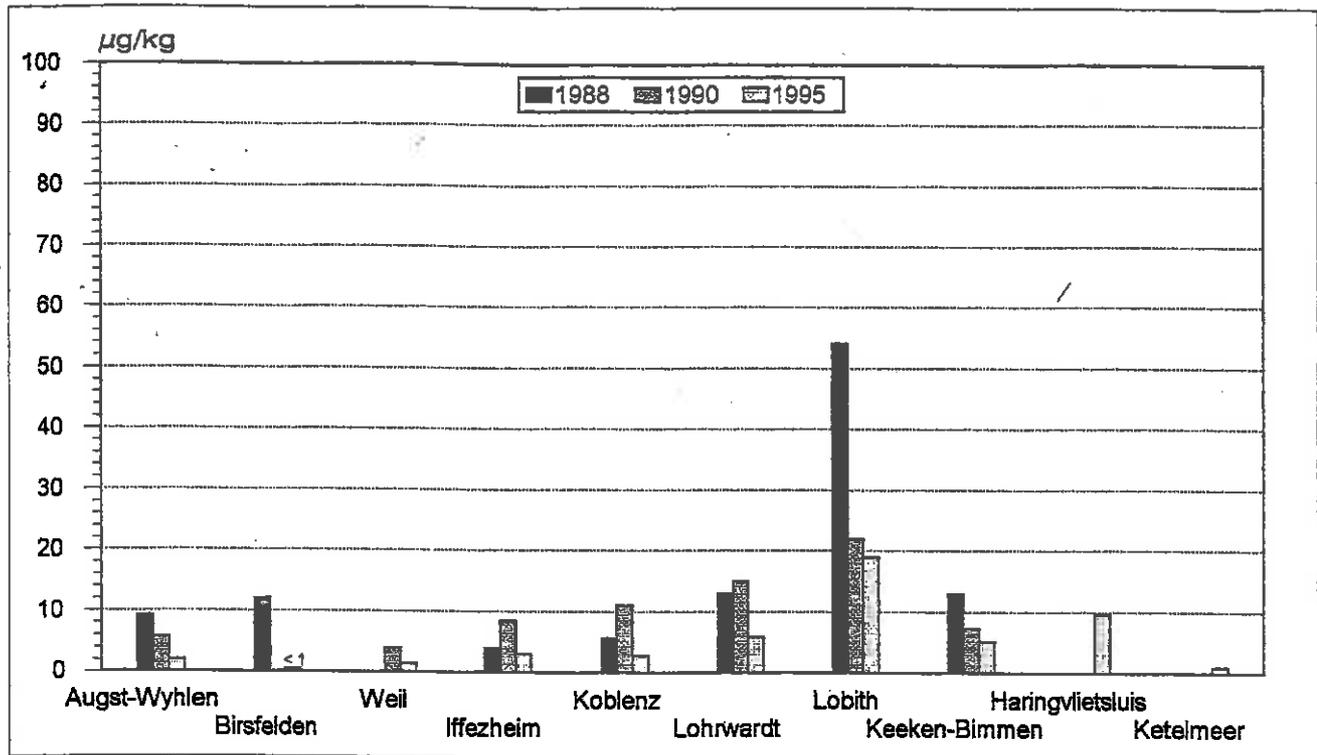


Abb. 3.30: "Dioxine" im Rheinsediment angegeben in internationalen Toxizitätsäquivalenten (ITEQ)

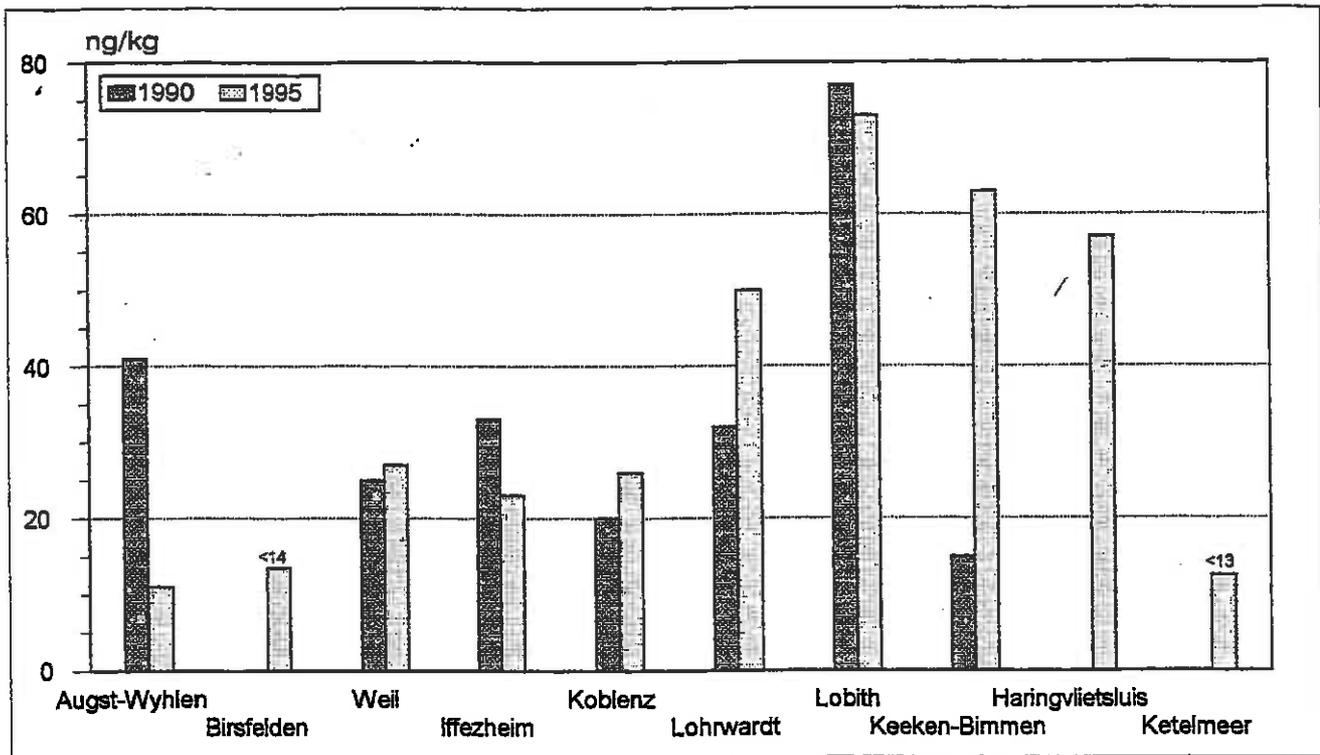


Abb. 3.31: 2,3,7,8-TCDD im Rheinsediment

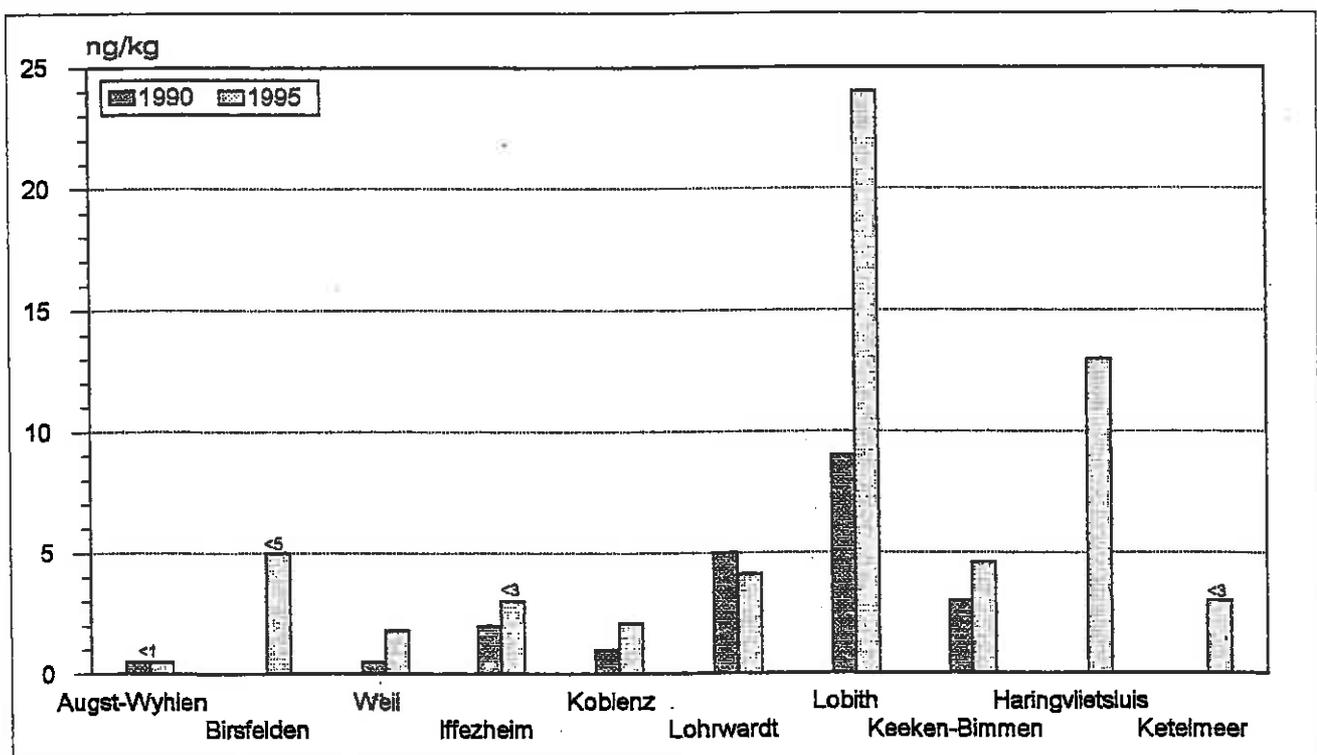


Abb. 3.32: Fluoranthen im Rheinsediment

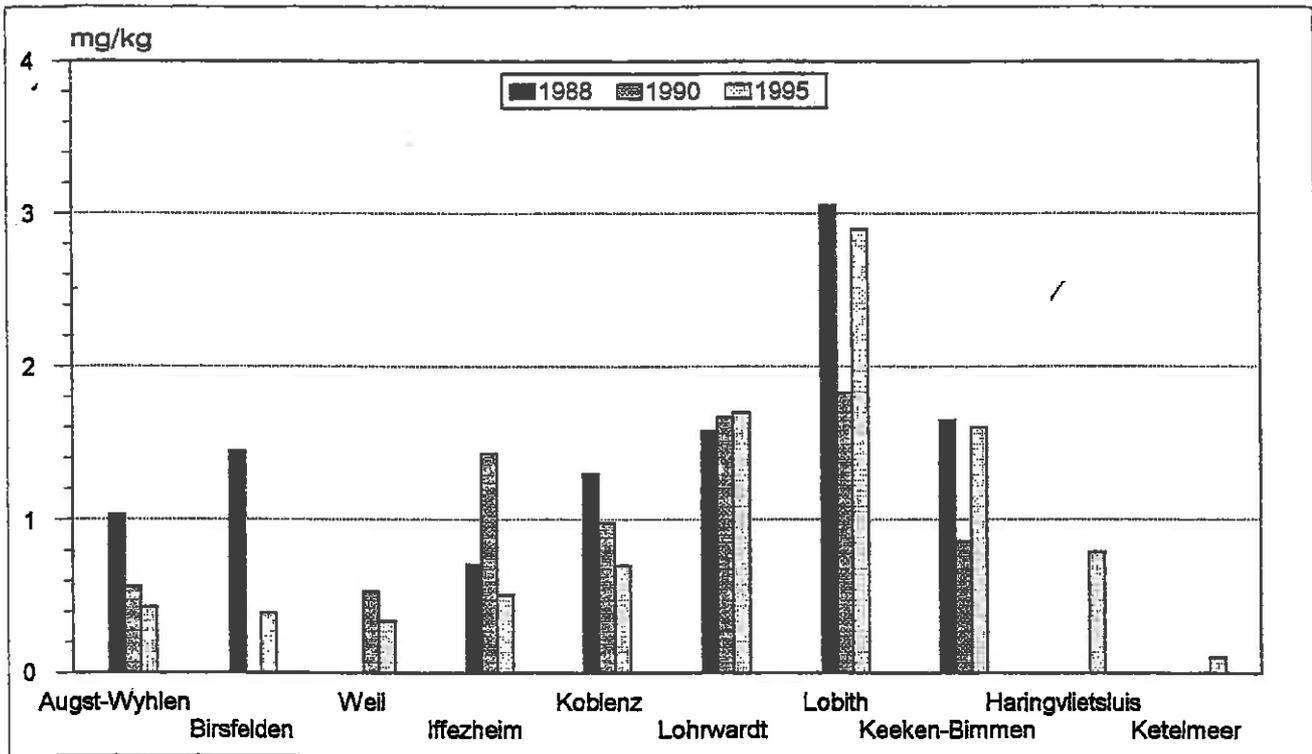


Abb. 3.33: Benzo(b)fluoranthen im Rheinsediment

