

Internationale Kommission zum Schutz des Rheins  
Commission Internationale pour la Protection du Rhin  
Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn

## **Statusbericht Rhein 1995**

### **Sedimentqualität im Längsprofil des Rheins**

- Nationale Messaktionen -



## 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 nationalen Sedimentuntersuchungen 1995
  - 3.1 Altersabschätzung und Qualitätskontrolle
  - 3.2 Korngrößenverteilung
  - 3.3 Allgemeine Meßgrößen
  - 3.4 Stickstoff und Phosphor
  - 3.5 Metalle und Arsen
  - 3.6 Organische Mikroverunreinigungen
4. Zusammenfassung
5. Anlagen

## 1 Einleitung

In Teil A des Statusberichts Rhein 1995 wurde über die Sedimentqualität im Längsprofil des Rheins an den internationalen Meßstellen berichtet (Am 87/97). Teil B dieses Berichts umfaßt die nationalen Sedimentuntersuchungen im Längsprofil des Rheins, wobei in den Abbildungen auch die Ergebnisse des internationalen Meßprogramms zum Vergleich aufgeführt sind. Um die Übersichtlichkeit zu erhalten, erfolgte eine Unterteilung in die Abschnitte Hochrhein bis Koblenz, Koblenz bis Delta (linkes Ufer bzw. südliches Delta) sowie Königswinter bis Rotterdam (rechtes Ufer bzw. nördliches Delta).

Eine erste Bestandsaufnahme der Rheinsedimente erfolgte im Jahr 1988 noch ohne Einbeziehung der nationalen Untersuchungen. In die zweite Bestandsaufnahme im Stichjahr 1990 wurden bereits einige nationale Untersuchungsergebnisse integriert. Aufgrund der von der internationalen Meßaktion abweichenden Probenahmetermine sowie unterschiedlich untersuchten Fraktionen bei den Schwermetallen ergaben sich 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, so daß für das Stichjahr 1995 eine umfassende und vergleichbare Bestandsaufnahme der Sedimentqualität im Längsprofil des Rheins vom Hochrhein bis zum Deltabereich entstanden ist.

Im Bericht über die internationale Meßaktion ist auch der Trend der Sedimentqualität des Rheins seit 1988 beschrieben worden. Wegen der oben beschriebenen Inhomogenität der nationalen Untersuchungen aus dem Jahr 1990 wird in Teil B dieses Berichts nur auf die Bestandsaufnahme 1995 eingegangen.

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 (Tab. 2.1) sowie 22 nationale Meßstellen (Tab. 2.2). Gegenüber der Bestandsaufnahme 1990 wurde das internationale Meßstellennetz um Birsfelden am Hochrhein, Haringvlietsluis im Rhein-Maas-Delta und Ketelmeer am Übergang ins IJsselmeer erweitert.

Die nationalen Untersuchungen waren im Gegensatz zu 1990 mit der internationalen Untersuchung abgestimmt. Zusätzlich haben die Bundesländer Baden-Württemberg (6 Meßstellen und Rheinland-Pfalz (2 Meßstellen) die Ergebnisse ihrer Untersuchungen übermittelt (Tab. 2.3).

### 2.1 Probenahme

Die Sedimentproben an nahezu allen internationalen Meßstellen und allen nordrhein-westfälischen Meßstellen wurden im September 1995 von Bord des Laborschiffes "Max Prüss" aus mit einem Greifer entnommen. Ausnahmen bildeten die Meßstellen Ketelmeer, Haringvlietsluis, Rotterdamse Hoek im IJsselmeer sowie Hagestein (Lek), die vom RIZA im Oktober 1995 ebenfalls mit einem Greifer beprobt wurden, ebenso 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 mit einem Schöpfbecher entnommen wurden.

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

Tabelle 2.2: Nationale Meßstellen

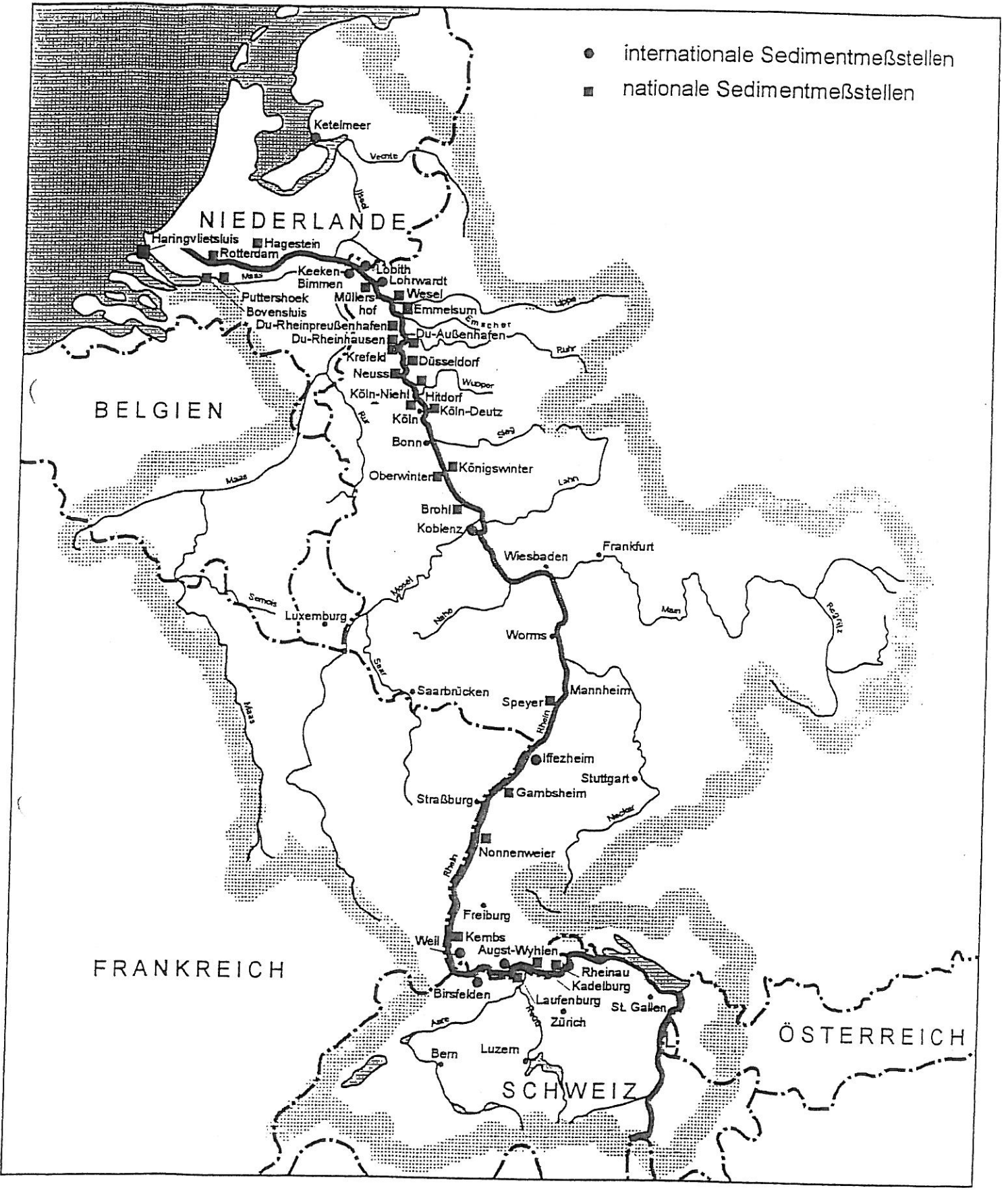
Meßstelle Probenahme	Rhein-km	Datum	der
CH Kadelburg	90 rechts	19.09.1995	
CH Laufenburg	113 links	19.09.1995	
F Kembs	180 rechts	17.09.1995	
D Oberwinter	639,1 links	11.09.1995	
D Königswinter	646,7 rechts	11.09.1995	
D Köln-Deutz	687,3 rechts	10.09.1995	
D Köln-Niehl	695,6 links	10.09.1995	
D Hitdorf	706,9 rechts	10.09.1995	
D Neuss-Gnadenenthal	735,8 links	10.09.1995	
D Düsseldorf	743,1 rechts	10.09.1995	
D Krefeld	764,1 links	10.09.1995	
D Duisburg-Rheinhausen	773,6 links	10.09.1995	
D Duisburg, Außenhafen	776,6 rechts	10.09.1995	
D Duisburg, Rheinpreußenhafen	781,1 links	09.09.1995	
D Emmelsum, Kanaleinfahrt	813,1 rechts	09.09.1995	
D Wesel	814,6 rechts	09.09.1995	
D Baggerloch am Müllershof	848,2 links	09.09.1995	
NL Hagestein (Lek)	943 nördliches Delta	16.10.1995	
NL Puttershoek (Oude Maas)	983,5 südliches Delta	07.09.1995	
NL Bovensluis (Hollandsch Diep)	990 südliches Delta	07.09.1995	
NL Rotterdam (Nieuwe Maas)	992,3 nördliches Delta	07.09.1995	
NL Rotterdamse Hoek (IJsselmeer)	1030	24.10.1995	
NL Haringvlietsluis*	1025 südliches Delta	16.10.1995	

\* Diese Meßstelle wurde ebenfalls im Bericht „Sedimentqualität im Längsprofil des Rheins Teil A“ ausgewertet

Tabelle 2.3: Weitere nationale Untersuchungen

Meßstelle	Rhein-km	Datum der Probenahme
D Rheinau	56	12.12.1994
D Birsfelden	162	22.11.1995
D Weil	174 rechts	20.11.1995
D Nonnenweier	268,5	16.11.1995
D Gamsheim	307,9	16.11.1995
D Iffezheim	331,6	28.11.1995
D Speyer	400,4 links	06.09.1995
D Brohl	621,5 links	04.09.1995

Abb. 2.1: Lage der internationalen und nationalen Sedimentmeßstellen



## 2.2 Weitere Behandlung und Analyse der Proben

Folgende Untersuchungen wurden an den nationalen Meßstellen im einzelnen durchgeführt:

<u>Untersuchungsgruppe</u>	<u>Institut</u>
Altersabschätzung	alle Meßstellen der Tabelle 2.2 LUA außer IJsselmeer RIZA (nur Cs-137)
Korngrößenverteilung	alle Meßstellen der Tabelle 2.2 außer Deltagebiet LUA, Deltagebiet RIZA
Allgemeine Meßgrößen	Kadelburg, Laufenburg GSA, LUA Kembs bis Baggerloch am Müllershof LUA Deltagebiet RIZA
Schwermetalle (< 20 µm-Fraktion)	alle Meßstellen der Tabelle 2.2 außer IJsselmeer LUA, Deltagebiet außer IJsselmeer RIZA Meßstellen der Tabelle 2.3 Baden-Württemberg bzw. Rheinland-Pfalz (Speyer und Brohl)
Organische Mikroverunreinigungen	GSA, LUA, RIZA
Dioxine	LUA an ausgewählten Meßstellen
Organische Zinnverbindungen	LUA

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

## 2.3 Hydrologische Bedingungen während der Probenahme

Der langjährige Abflußmittelwert des Rheins beträgt bei Lobith etwa 2200 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/s. Das letzte kleinere Hochwasser lag 3 Monate zurück, so daß an den meisten 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. Die baden-württembergischen Meßstellen wurden erst im November bei ansteigenden Wasserständen beprobt, so daß hier mit erhöhten Anteilen älterer Sedimente gerechnet werden muß.



### 3 Ergebnisse der Sedimentuntersuchung 1995

In diesem Kapitel sind die wesentlichen Ergebnisse der nationalen Untersuchungen 1995 zusammen mit den internationalen Meßstellen beschrieben. Bei den Metallen und Arsen erfolgt zusätzlich ein Vergleich mit den Zielvorgaben. Die kompletten Ergebnisse der nationalen Untersuchungen sind den Tabellen im Anhang zu entnehmen, die Ergebnisse der internationalen Meßstellen befinden sich in Teil A dieses Berichts (Am 87/97).

#### 3.1 Altersabschätzung

Fast alle Proben der nationalen Meßstellen enthielten frisches Material mit geringen Gewässerbodenanteilen und sind daher gut mit den internationalen Untersuchungen vergleichbar (Abb. 3.1). Ausnahmen bilden die Meßstellen Hagestein an der Lek und Puttershoek mit hohen Gewässerbodenanteilen sowie Rotterdamse Hoek im IJsselmeer, die aufgrund des hohen Cäsium-137-Gehaltes dem Rheinsediment Ende der 80er Jahre entspricht. Diese Meßstelle wurde daher in den Abbildungen nicht berücksichtigt. Die Meßstelle Wesel bei Rhein-km 814,6 rechts, unmittelbar unterhalb der Lippe-Mündung gelegen, ist stark von der Lippe beeinflusst. Der Anteil an Lippesediment beträgt an dieser Meßstelle aufgrund der zusätzlich durchgeführten Bestimmungen von Bismut-214 und Actinium-228 etwa 50 - 70 %. Mit den Sedimentproben in Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg wurde keine Altersabschätzung durchgeführt.

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

### 3.2 Korngrößenverteilung

Die Korngrößenverteilung (Abb. 3.2.1a-c) weist an den meisten Meßstellen 1995 einen sehr gleichförmigen Verlauf auf. Im Abschnitt Hochrhein bis Koblenz liegt der Anteil der < 20 µm-Fraktion in der Regel zwischen 40 und 50 %, lediglich an den Meßstellen Kadelburg und Kembs liegt dieser Anteil bei nur etwa 30 %. Auch am linken Ufer des Rheinabschnitts Koblenz bis Haringvlietsluis liegen die Anteile der < 20 µm-Fraktion meist zwischen 40 und 50 %, Ausnahmen bilden hier die Meßstellen Köln-Niehl und Krefeld mit etwa 60 % und die internationale Meßstelle Haringvlietsluis mit 72 %, die damit die Meßstelle mit dem höchsten Feinschluffanteil darstellt. An der rechten Uferseite dieses Rheinabschnitts sind die < 20 µm-Anteile mit Werten zwischen 50 und 60 % durchschnittlich etwas höher (Ausnahme Lohrwardt mit 39 %). Von den nationalen Meßstellen in Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz liegen keine Daten vor, von den niederländischen Meßstellen aufgrund einer anderen Fraktionierung nur vergleichbare Werte zur Tonfraktion und zur < 63 µm-Fraktion.

Bei der < 63 µm-Fraktion liegen die Anteile auf der Strecke bis Koblenz mit Ausnahme der Meßstelle Kembs zwischen 70 und 80 %. Dies gilt auch für die meisten Meßstellen am linken Niederrheinufer. Die Meßstellen Köln-Niehl, Krefeld und Haringvlietsluis weisen mit 85 - 95% einen sehr hohen Feinkornanteil auf, während in Keeken-Bimmen nur 63 % Feinkorn vorliegen. Rechtsrheinisch liegen die Anteile der < 63 µm-Fraktion mit 80 bis 90 % etwas höher, mit Ausnahme des Duisburger Außenhafens, Lobiths und insbesondere Lohrwardts. Bei den niederländischen Meßstellen liegen die Anteile zwischen 66 % in Rotterdam und 90 % an der Bovensluis im Hollandsch Diep.

Die Grobsandanteile liegen an allen Meßstellen mit Ausnahme von Keeken-Bimmen (23 %) deutlich unter 10 %.

Abb. 3.2.1a: Korngrößenverteilung im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

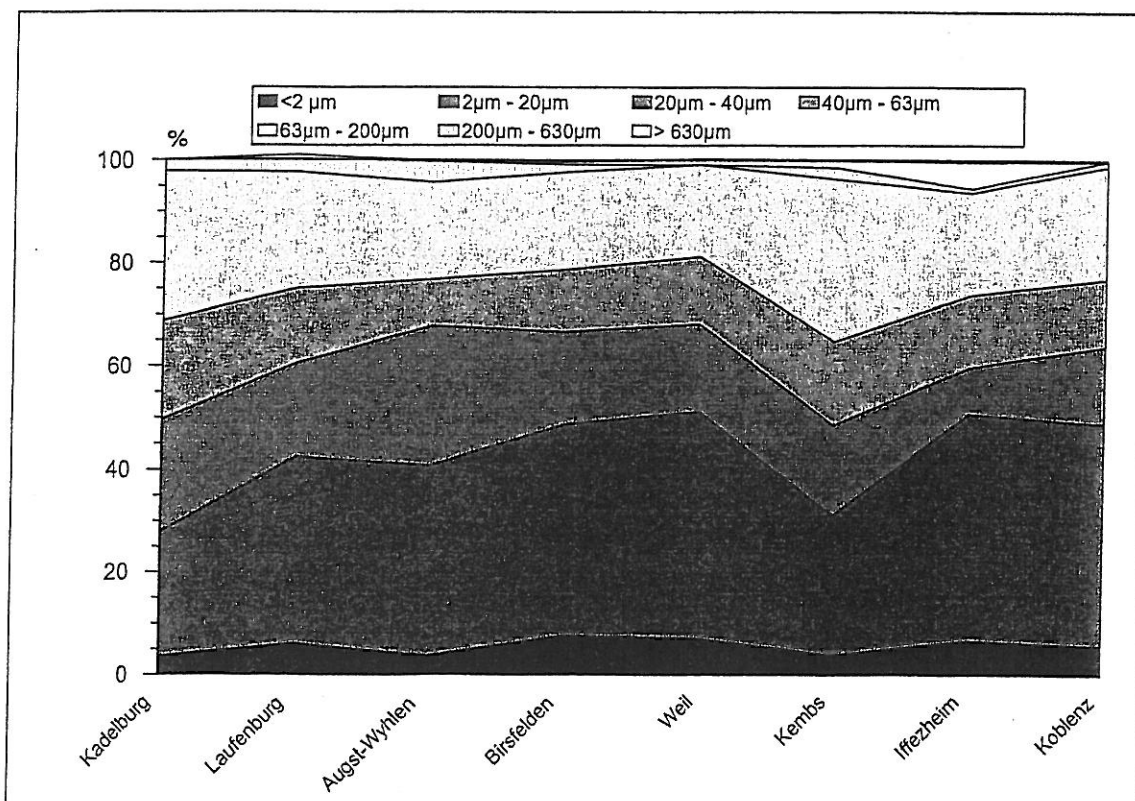


Abb. 3.2.1b: Korngrößenverteilung im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

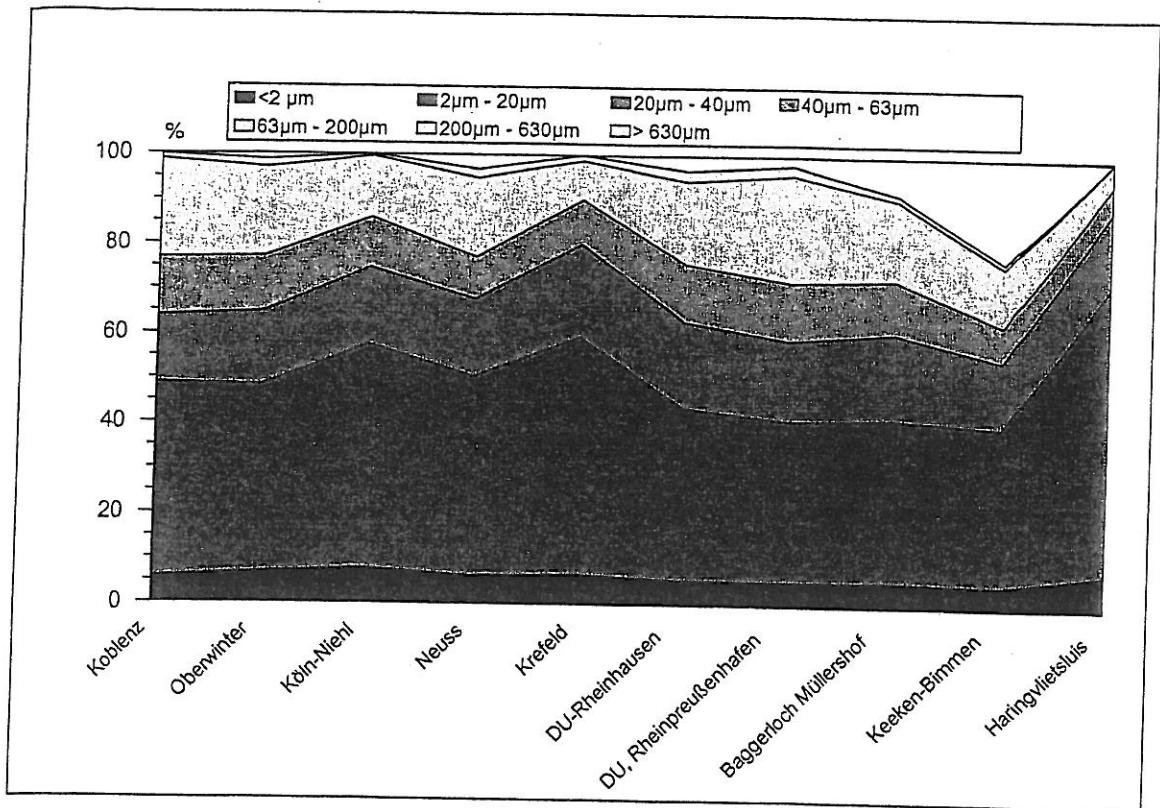
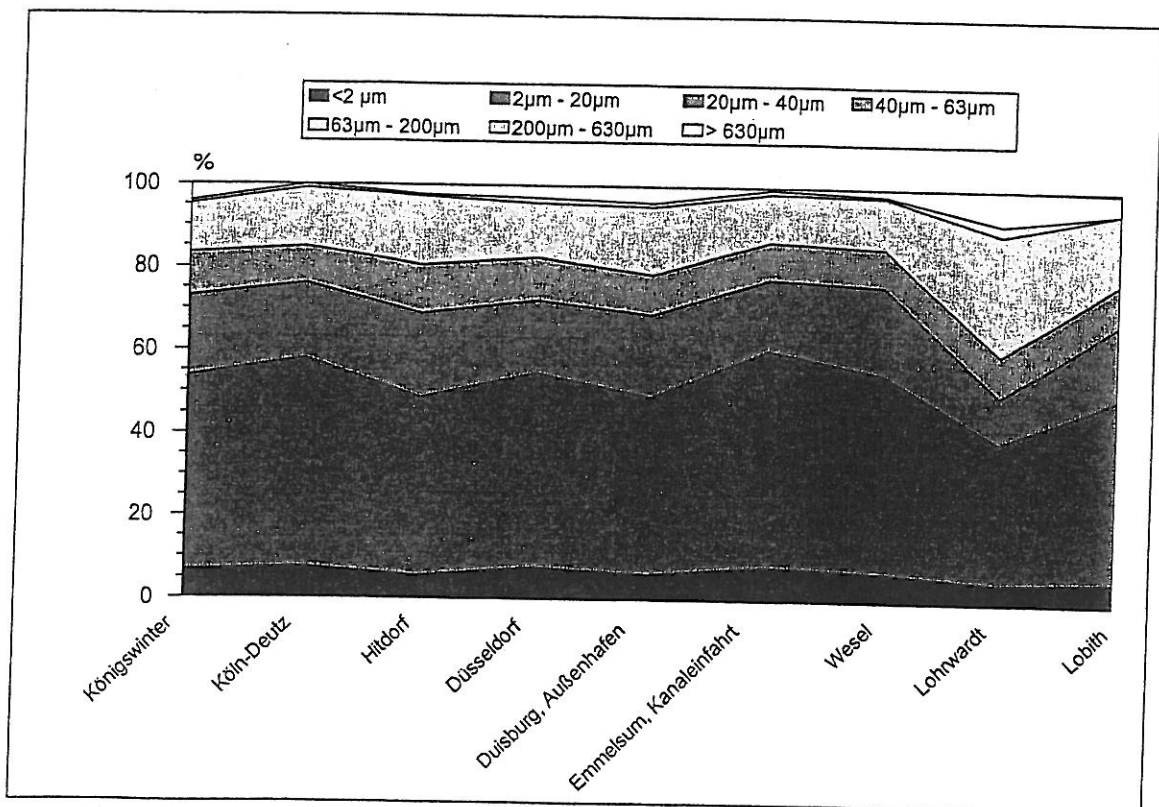


Abb. 3.2.1c: Korngrößenverteilung im Rheinabschnitt Königswinter bis Lobith, rechtes Ufer



### 3.3 Allgemeine Meßgrößen

#### 3.3.1 TOC

Von Kadelburg bis Augst-Wyhlen steigt der TOC-Gehalt (Abb. 3.3.1a-c) von 1,8 auf 2,7 % an und verbleibt bis Koblenz auf diesem Niveau. Ab Oberwinter liegen die Gehalte linksrheinisch bei 3 %, an der Meßstelle Puttershoek dagegen bei 1,3 %. Die meisten rechtsrheinischen Meßstellen weisen TOC-Gehalte von über 3 % auf, in Wesel und Lobith deutlich über 4 %. In Hagestein an der Lek liegt der TOC-Gehalt bei 2 %.

Abb. 3.3.1a: Organischer Kohlenstoff (TOC) im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

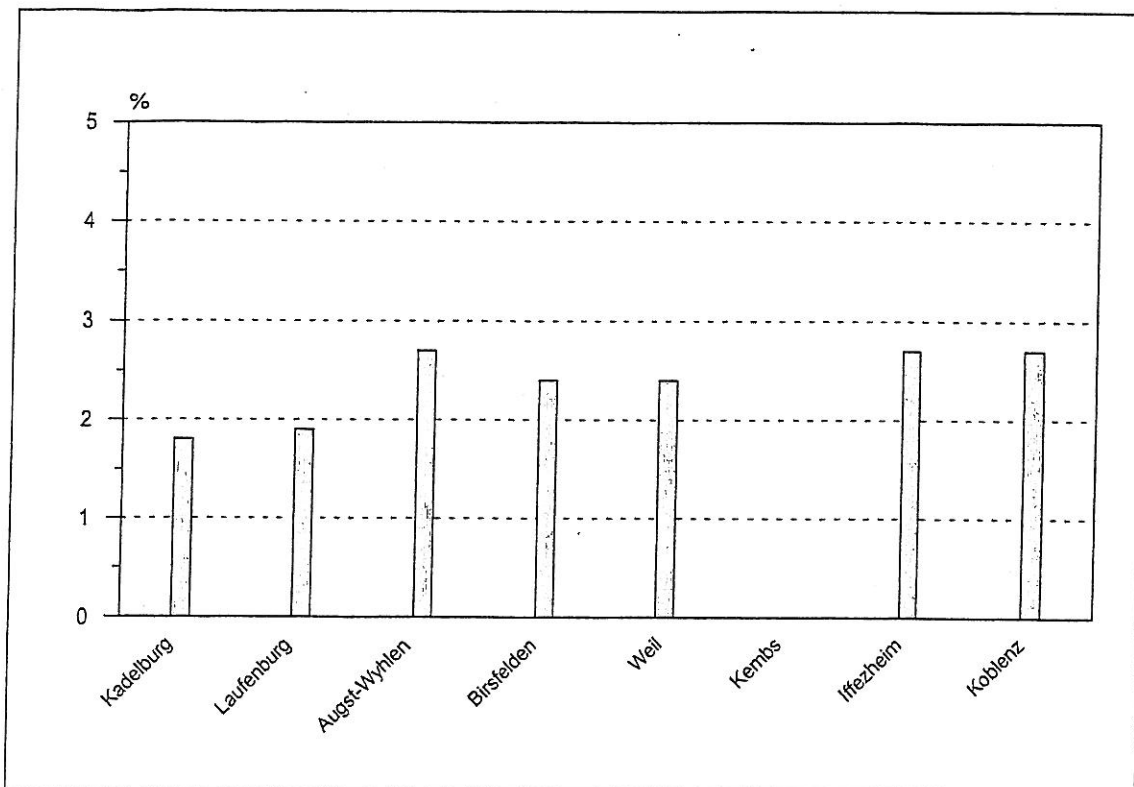


Abb. 3.3.1b: Organischer Kohlenstoff (TOC) im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

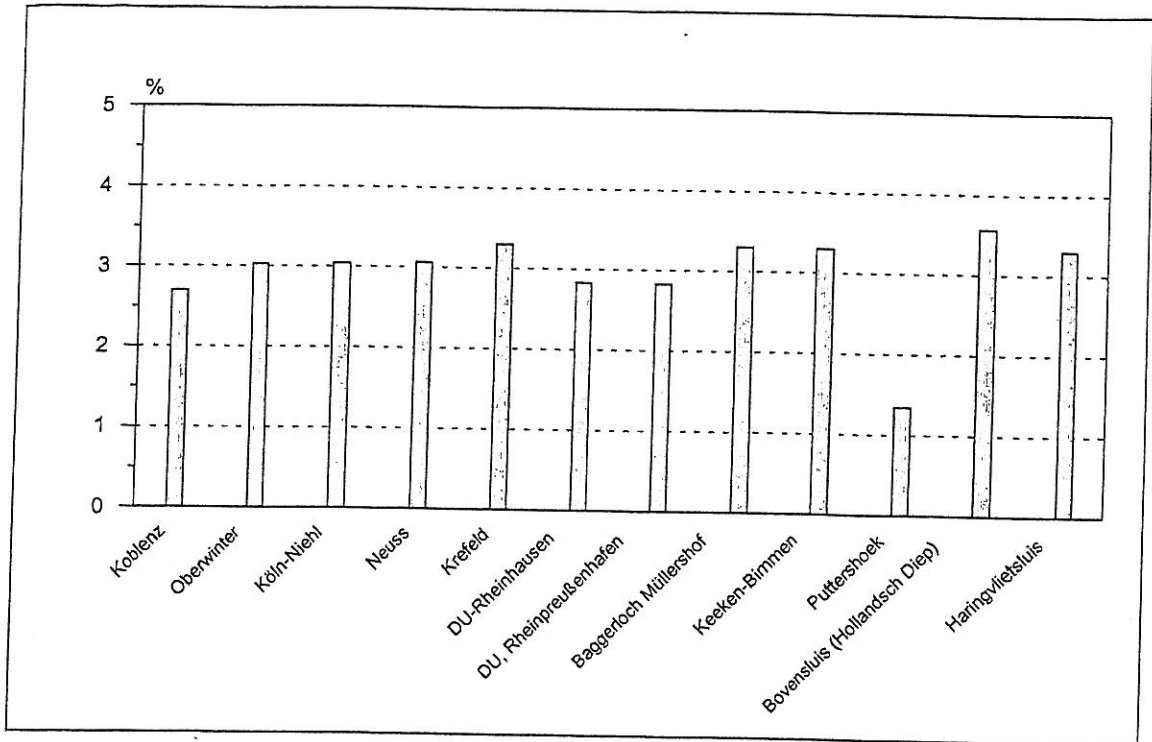
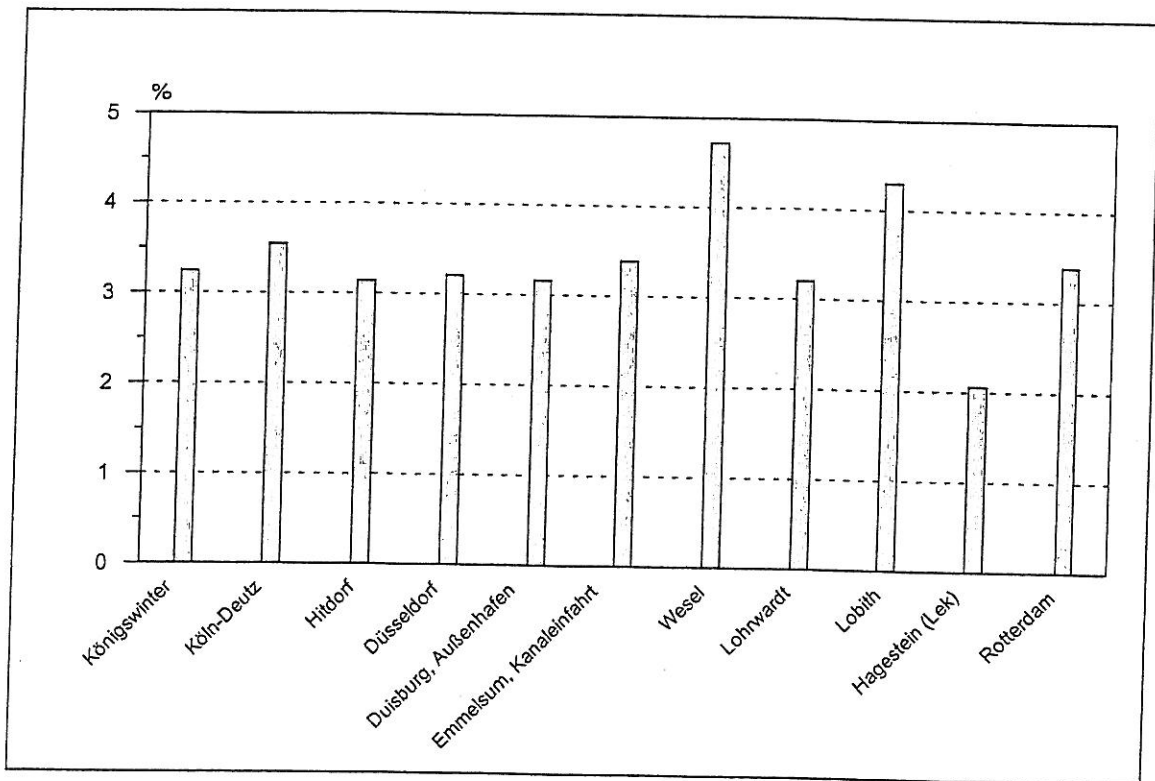


Abb. 3.3.1c: Organischer Kohlenstoff (TOC) im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



### 3.3.2 Extrahierbare organische Halogenverbindungen (EOX)

Sehr unterschiedlich verlaufen die EOX-Gehalte längs des Rheins. Am Hoch- und Oberrhein schwanken die Gehalte von  $< 0,1$  mg/kg in Weil bis 0,8 mg/kg in Iffezheim, am linken Niederrhein von 0,2 mg/kg am Duisburger Rheinpreußenhafen bis 0,8 mg/kg in Neuss. Rechtsrheinisch liegt mit 1,5 mg/kg am Hafen Hitdorf der Belastungsschwerpunkt. Vom Duisburger Außenhafen gehen die EOX-Gehalte von 0,9 mg/kg auf 0,6 mg/kg in Lohrwardt und Lobith zurück.

Untersuchungen des LUA aus dem Jahr 1993 ergaben für die Meßstellen Düsseldorf und Duisburg Außenhafen mit 1,3 bzw. 1,4 mg/kg eine höhere Belastung, am Hafen Hitdorf lag der EOX-Gehalt mit 0,8 mg/kg 1993 dagegen um fast die Hälfte niedriger. Die Ergebnisse an den weiteren nordrhein-westfälischen Meßstellen lagen überwiegend in der gleichen Größenordnung wie 1995.

Abb. 3.3.2a: EOX im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

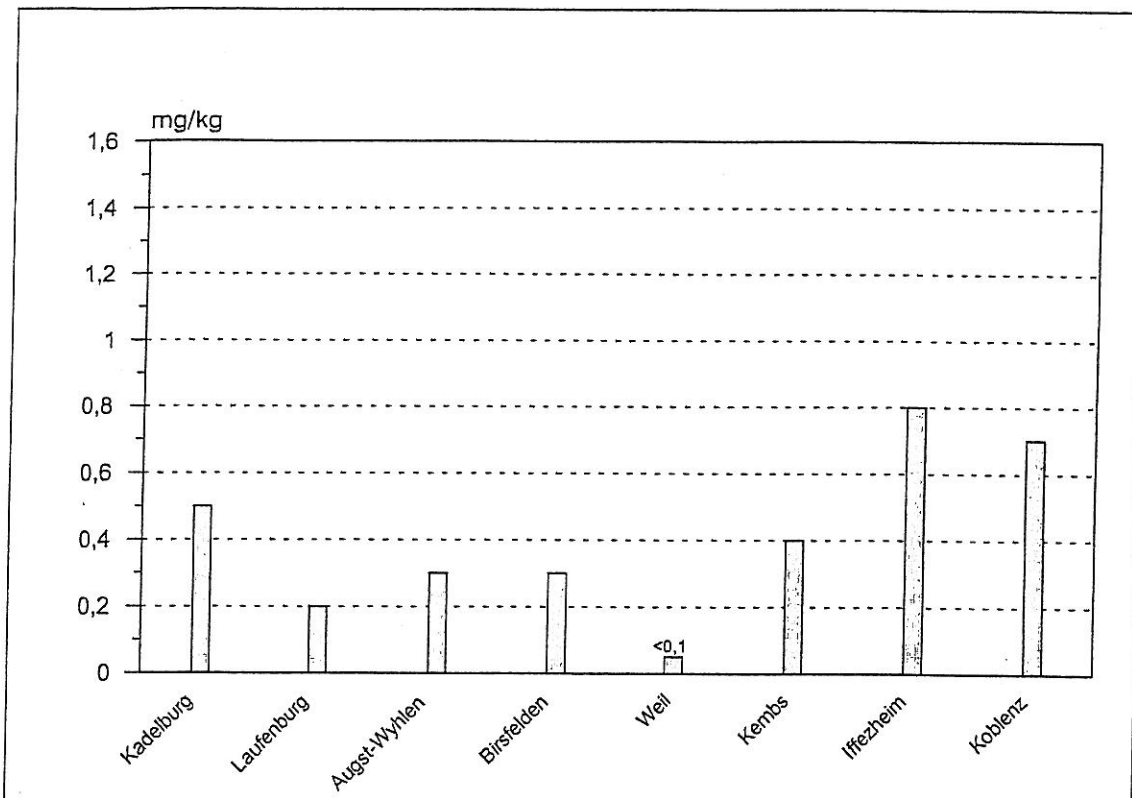


Abb. 3.3.2b: EOX im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

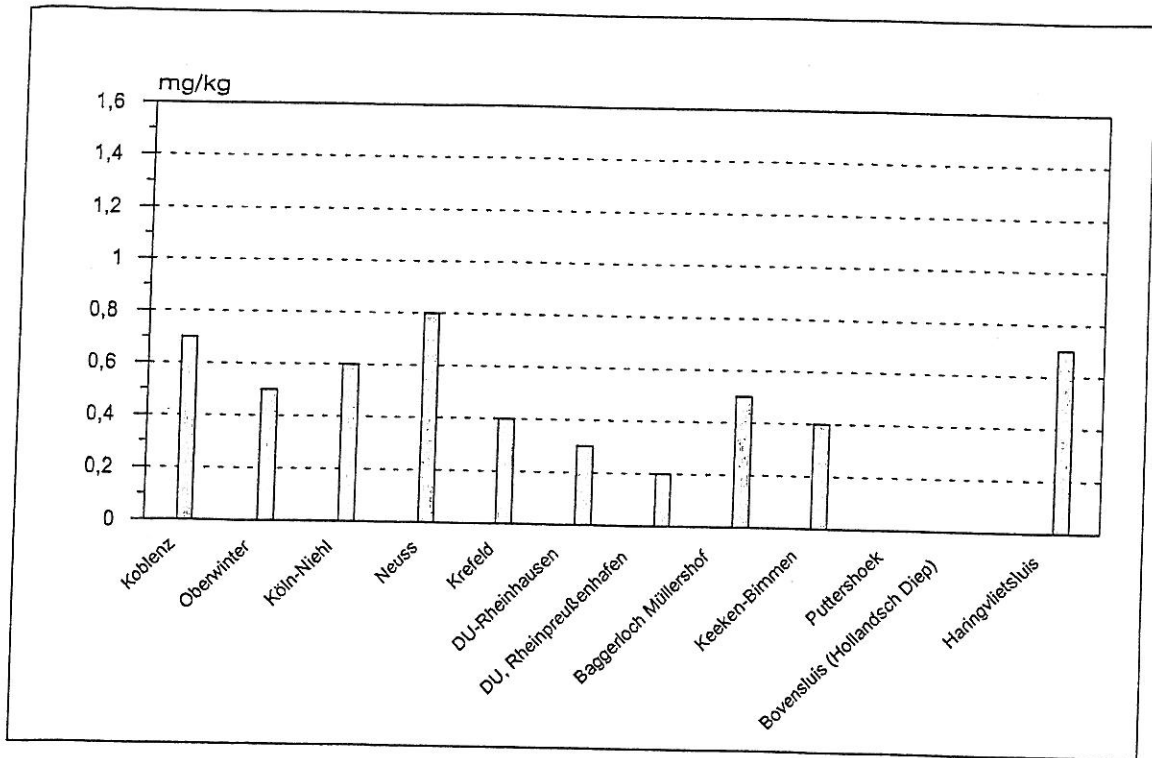
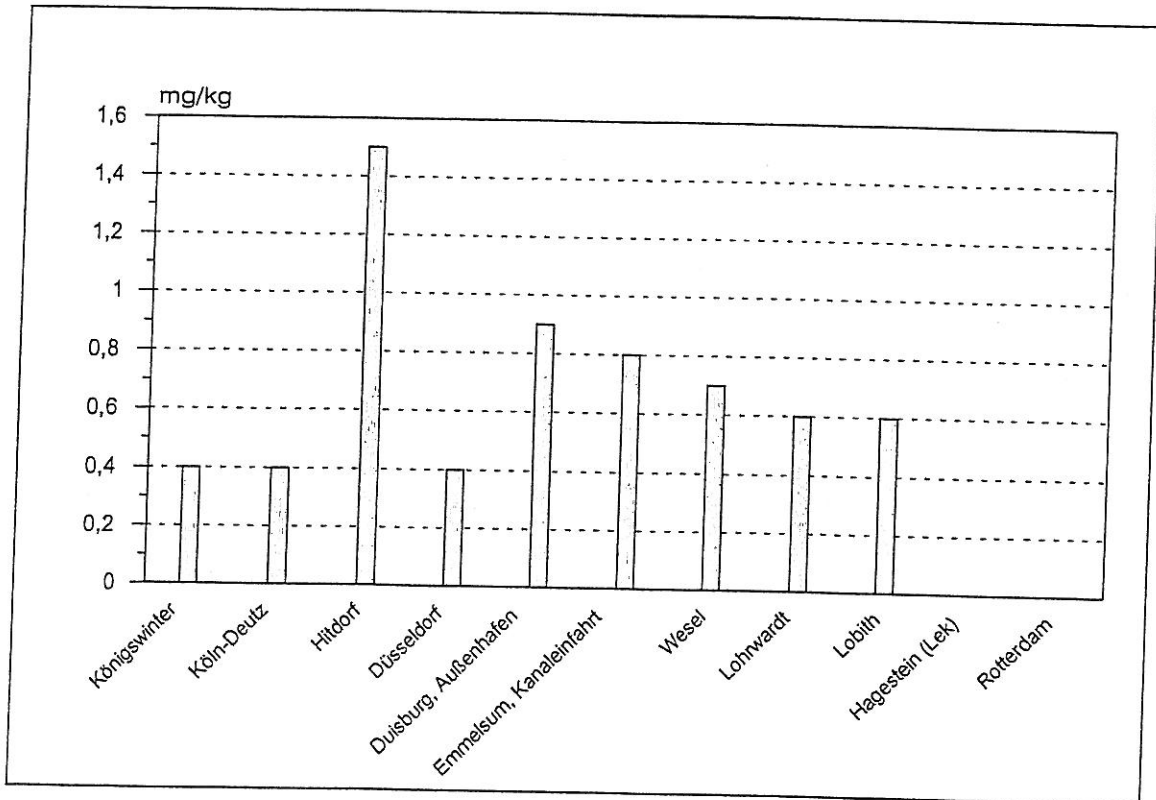


Abb. 3.3.2c: EOX im Rheinabschnitt Königswinter bis Lobith, rechtes Ufer



### 3.4 Stickstoff und Phosphor

Die Gesamt-Stickstoffgehalte bewegen sich am Hoch- und Oberrhein um 2 g/kg und steigen ab Koblenz auf Werte um 3 g/kg an. Ausnahmen bilden die Meßstellen am Duisburger Rheinpreußenhafen mit 2,2 g/kg und Wesel durch die Lippebeeinflussung mit 4 g/kg.

Abb. 3.4.1a: Gesamt-Stickstoff im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

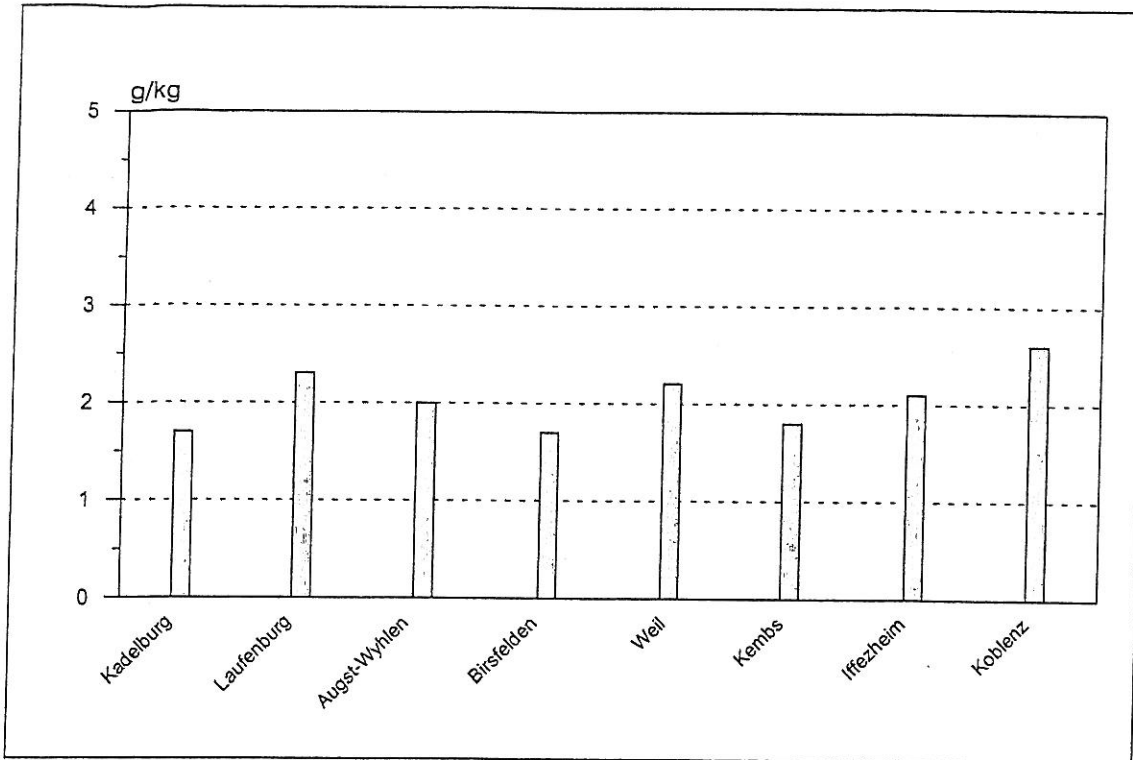




Abb. 3.4.1b: Gesamt-Stickstoff im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

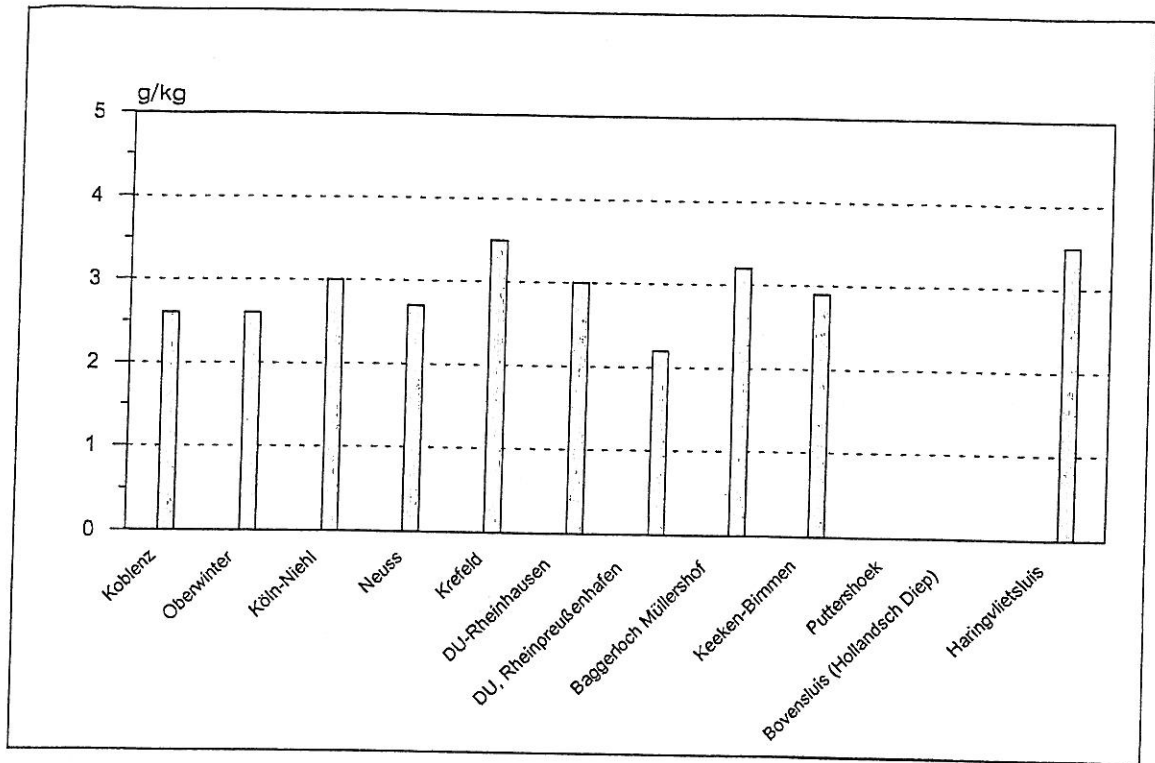
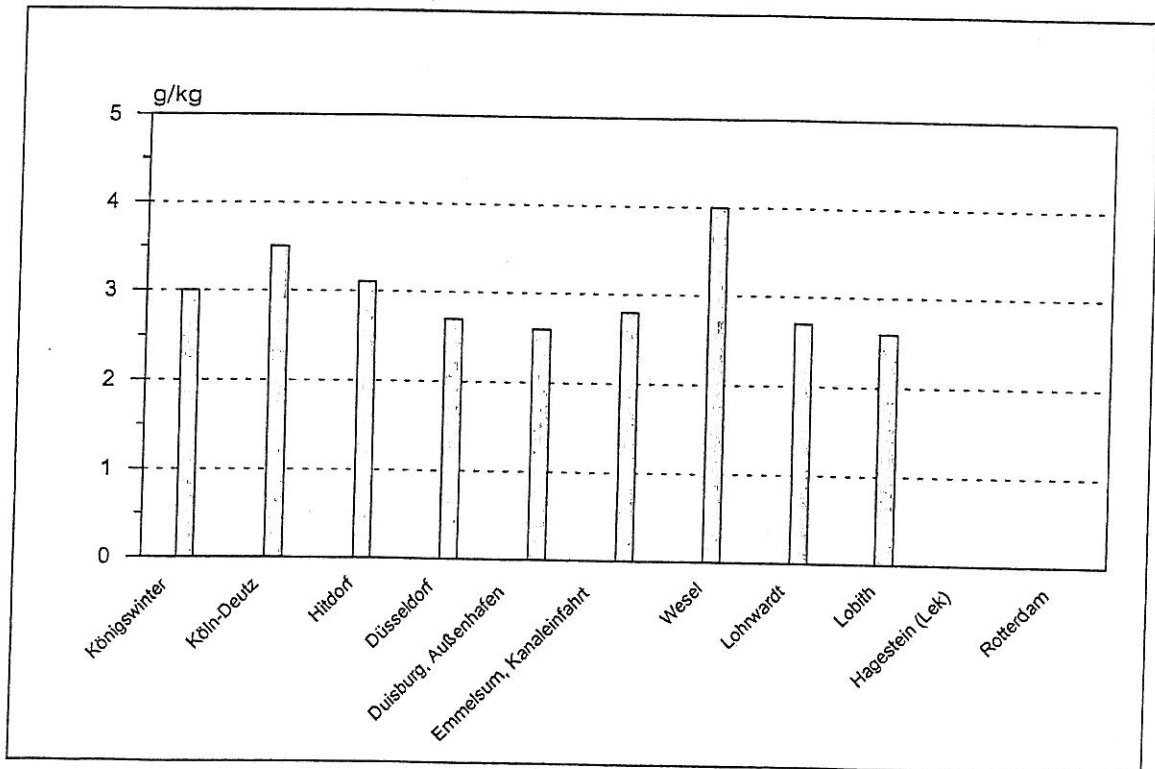


Abb. 3.4.1c: Gesamt-Stickstoff im Rheinabschnitt Königswinter bis Lobith, rechtes Ufer



Die Gesamt-Phosphor-Gehalte liegen im Hoch- und Oberrhein unter 1 g/kg und bewegen sich ab Koblenz um 1,5 g/kg. Höhere Gehalte liegen linksrheinisch an der Meßstelle Neuss mit 2,3 g/kg und im südlichen Delta an den Meßstellen Bovensluis im Hollandsch Diep mit 2,5 g/kg sowie an der Haringvlietsluis mit 2,2 g/kg vor. Rechtsrheinisch ist in Lobith mit 2,5 g/kg der höchste Phosphorgehalt zu beobachten und im nördlichen Delta mit 2,0 g/kg in Rotterdam.

Abb. 3.4.2a: Gesamt-Phosphor im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

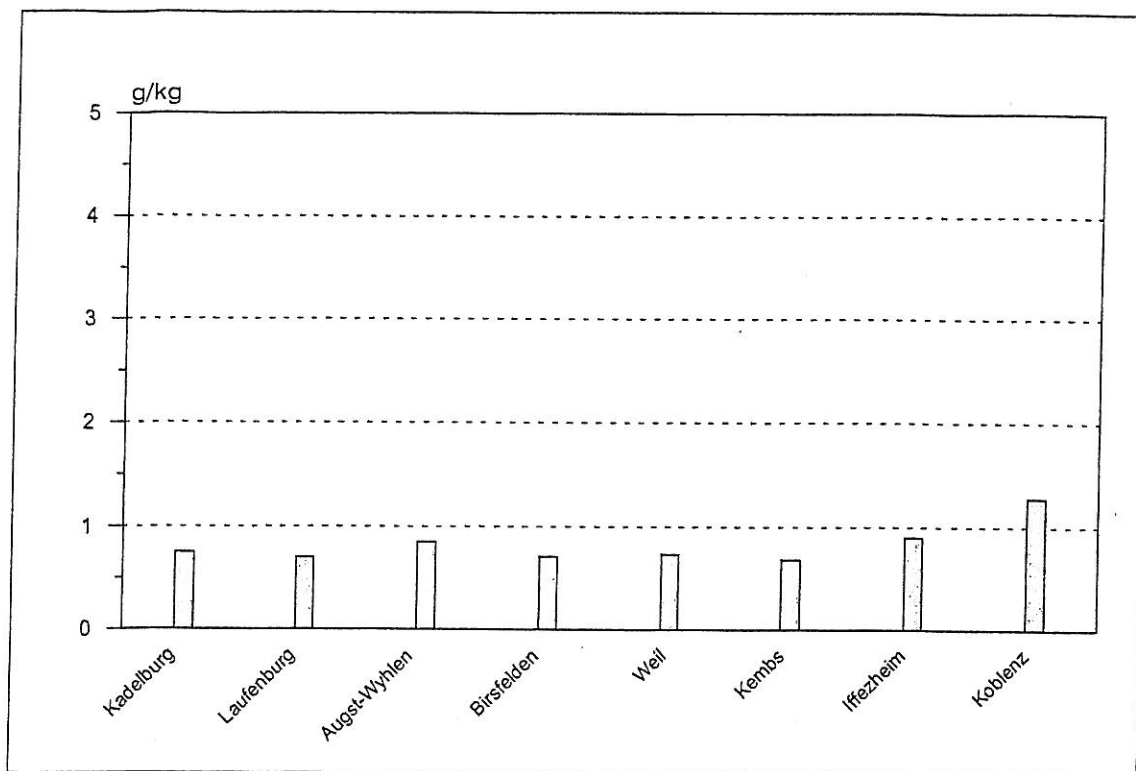


Abb. 3.4.2b: Gesamt-Phosphor im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

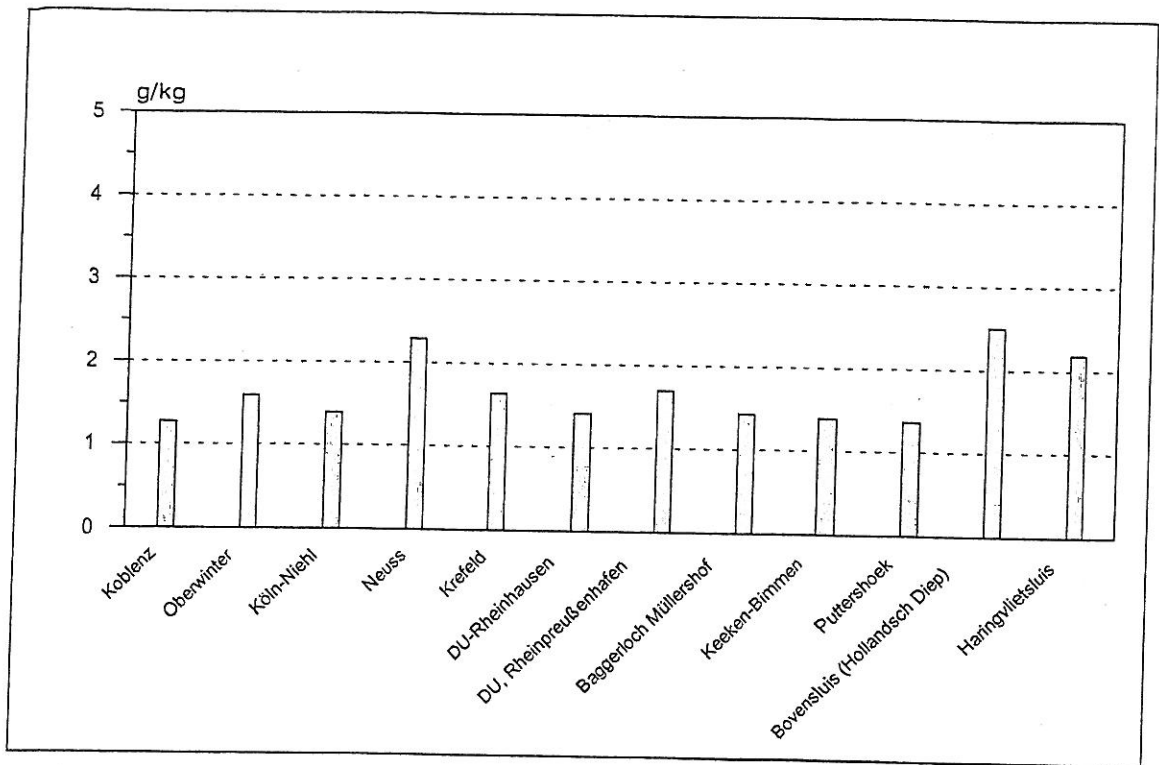
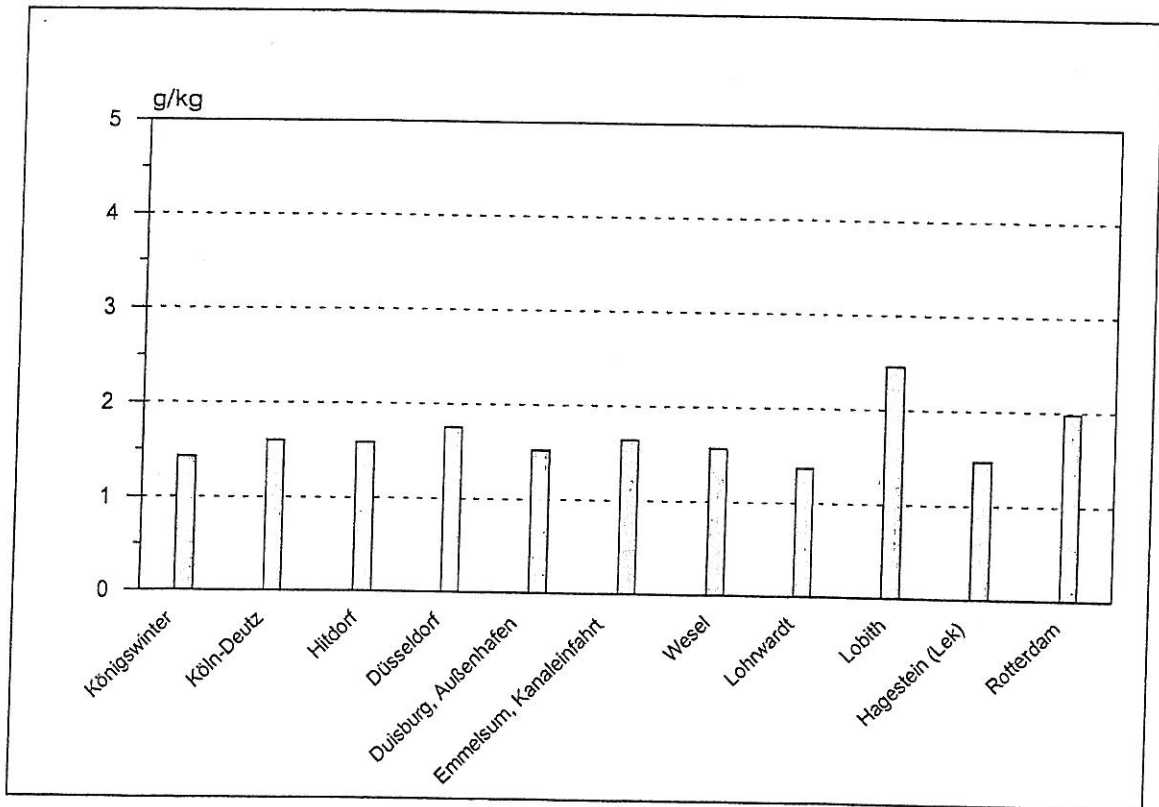


Abb. 3.4.2c: Gesamt-Phosphor im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



### 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 erkennen zu können. Die Analyseergebnisse sind daher auch gut mit denen aus Schwebstoffuntersuchungen vergleichbar, daher wird wie schon in Teil A dieses Berichts 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. Zur Erläuterung sei erwähnt, daß die Zielvorgabe definiert ist als doppelter Wert der Obergrenze des mittleren geogenen Hintergrundwertes. Eine Einordnung in Ergebnisgruppe 3 (Zielvorgabe erreicht bzw. deutlich unterschritten) erfolgt, wenn der Meßwert den halben Wert der Zielvorgabe unterschreitet.

#### 3.5.1 Blei

Die Bleigehalte liegen im Hochrhein mit Ausnahme der Meßstelle Rheinau, die im Dezember 1994 bei ansteigendem Abfluß beprobt wurde, im Background-Bereich von 25-30 mg/kg und steigen unterhalb von Basel allmählich auf 46 mg/kg in Gamsheim an. In Iffezheim und Speyer sind die Gehalte etwas geringer, um bis Koblenz bzw. Königswinter auf über 50 mg/kg zuzunehmen. Linksrheinisch ab Brohl und rechtsrheinisch unterhalb von Königswinter unterliegen die Bleigehalte stärkeren Schwankungen und erreichen an der deutsch-niederländischen Grenze bei Lobith mit 163 mg/kg ihren Höchstwert. Während die Bleigehalte ausgehend von Keeken-Bimmen im südlichen Delta weiter zunehmen, gehen sie im nördlichen Delta auf 120 mg/kg in Rotterdam zurück.

Der Vergleich mit der IKSZ-Zielvorgabe von 100 mg/kg ergibt für den Hochrhein und den Oberrhein eine Einstufung in Ergebnisgruppe 3 (Zielvorgabe erreicht bzw. deutlich unterschritten), d.h. die Gehalte liegen mit Ausnahme der Meßstelle Rheinau unter dem halben Wert der Zielvorgabe. An allen anderen Meßstellen liegen die Bleigehalte im Bereich der Zielvorgabe (Ergebnisgruppe 2).

Abb. 3.5.1a: Blei im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

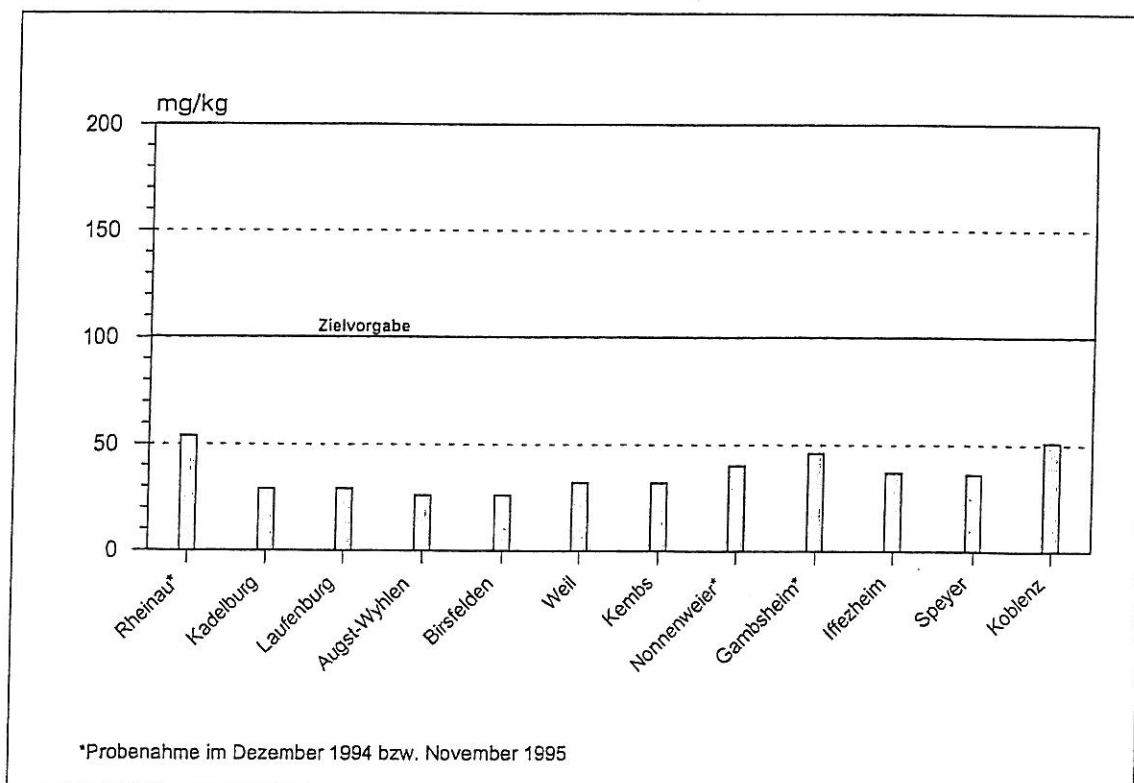


Abb. 3.5.1b: Blei im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

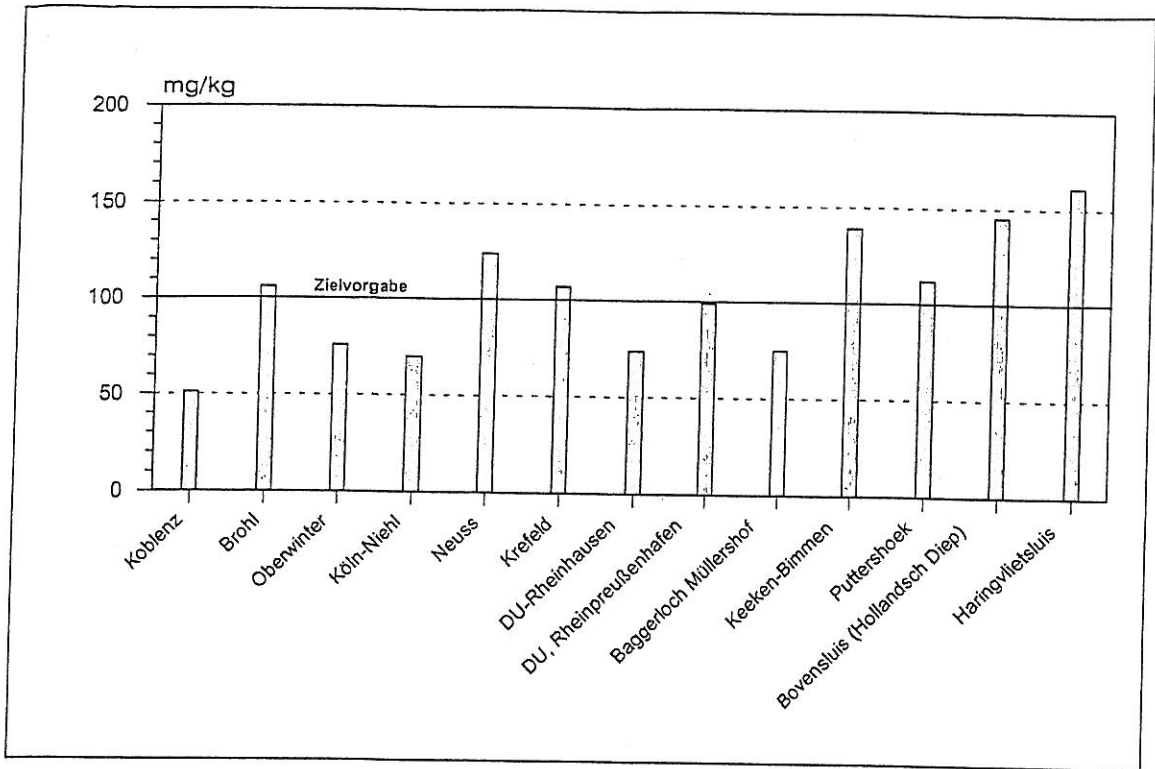
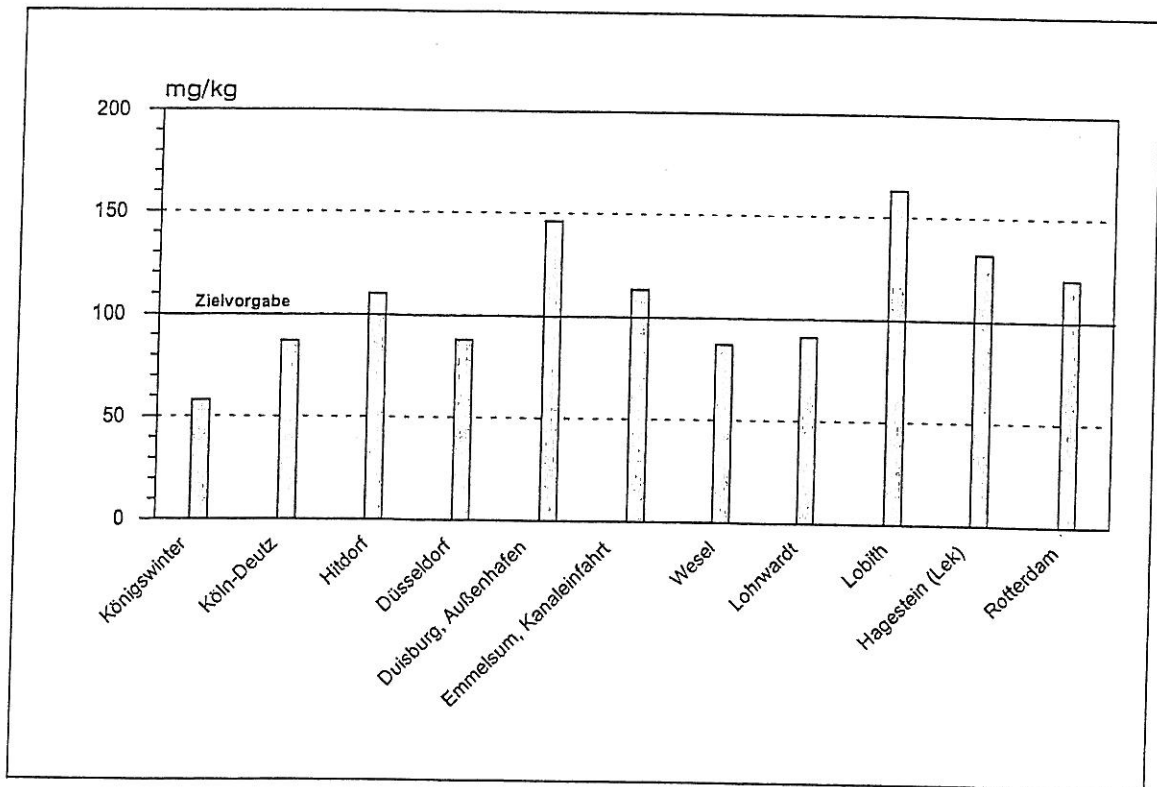


Abb. 3.5.1c: Blei im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



### 3.5.2 Cadmium

Die Cadmiumgehalte bewegen sich im Hochrhein und bis zur französischen Meßstelle Kembs im Oberrhein auf niedrigem Niveau mit Werten von 0,3 bis 0,4 mg/kg und damit im Bereich der geogenen Hintergrundbelastung. Die Meßstelle Rheinau bildet auch hier wegen des ungünstigen Probenahmezeitpunkts die Ausnahme. Im weiteren Verlauf steigen die Cadmiumgehalte bis Gamsheim auf 0,59 mg/kg und gehen bis Speyer wieder auf unter 0,4 mg/kg zurück. Ab Koblenz erfolgt am linken Ufer ein kontinuierlicher Anstieg auf 2,2 mg/kg in Keeken-Bimmen, im südlichen Delta eine deutliche Zunahme auf 6,6 mg/kg an der Bovensluis im Hollandsch Diep. Im rechten Uferbereich treten dagegen größere Schwankungen auf. Hier befindet sich am Duisburger Außenhafen mit einem Cadmiumgehalt von 10,4 mg/kg auch der Belastungsschwerpunkt. Bis zur internationalen Meßstelle Lohrwardt gehen die Gehalte auf 1,0 mg/kg zurück und erreichen an der deutsch-niederländischen Grenze mit 5,3 mg/kg einen ebenfalls hohen Wert. Im nördlichen Delta liegen die Cadmiumkonzentrationen dagegen zwischen 2 und 3 mg/kg.

Mit Ausnahme der Meßstelle Gamsheim, an der der Cadmiumgehalt im Bereich der IKSZ-Zielvorgabe von 1 mg/kg liegt, wird die Zielvorgabe im gesamten Bereich des Hoch- und Oberrheins eingehalten (Ergebnisgruppe 3). Von Koblenz bis zum Baggerloch am Müllershof liegen die Cadmiumgehalte am linken Ufer im Bereich der Zielvorgabe (Ergebnisgruppe 2), während sie in Keeken-Bimmen und im südlichen Delta die Zielvorgabe noch deutlich überschreiten (Ergebnisgruppe 1). Am rechten Ufer des Mittel- und Niederrheins bewegen sich die Cadmiumgehalte von Königswinter bis Düsseldorf sowie in Lohrwardt im Bereich der Zielvorgabe, vom Duisburger Außenhafen bis Wesel und ab Lobith wird die Zielvorgabe hingegen zum Teil sehr deutlich überschritten.

Abb. 3.5.2a: Cadmium im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

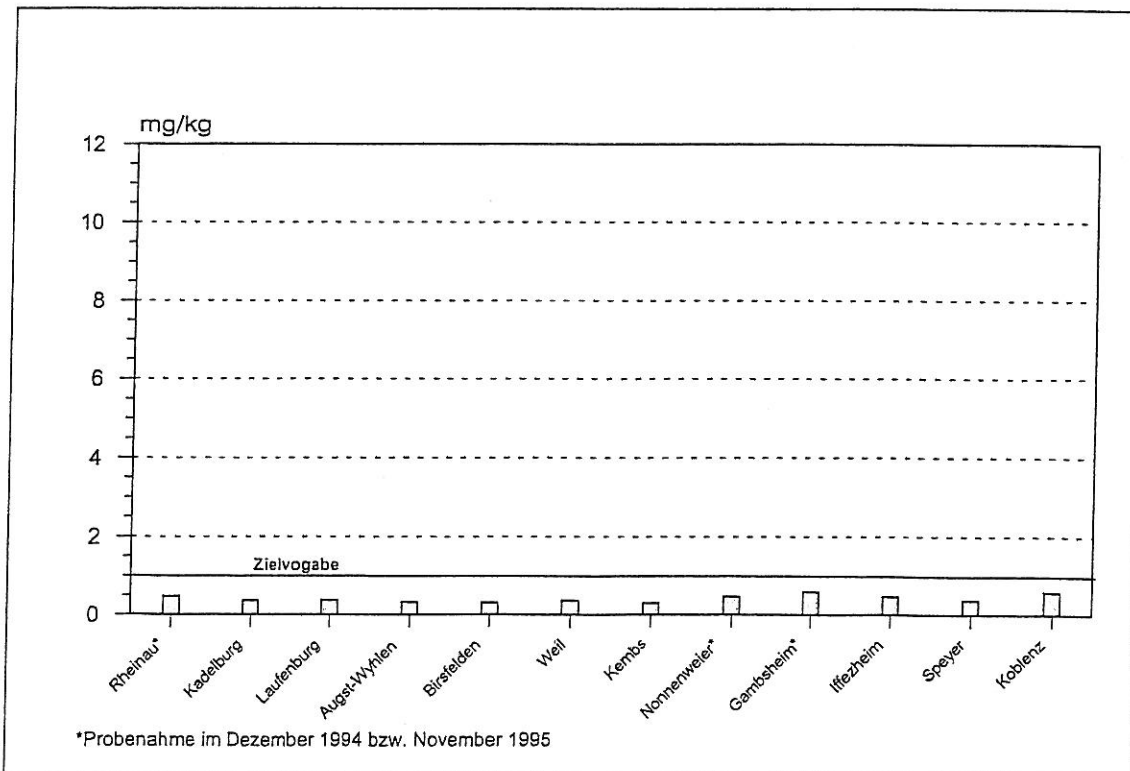


Abb. 3.5.2b: Cadmium im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

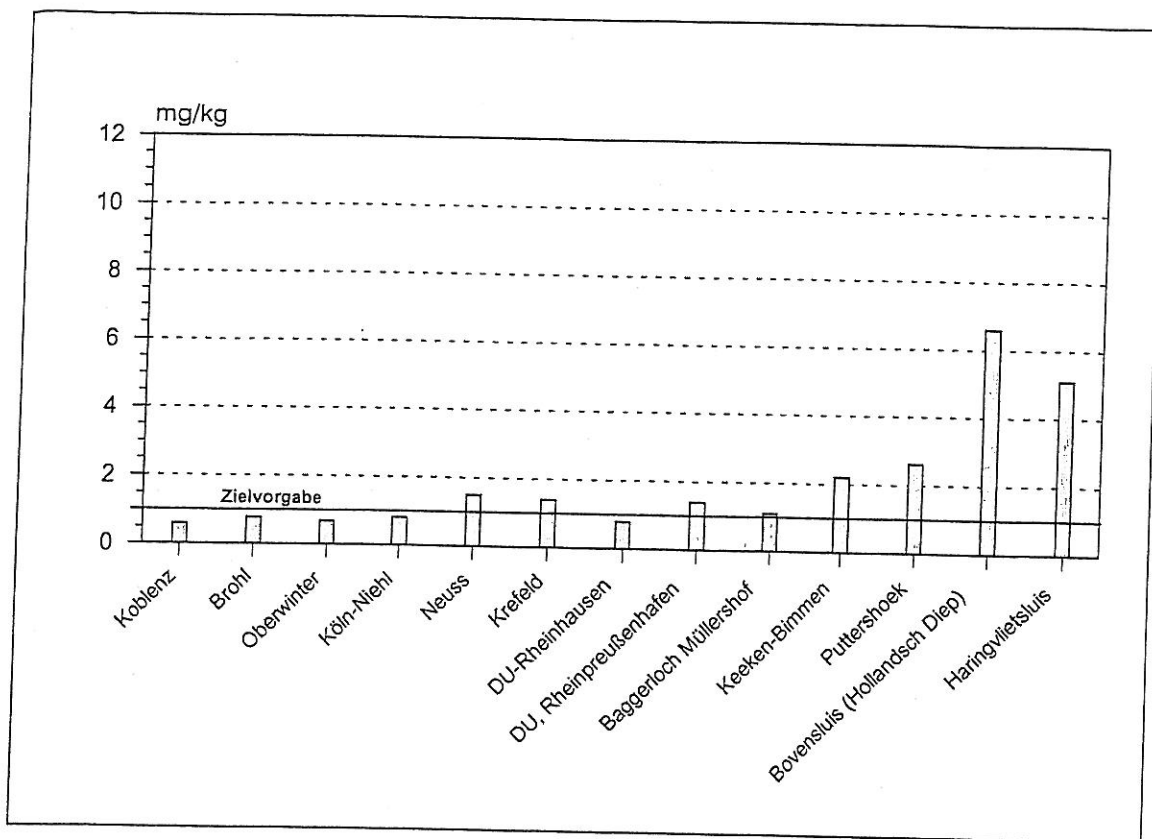
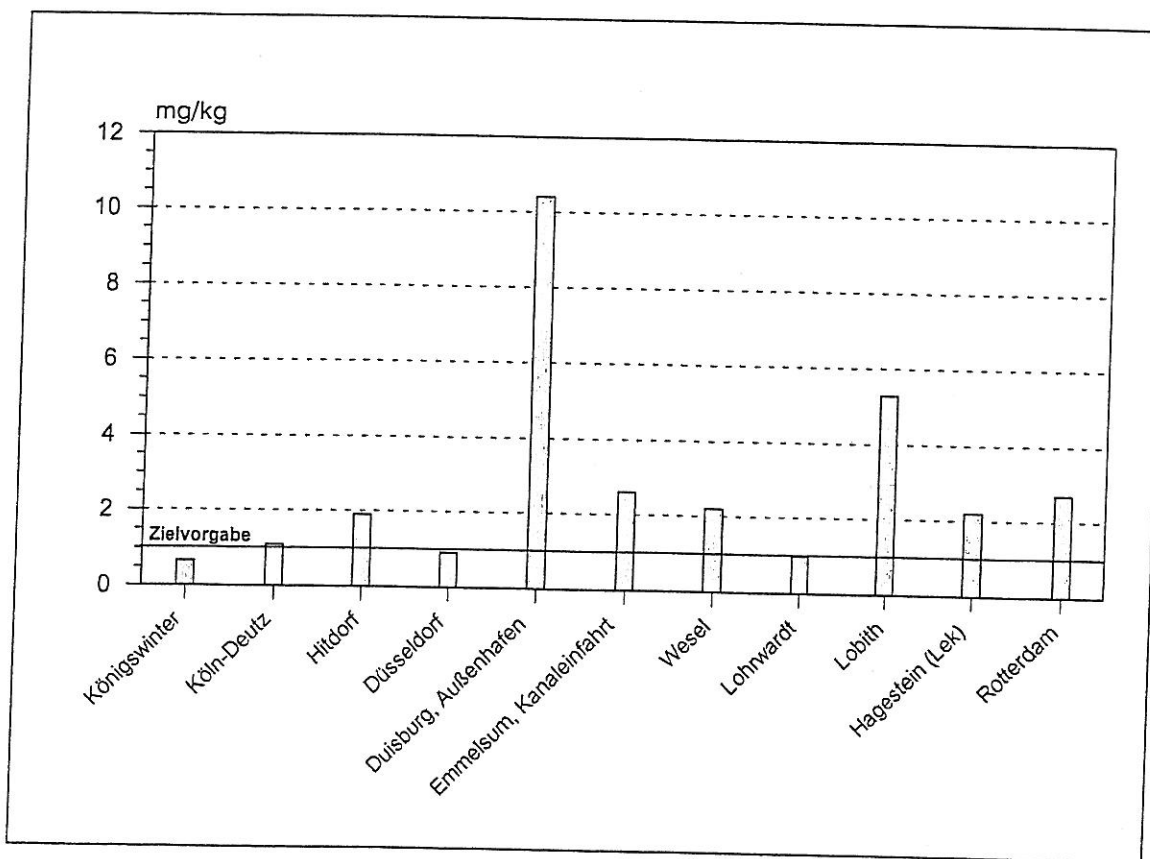


Abb. 3.5.2c: Cadmium im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



### 3.5.3 Chrom

Zu Chrom muß zunächst angemerkt werden, daß die Ergebnisse vom durchgeführten Analysenverfahren abhängen, da Chrom durch Königswasser nicht vollständig aufgeschlossen wird. Daher liegen die aus den Mittelwerten der beteiligten Labors ermittelten Chromgehalte an den internationalen Meßstellen des Hoch- und Oberrheins unter den mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) bestimmten Gehalten an den nationalen Meßstellen.

An der nur bedingt vergleichbaren Meßstelle Rheinau liegt mit 40 mg/kg der niedrigste Chromgehalt vor (der mittlere geogene Hintergrundwert ist 25 - 50 mg/kg). Ausgehend von Kadelburg (RFA) mit 81 mg/kg gehen die Chromgehalte bis zur internationalen Meßstelle Augst-Wyhlen auf unter 50 mg/kg zurück und pendeln sich auf der weiteren Fließstrecke des Hoch- und Oberrheins auf Werte um 60 mg/kg ein. Lediglich die Meßstellen Kembs (RFA) und Iffezheim weisen mit je 73 mg/kg einen etwas höheren Chromgehalt auf. Ab Koblenz steigen die Konzentrationen am linken Ufer kontinuierlich an und erreichen in Krefeld mit 188 mg/kg ihr Maximum an dieser Uferseite. Im weiteren Verlauf bis zur Haringvlietsluis im südlichen Delta schwanken die Gehalte zwischen 100 und 150 mg/kg. An den meisten Meßstellen des rechten Ufers und im nördlichen Delta unterliegen die Chromgehalte nur geringen Schwankungen zwischen 120 und 160 mg/kg. Ausnahmen bilden die internationale Meßstelle Lohrwardt mit 97 mg/kg und wie beim Cadmium der Belastungsschwerpunkt Duisburger Außenhafen mit 289 mg/kg.

Aufgrund der relativ hohen geogenen Hintergrundbelastung wird beim Chrom nur an den Meßstellen Rheinau und Augst-Wyhlen die IKSR-Zielvorgabe von 100 mg/kg deutlich unterschritten (Ergebnisgruppe 3). Als einzige Meßstelle wird am Duisburger Außenhafen die Zielvorgabe deutlich überschritten (Ergebnisgruppe 1). An allen anderen Meßstellen liegen die Chromgehalte im Bereich der Zielvorgabe (Ergebnisgruppe 2).

Abb. 3.5.3a: Chrom im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

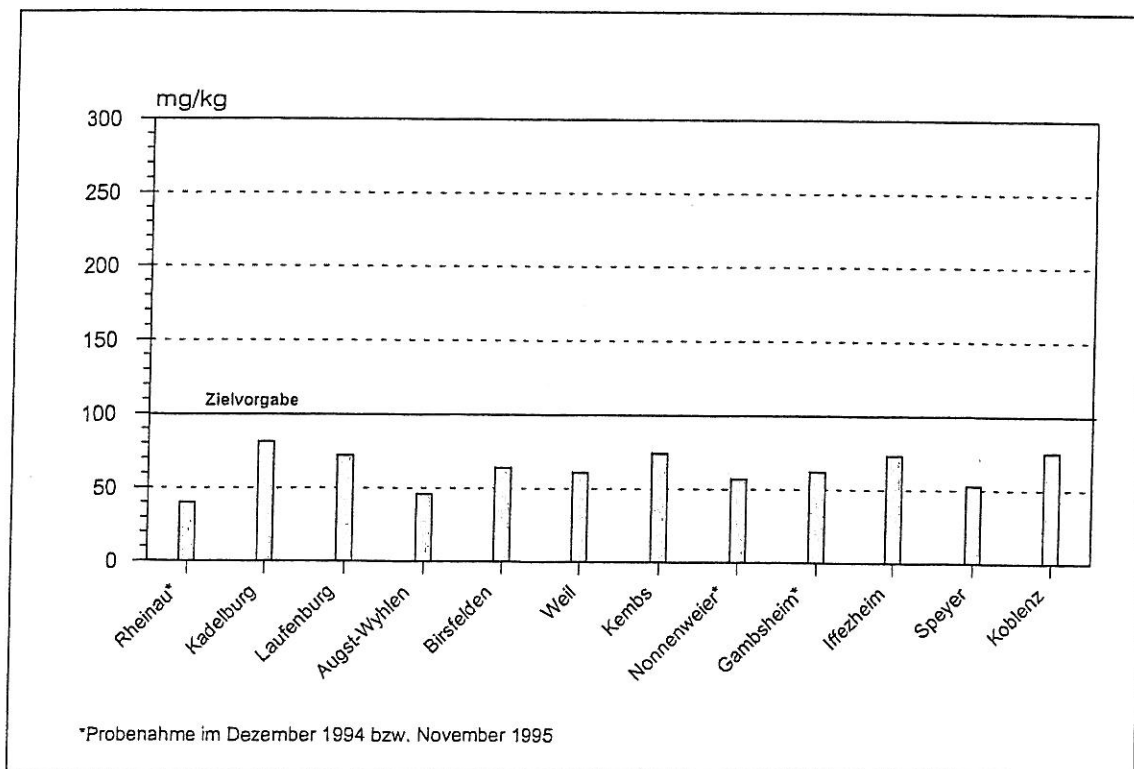




Abb. 3.5.3b: Chrom im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

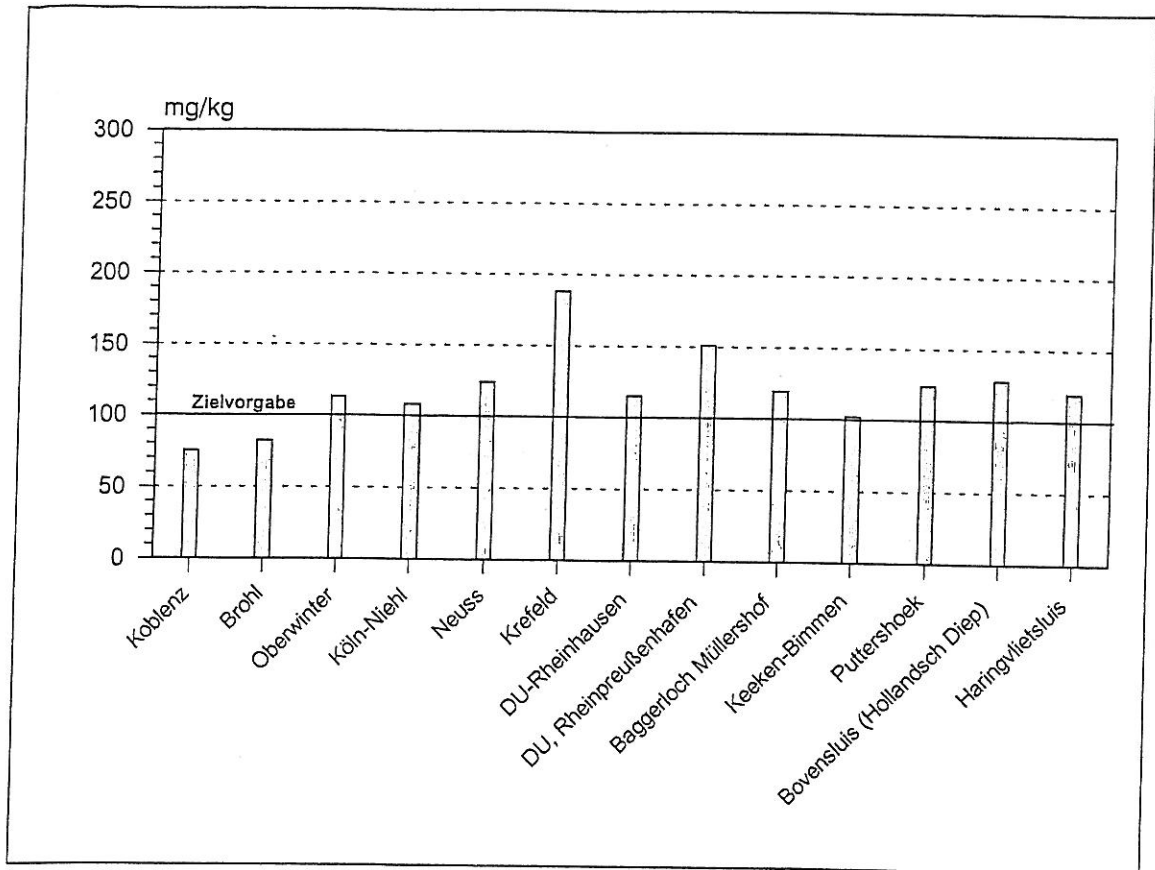
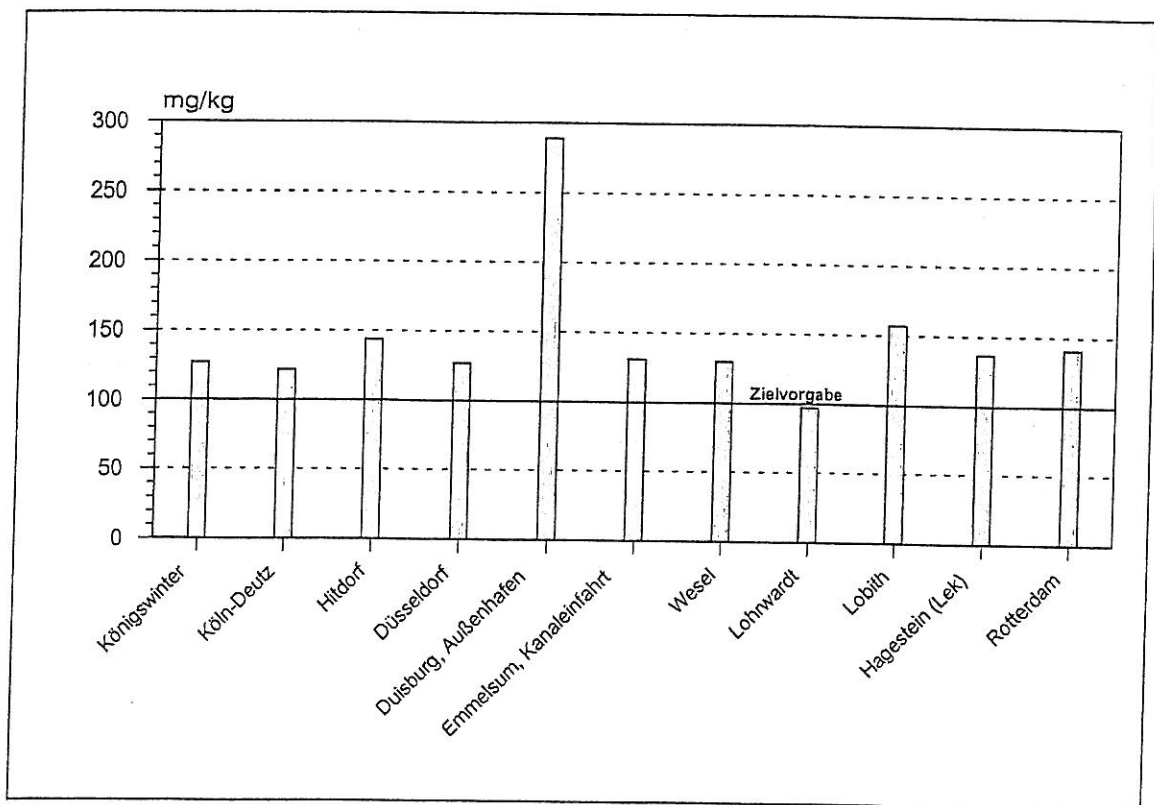


Abb. 3.5.3c: Chrom im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



### 3.5.4 Kupfer

Die Kupfergehalte liegen bis Kembs im geogenen Hintergrundbereich von 30 bis 40 mg/kg und steigen bis Speyer und Koblenz auf Werte um 60 mg/kg an. Im gesamten weiteren Verlauf des linken Mittel- und Niederrheins sowie im südlichen Delta treten nur geringe Schwankungen zwischen 50 und 90 mg/kg auf, wobei die Tendenz zur Mündung hin leicht ansteigend ist. Am rechten Ufer des Niederrheins liegen teilweise höhere Konzentrationen vor, so in Hitdorf mit 100 mg/kg, am Duisburger Außenhafen mit 144 mg/kg und in Lobith mit 113 mg/kg. Die weiteren Meßstellen am rechten Ufer und im nördlichen Delta weisen die gleichen Konzentrationen wie am linken Ufer auf.

Beim Kupfer wird die IKSR-Zielvorgabe von 50 mg/kg im strengen Sinne an keiner Meßstelle so weit unterschritten, daß eine Einordnung in die Ergebnisgruppe 3 erfolgen kann. Mit Ausnahme des Duisburger Außenhafens und Lobiths, die der Ergebnisgruppe 1 zugeordnet werden müssen, liegen die Kupfergehalte im Bereich der Zielvorgabe (Ergebnisgruppe 2).

Abb. 3.5.4a: Kupfer im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

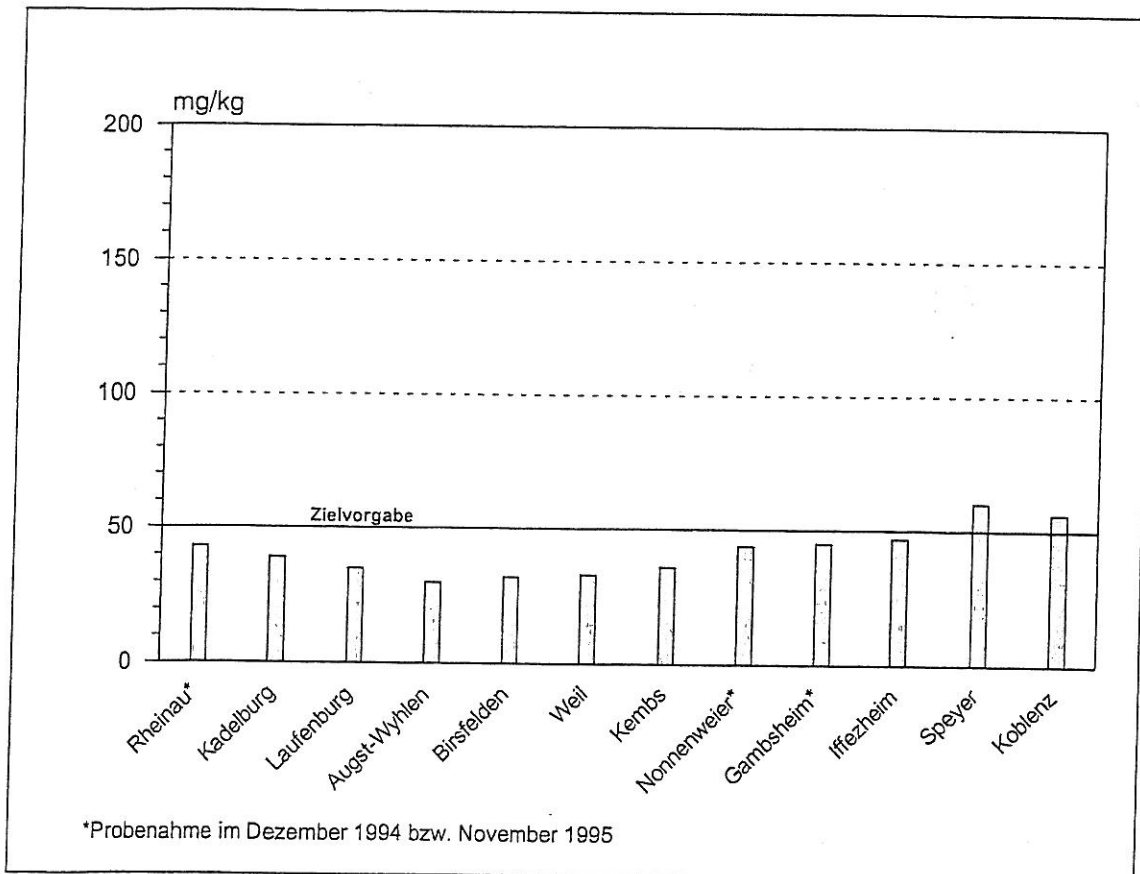


Abb. 3.5.4b: Kupfer im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

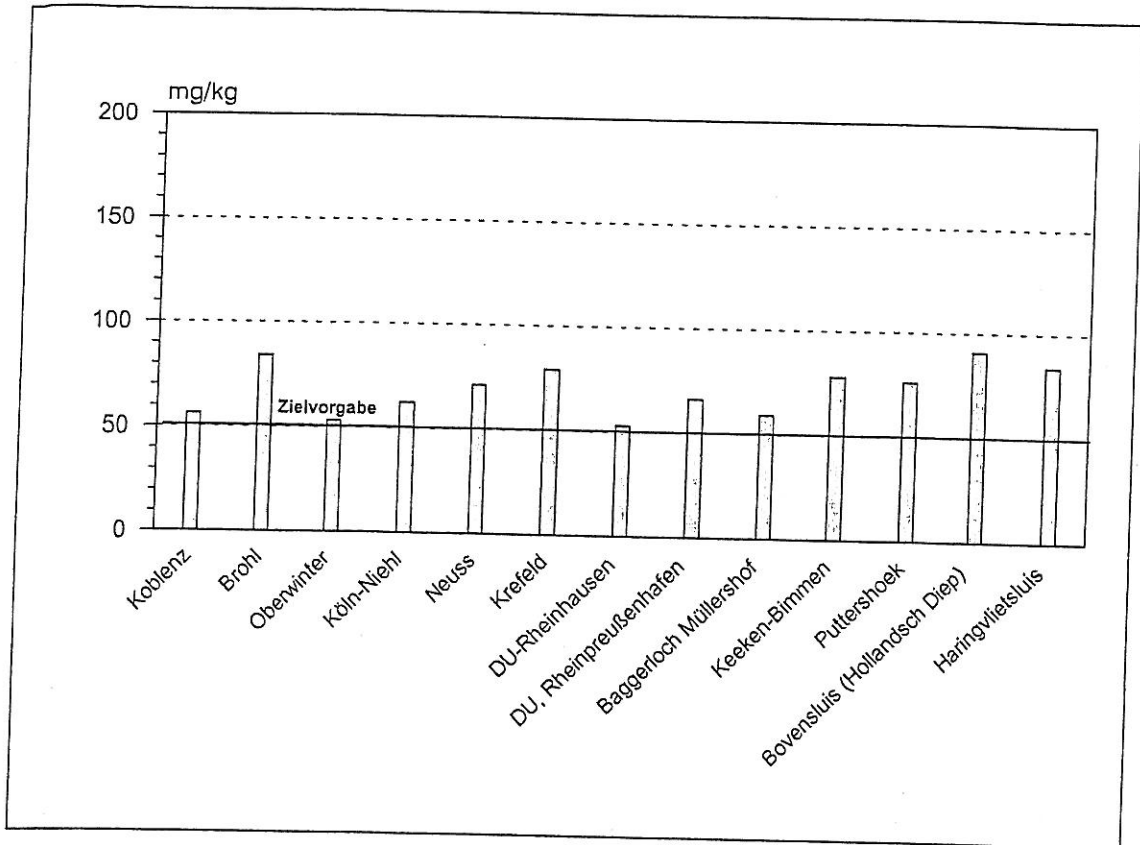
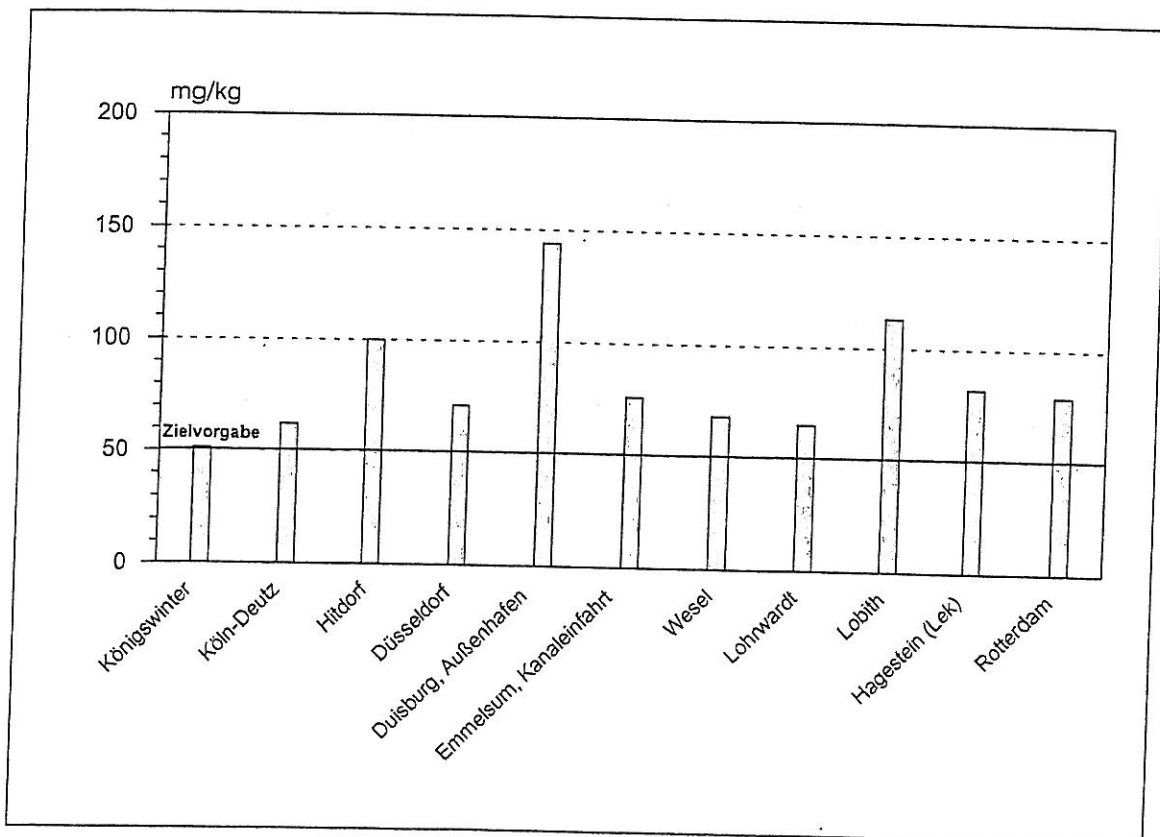


Abb. 3.5.4c: Kupfer im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



### 3.5.5 Nickel

Die Nickelgehalte unterliegen im gesamten Rhein nur geringen Schwankungen. Ausgehend von der im Dezember 1994 beprobten Meßstelle Rheinau mit 54 mg/kg bewegen sie sich von Kadelburg am Hochrhein bis Kembs am Oberrhein zwischen 30 und 40 mg/kg (Bereich des geogenen Hintergrunds). Etwas höhere Nickelgehalte liegen mit 62 mg/kg an den oberrheinischen Meßstellen Nonnenweiler und Gamsheim vor, während die unterhalb gelegenen Meßstellen Iffezheim, Koblenz und Brohl einen Nickelgehalt von 41 mg/kg aufweisen. Ab Oberwinter schwanken die Nickelkonzentrationen an beiden Ufern bis zur Mündung um 50 mg/kg, mit Ausnahme der linksrheinischen Meßstellen Neuss und Krefeld, die durch Einträge aus der Erft höher belastet sind.

Im gesamten Verlauf des Rheins liegen die Nickelgehalte ohne Ausnahme im Bereich der IKSR-Zielvorgabe von 50 mg/kg (Ergebnisgruppe 2).

Abb. 3.5.5a: Nickel im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

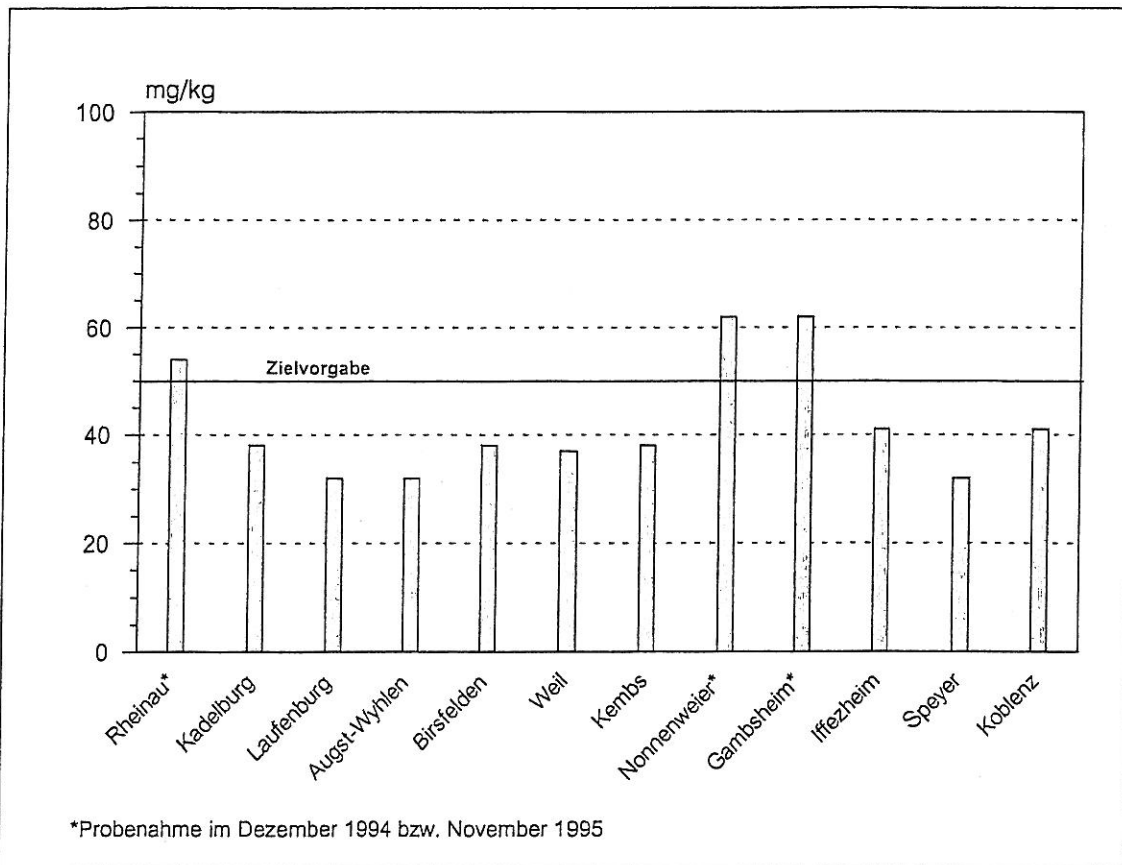


Abb. 3.5.5b: Nickel im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

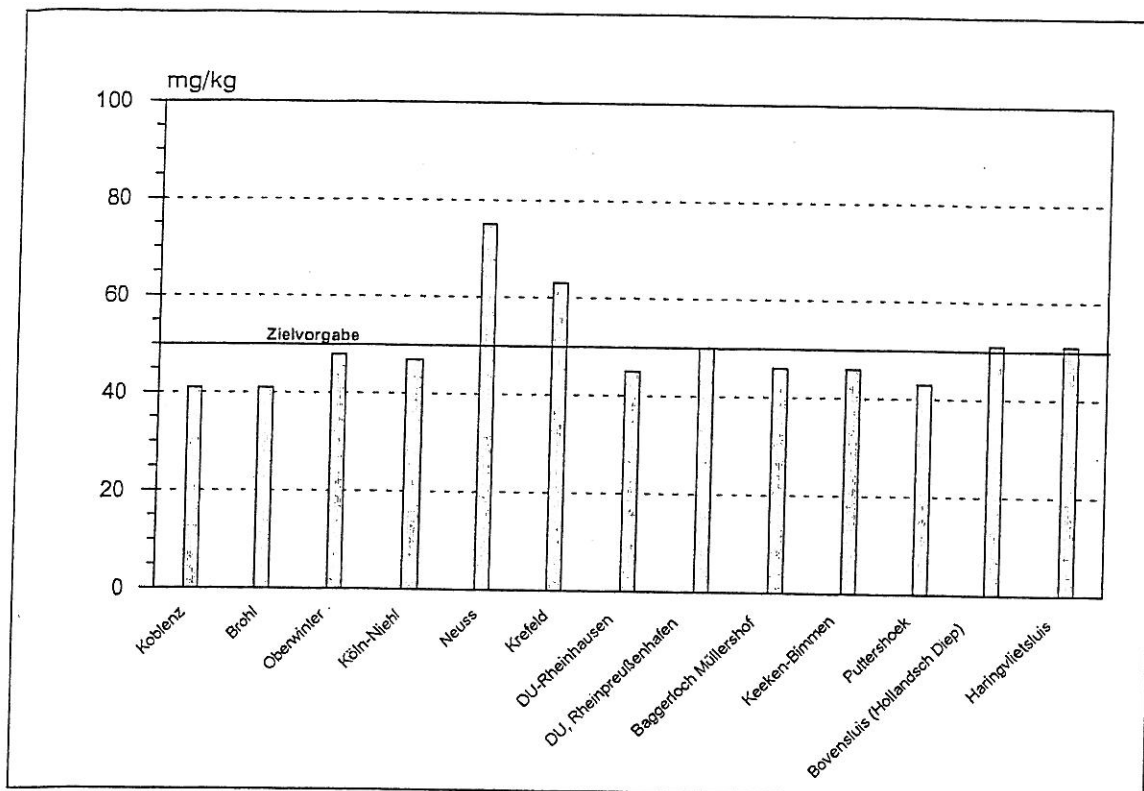
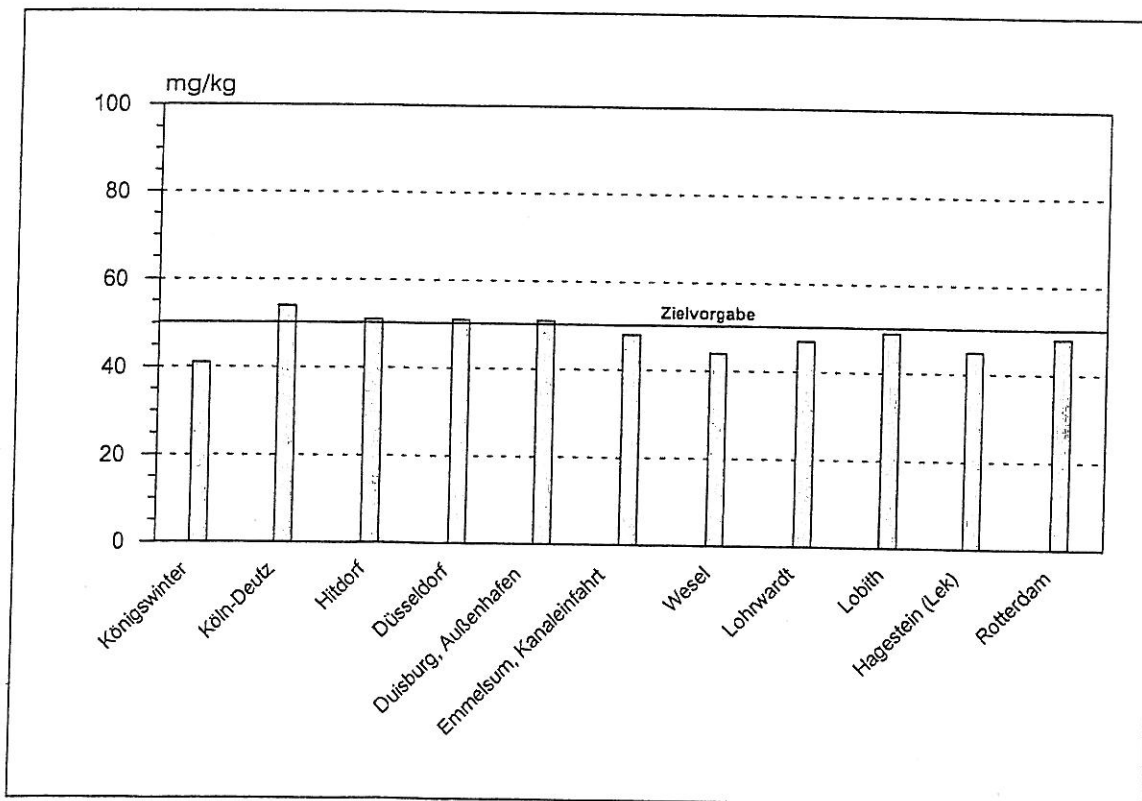


Abb. 3.5.5c: Nickel im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



### 3.5.6 Quecksilber

Von Rheinau bis Kembs bewegen sich die Quecksilbergehalte im Bereich der Hintergrundbelastung zwischen 0,14 bis 0,30 mg/kg. Bis Gamsbheim erfolgt ein Anstieg auf 0,50 mg/kg, im Abschnitt von Iffezheim bis Koblenz liegt wieder ein niedrigeres Niveau vor. Nach einem höheren Wert von 0,65 mg/kg bei Brohl steigen die Quecksilbergehalte am linken Ufer ausgehend von 0,28 mg/kg in Oberwinter bis Keeken-Bimmen nahezu kontinuierlich auf 1,0 mg/kg an. Im südlichen Delta schließt sich ein weiterer Anstieg auf 1,4 mg/kg an der Haringvlietsluis an. Am rechten Ufer verbleiben die Quecksilbergehalte bis Köln zunächst auf dem Niveau bei Iffezheim und Koblenz. In Hitdorf tritt dann durch die überwiegend aus der Wupper stammenden Einträge mit 2,4 mg/kg der Höchstwert auf. Im weiteren Verlauf liegen die Konzentrationen bei leicht ansteigender Tendenz von Düsseldorf bis Lohrwardt zwischen 0,5 und 0,7 mg/kg, um bei Lobith mit 2,0 mg/kg einen weiteren Höhepunkt zu erreichen. Im nördlichen Delta gehen die Werte wieder auf 1,2 mg/kg bei Rotterdam zurück.

Der Vergleich mit der IKSR-Zielvorgabe von 0,5 mg/kg ergibt im Hochrhein und im Oberrhein bis Kembs eine Einstufung in Ergebnisgruppe 3 (Zielvorgabe eingehalten). Ausnahmen bilden mit geringfügig höheren Werten die Meßstellen Rheinau und Augst-Wyhlen (Ergebnisgruppe 2). Ebenfalls im Bereich der Zielvorgabe liegen die Meßstellen von Nonnenweiler am Oberrhein bis Keeken-Bimmen am linken Niederrhein bzw. Lohrwardt am rechten Niederrheinufer, ausgenommen der Belastungsschwerpunkt in Hitdorf unterhalb der Wuppermündung in Leverkusen. In Lobith sowie im gesamten Deltabereich wird die Zielvorgabe deutlich überschritten (Ergebnisgruppe 1)

Abb. 3.5.6a: Quecksilber im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

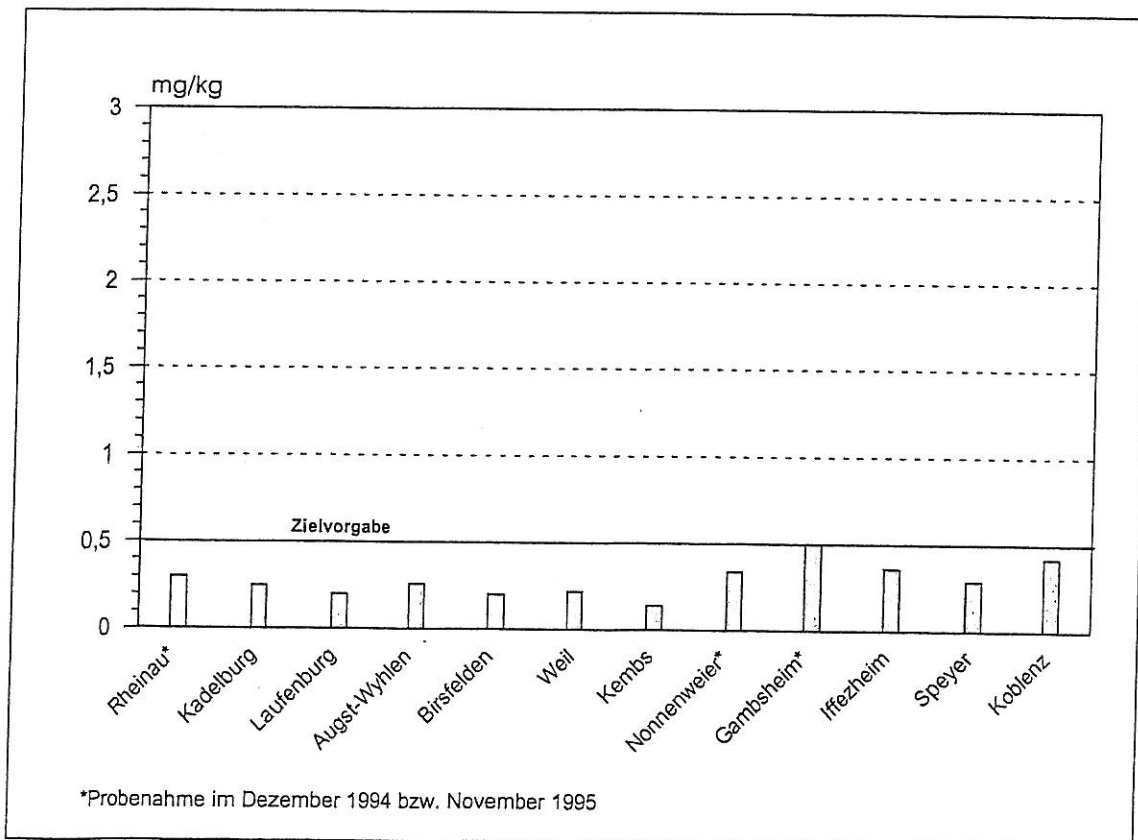


Abb. 3.5.6b: Quecksilber im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

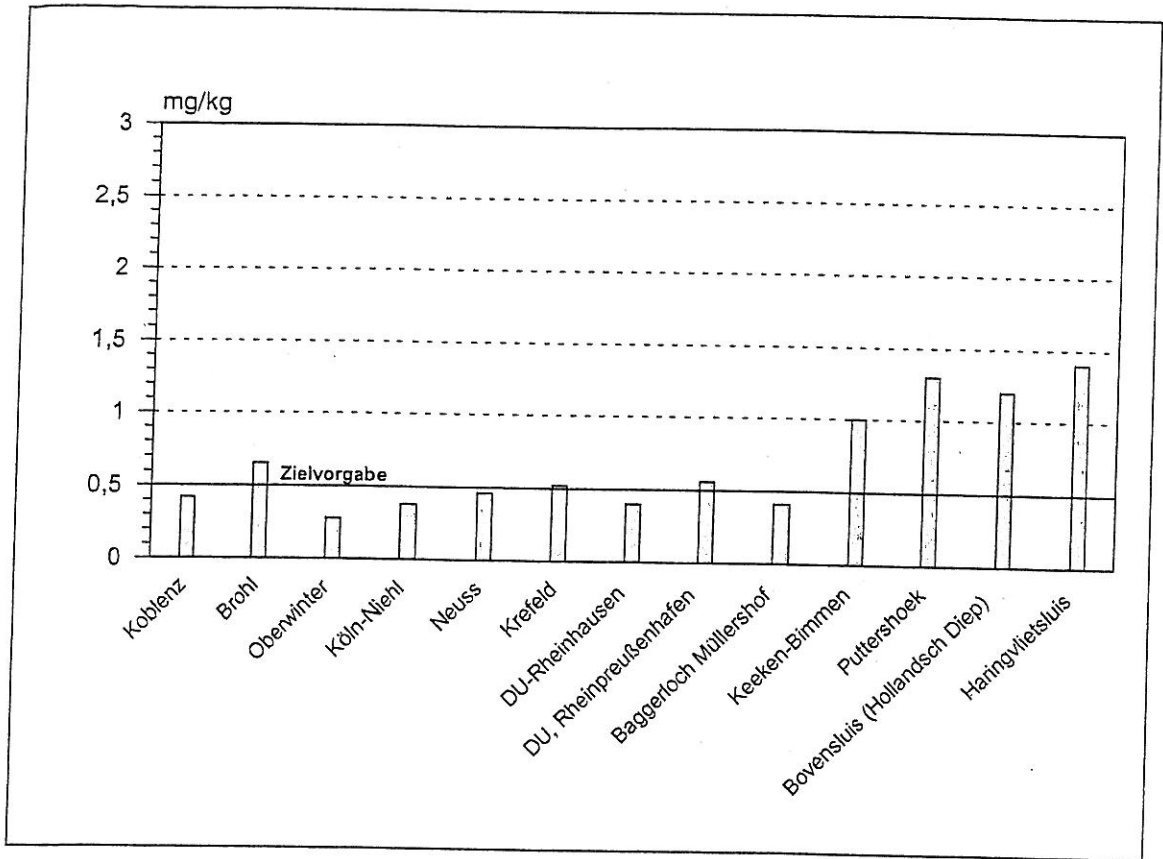
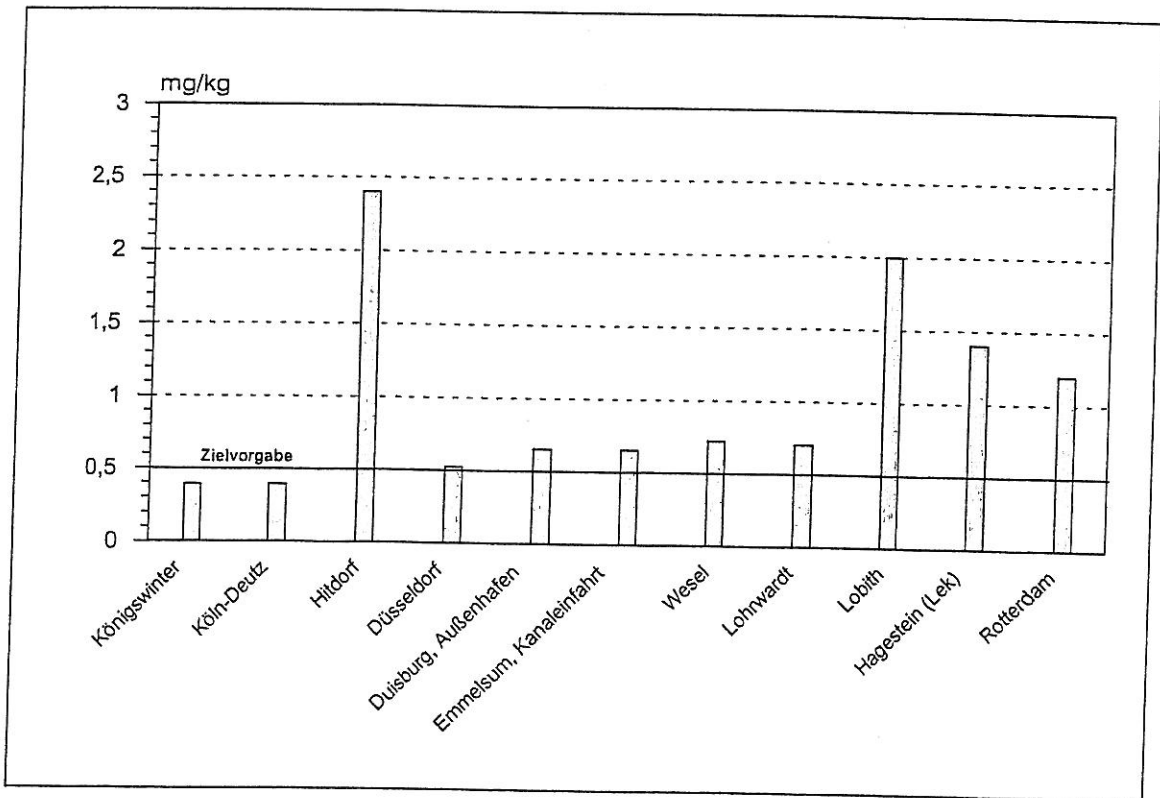


Abb. 3.5.6c: Quecksilber im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



### 3.5.7 Zink

Mit Ausnahme der Meßstelle Rheinau (345 mg/kg) liegen die Zinkgehalte von Kadelburg am Hochrhein bis Kembs am Oberrhein um 100 mg/kg und damit im Background-Bereich. Ab Nonnenweier wird außer bei Iffezheim die 200 mg/kg-Linie überschritten, wobei die Gehalte unterhalb von Köln zumeist um 400 mg/kg liegen. Außer an der deutsch-niederländischen Grenze bei Lobith treten dabei zwei weitere Belastungsschwerpunkte in Brohl am linken Mittelrheinufer mit 609 mg/kg und - wie bei den Elementen Cadmium, Chrom und Kupfer - am Duisburger Außenhafen mit 1220 mg/kg auf. Im Hollandsch Diep und Haringvliet (südliches Delta) sind ebenfalls hohe Zinkgehalte zu beobachten, während das nördliche Delta ähnliche Werte wie die meisten Niederrheinmeßstellen aufweist.

Die IKSZ-Zielvorgabe für Zink wird im strengen Sinne nur an einer einzigen Meßstelle, Birsfelden am Hochrhein, eingehalten. Von Rheinau bis Koblenz liegen die Zinkgehalte an allen weiteren Meßstellen im Bereich der Zielvorgabe (Ergebnisgruppe 2). Dies gilt auch für die Meßstellen Oberwinter, Köln-Niehl, Duisburg-Rheinhausen und das Baggerloch am Müllershof am linken Mittel- und Niederrhein sowie die Abschnitte Königswinter bis Düsseldorf und Wesel bis Lohrwardt am rechten Ufer. Alle anderen Meßstellen müssen noch in die Ergebnisgruppe 1 - Zielvorgabe erheblich überschritten - eingestuft werden.

Abb. 3.5.7a: Zink im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

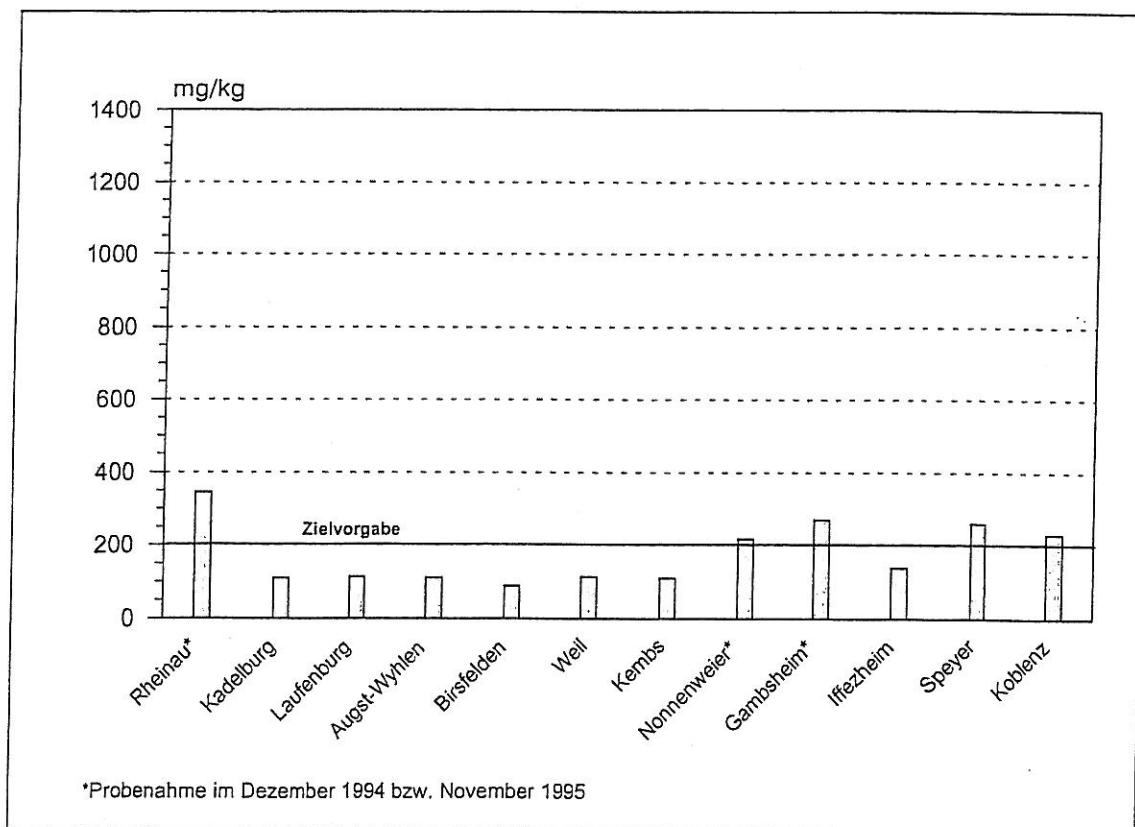




Abb. 3.5.7b: Zink im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

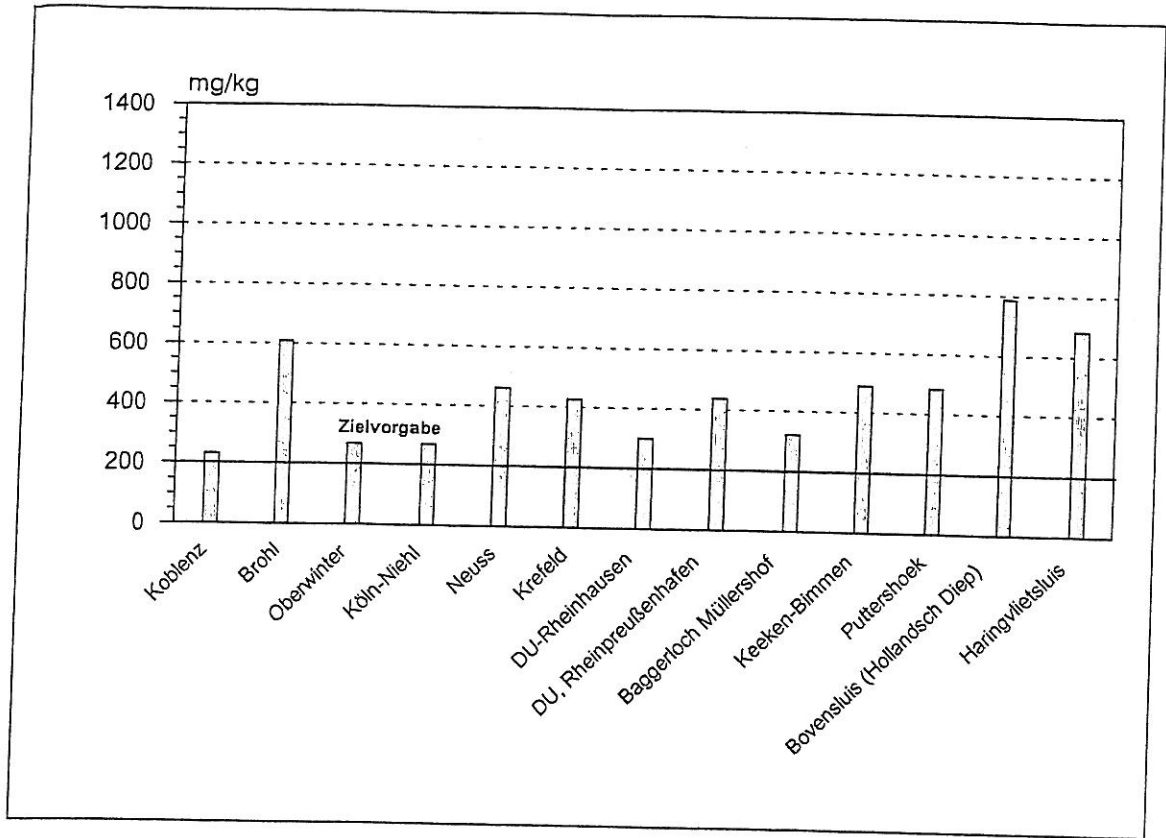
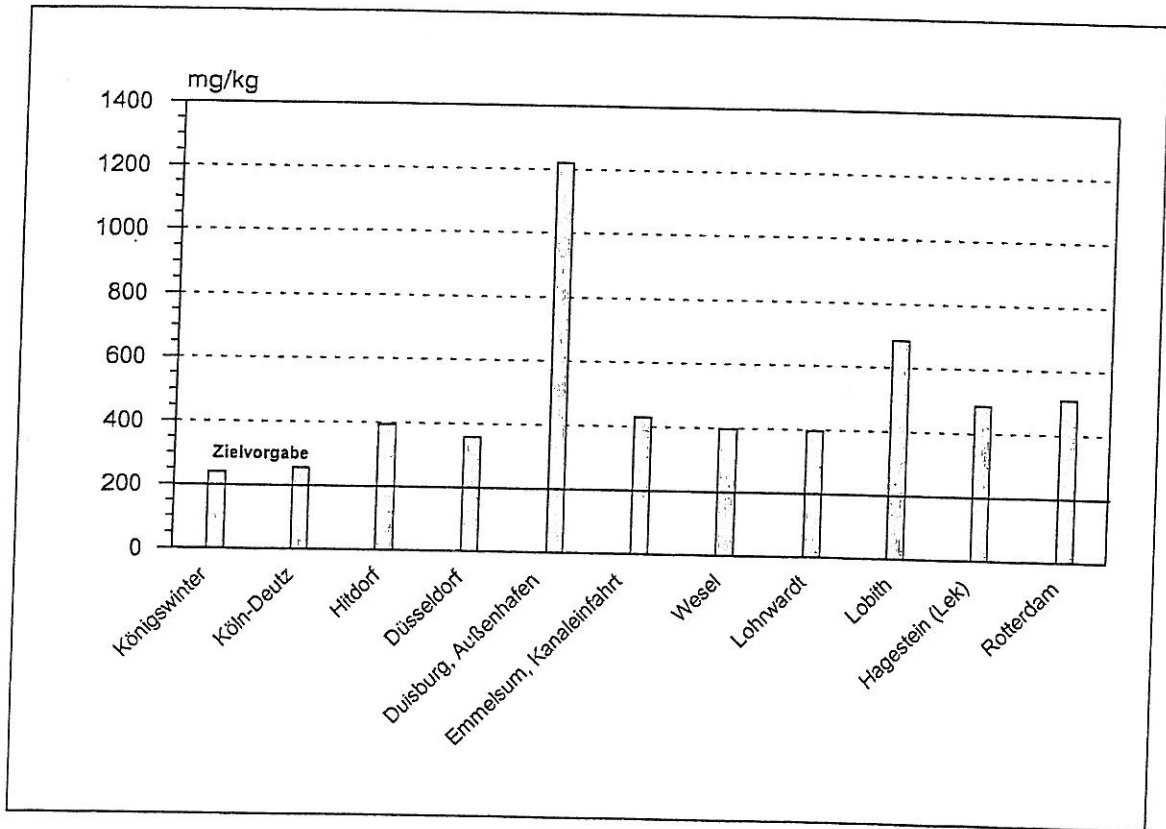


Abb. 3.5.7c: Zink im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



### 3.5.8 Arsen

Die Arsengehalte liegen im Hochrhein und Oberrhein bis Kembs bei etwa 10 mg/kg und steigen ab Nonnenweier bis zur nordrhein-westfälischen Landesgrenze auf ein Niveau von 15 mg/kg an. Bis Neuss erfolgt am linken Ufer ein weiterer Anstieg auf 20 mg/kg, die sich bis zum Baggerloch am Müllershof erstrecken. Ab Keeken-Bimmen und weiter im südlichen Delta liegen die Arsengehalte dann um 25 mg/kg. Im rechten Uferbereich ist von Königswinter bis Hitdorf zunächst ein Anstieg von 15 mg/kg auf 25 mg/kg zu verzeichnen, bis Lohrwardt gehen die Gehalte jedoch wieder leicht zurück. Die Meßstelle Lobith weist mit 30 mg/kg den höchsten Arsengehalt auf, während im nördlichen Delta ähnliche Werte wie im südlichen Bereich vorliegen.

Vom Hochrhein bis zu den Kölner Meßstellen wird die IKSR-Zielvorgabe von 40 mg/kg für Arsen eingehalten (Ergebnisgruppe 3). Dies gilt ebenso für die niederrheinischen Meßstellen Düsseldorf, Krefeld, Duisburg-Rheinhausen, Wesel, Lohrwardt und Baggerloch am Müllershof. Alle weiteren Meßstellen am Niederhein und das gesamte Deltagebiet liegen im Bereich der Zielvorgabe (Ergebnisgruppe 2).

Abb. 3.5.8a: Arsen im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

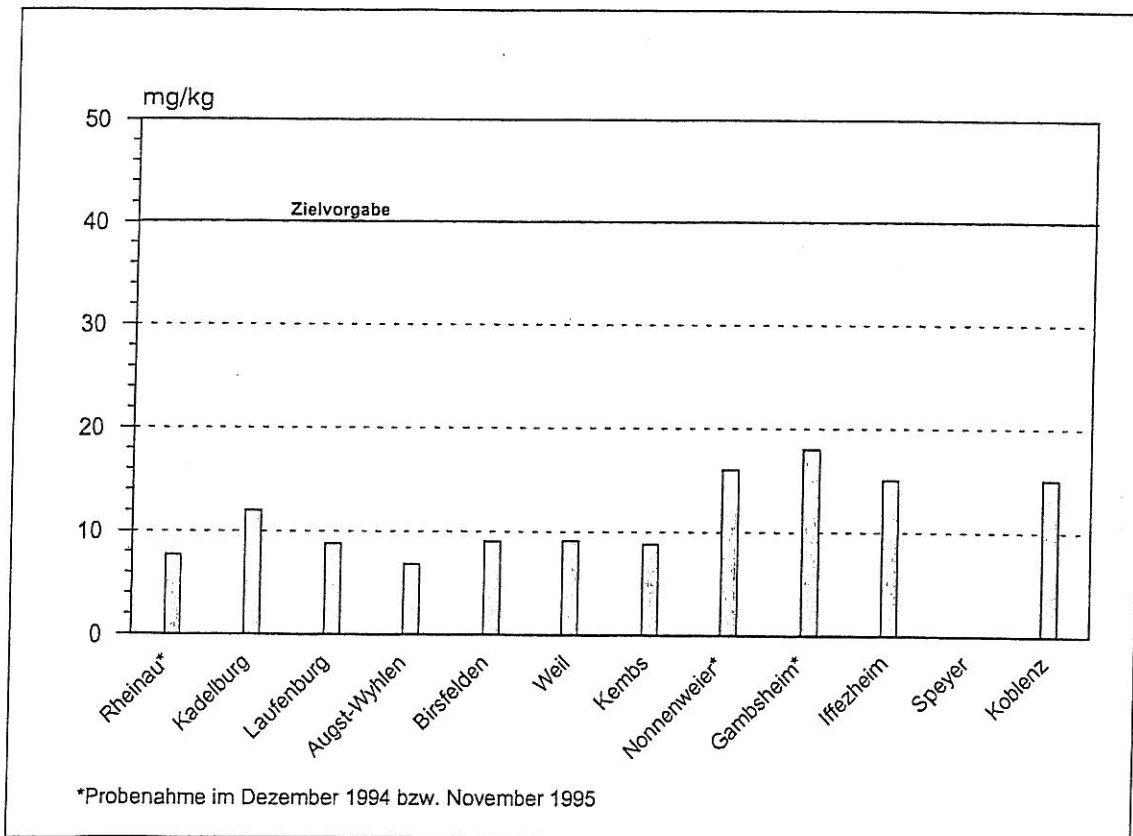


Abb. 3.5.8b: Arsen im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

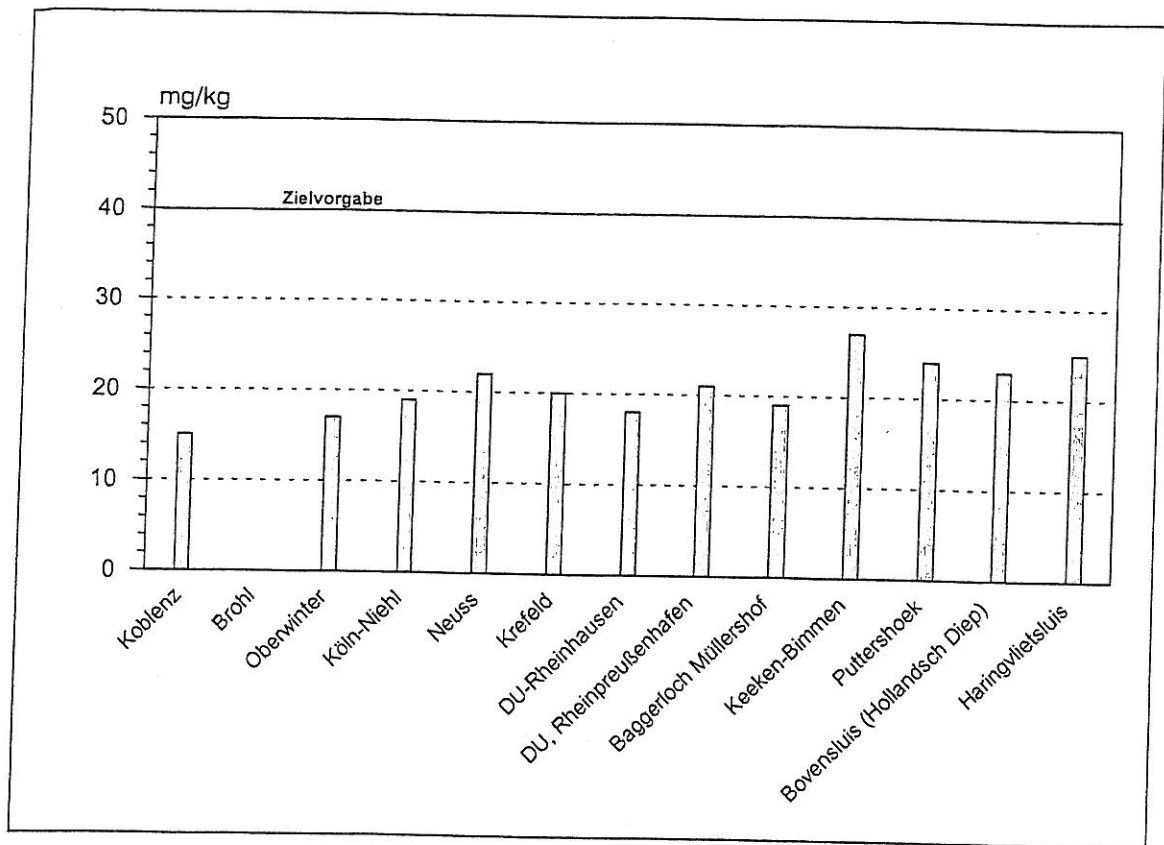
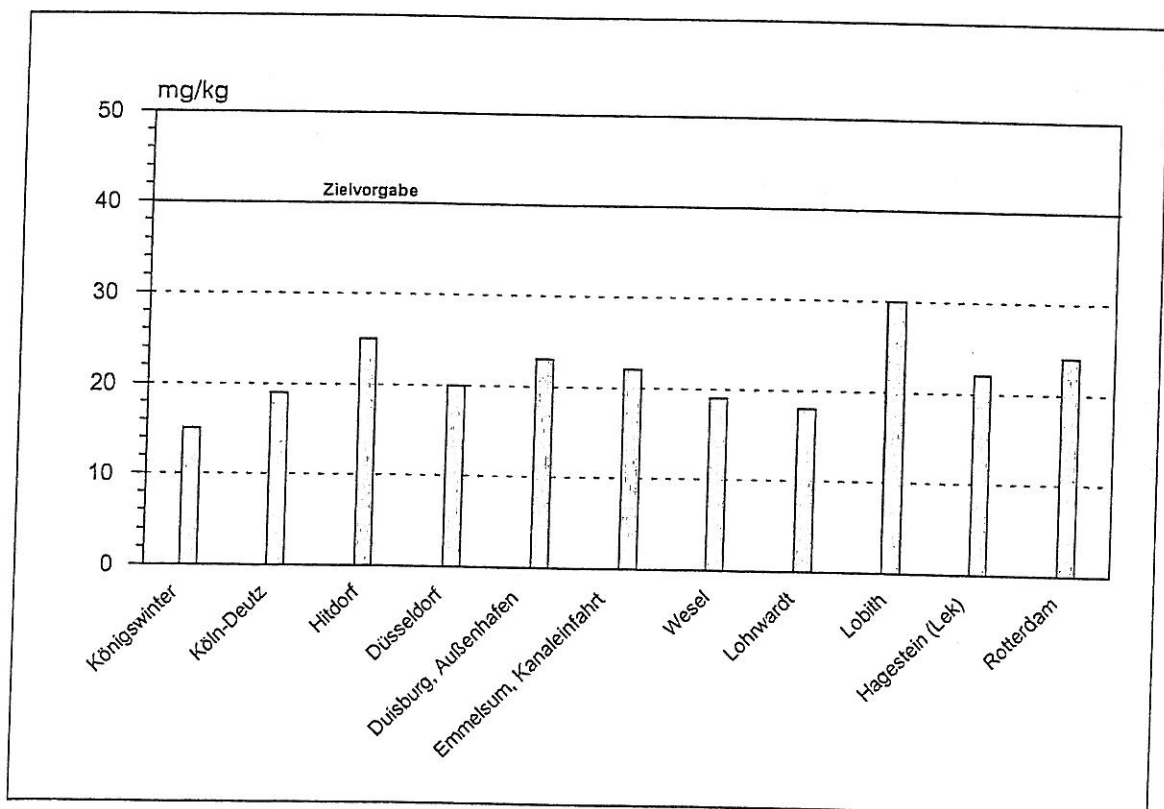


Abb. 3.5.8c: Arsen im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



### 3.5.9 Kobalt

Die Kobaltgehalte liegen im Hoch- und Oberrhein bei 10 mg/kg und steigen über Koblenz mit 14 mg/kg auf 15 - 20 mg/kg im Niederrhein und im Delta. Einzige Ausnahme ist die Meßstelle Neuss unterhalb der Erftmündung mit einem deutlich höheren Kobaltgehalt von 36 mg/kg.

Für das Schwermetall Kobalt wurde keine IKSR-Zielvorgabe abgeleitet. Laut VDLUFA\* gilt ein Wert von 50 mg/kg in Kulturböden als tolerierbar. Dieser Wert wird an allen Meßstellen außer Neuss deutlich unterschritten.

\*Quelle: Mitteilungen des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (1980), Heft 1-3, S. 11. Die Werte sollen u. a. bei der Aufbringung von Komposten, Klär- und Flußschlamm auf Kulturböden eingehalten werden.

Abb. 3.5.9a: Kobalt im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

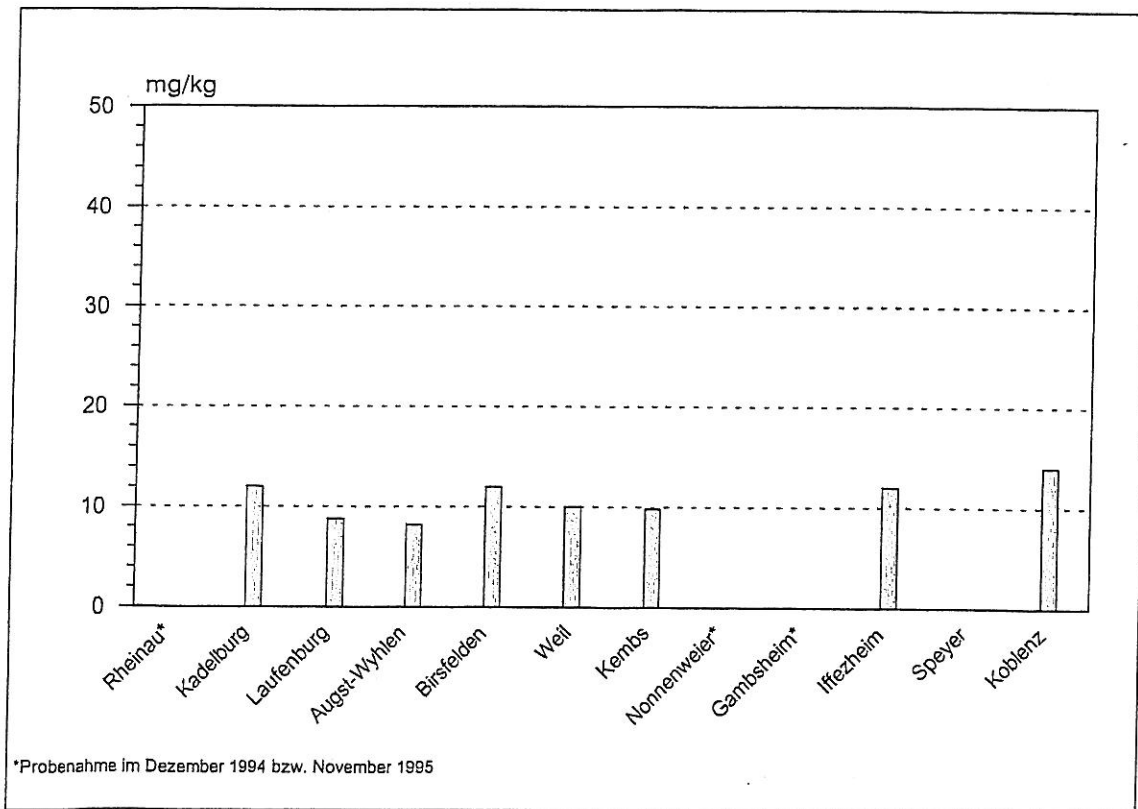


Abb. 3.5.9b: Kobalt im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

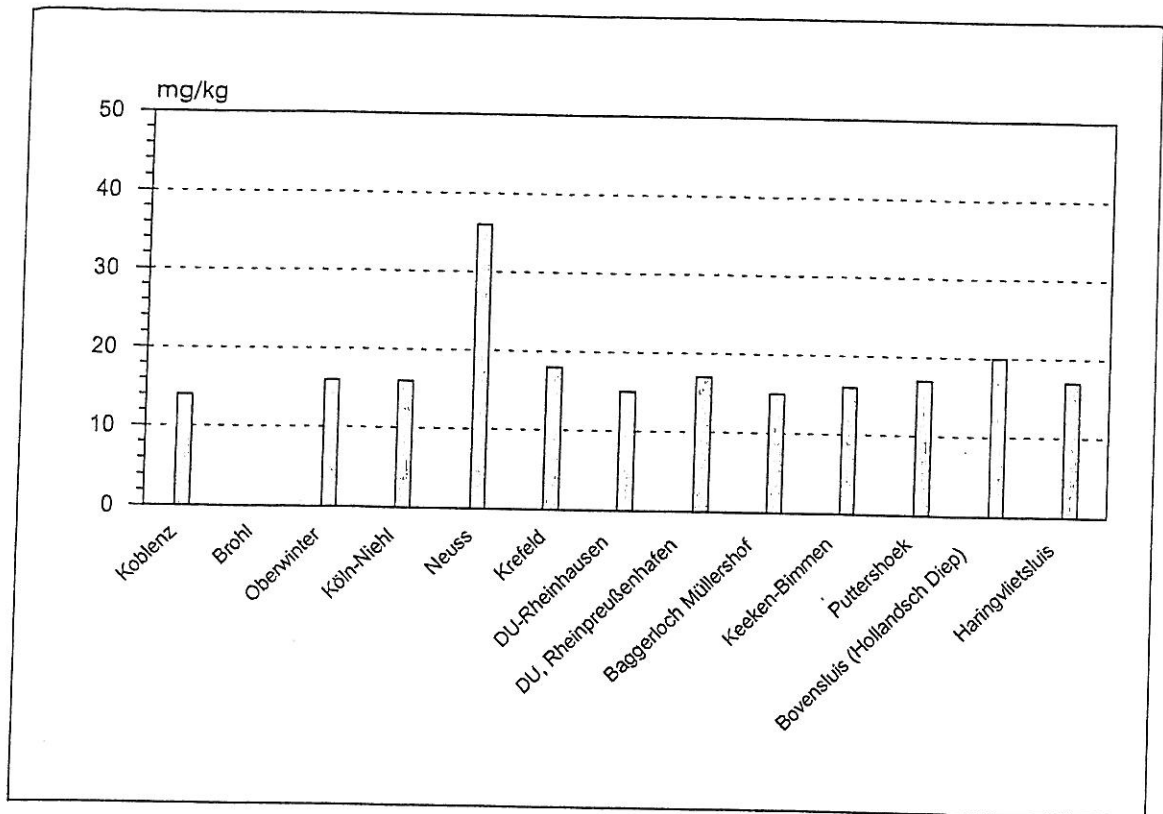
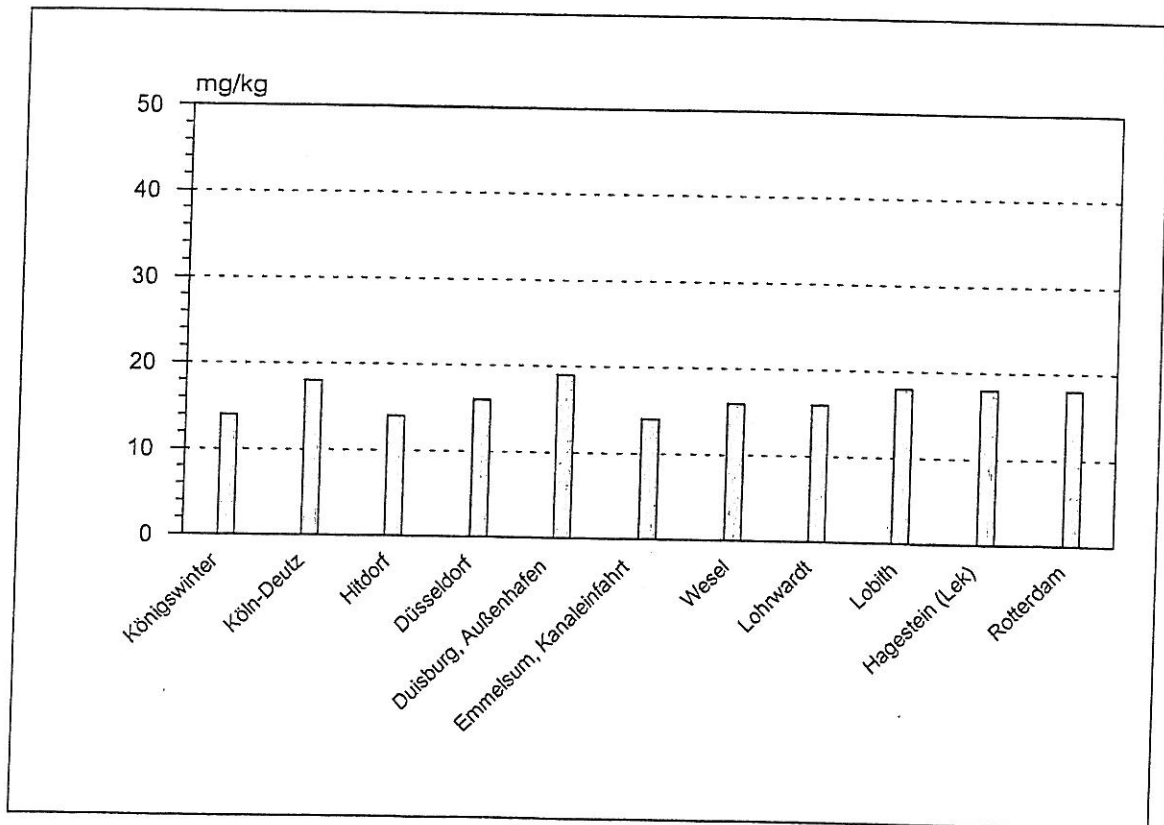


Abb. 3.5.9c: Kobalt im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



### 3.5.10 Vanadium

Vanadium wurde 1995 erstmals im Rahmen der IKSR untersucht. Die Gehalte steigen im Längsprofil des Rheins von 60 - 70 mg/kg im Hochrhein allmählich auf Werte um 100 mg/kg im Niederrhein und im Delta an. Mit Ausnahme der niederrheinischen Belastungsschwerpunkte sind sie mit denen des Chroms vergleichbar.

Für Vanadium gelten ebenfalls 50 mg/kg\* in Kulturböden als tolerierbar. Im Gegensatz zum Kobalt liegen die Gehalte bereits im Hochrhein im Bereich dieses Wertes. An einigen Meßstellen im Niederrhein und im Delta sind deutliche Überschreitungen festzustellen.

\*siehe Kap. 3.5.9

Abb. 3.5.10a: Vanadium im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

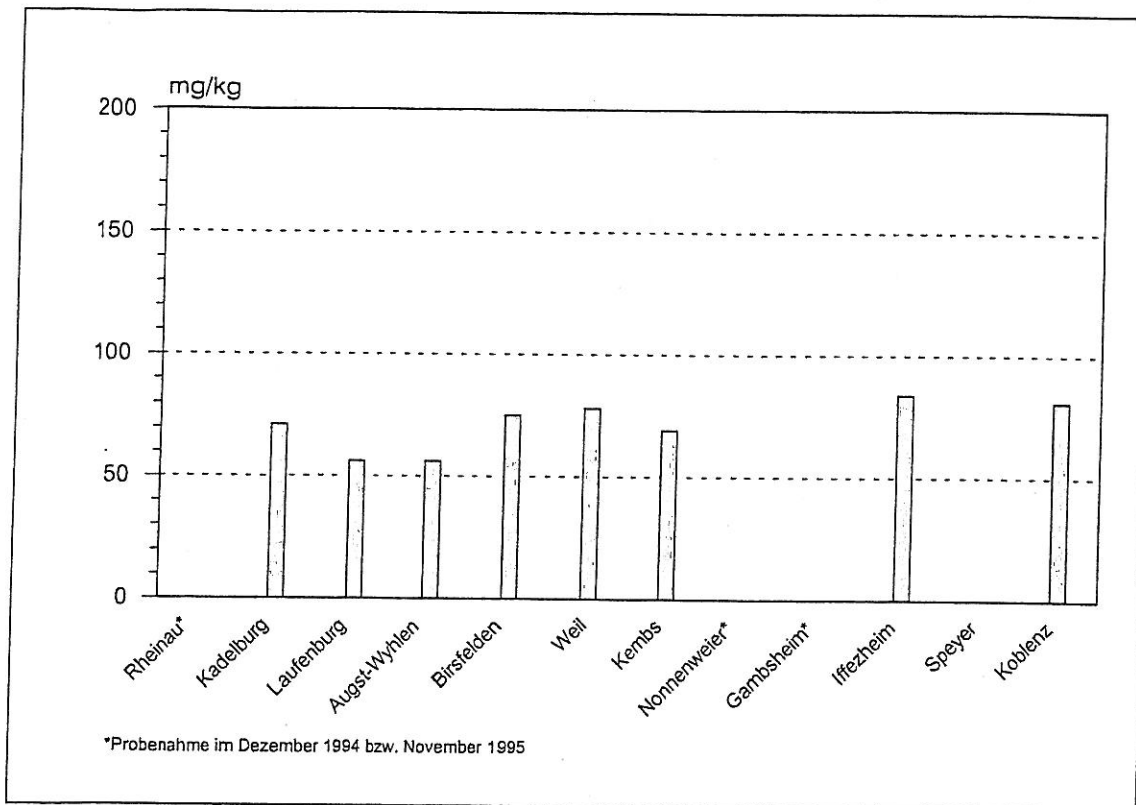


Abb. 3.5.10b: Vanadium im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

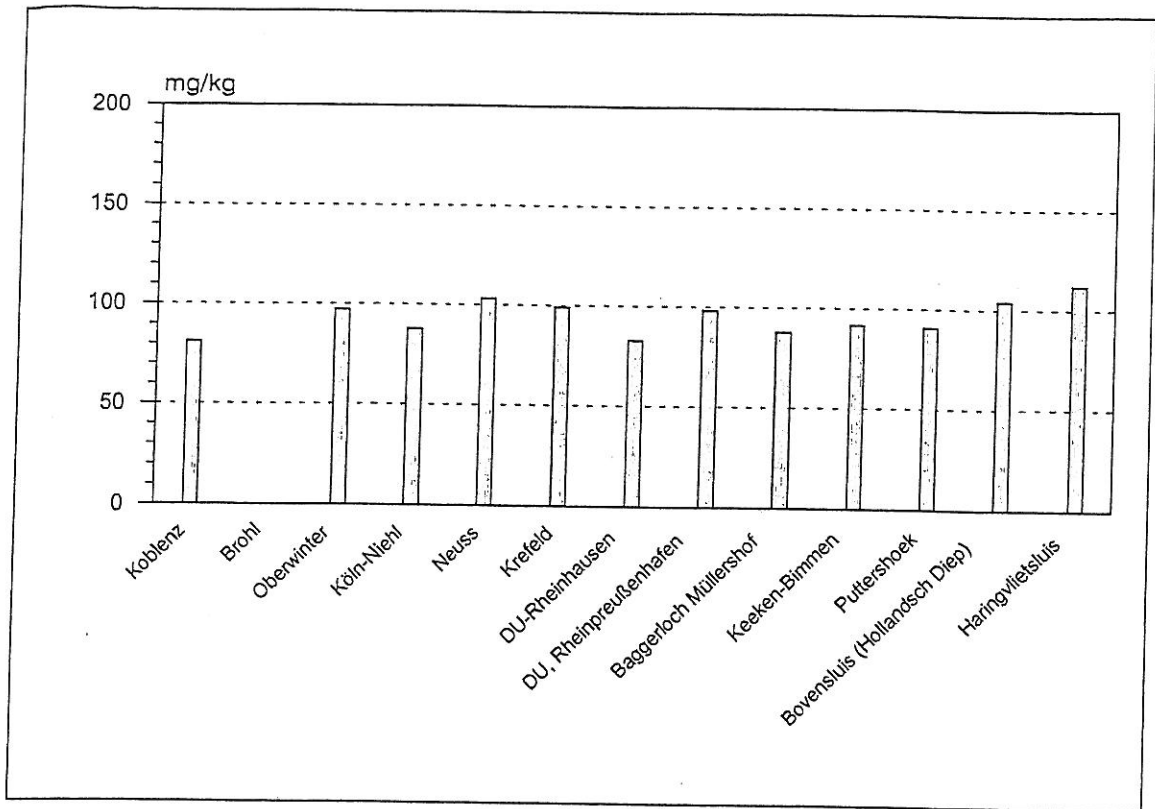
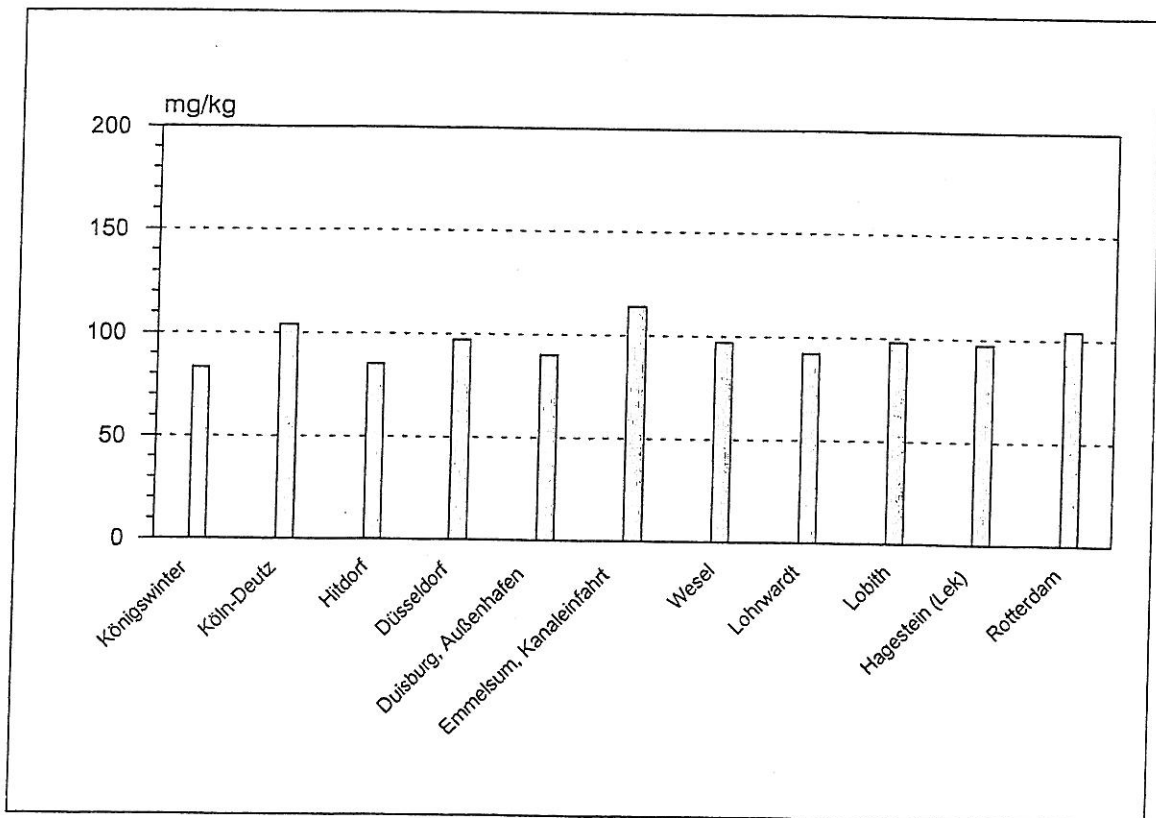


Abb. 3.5.10c: Vanadium im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



### 3.6 Organische Mikroverunreinigungen

In diesem Kapitel werden von der Vielzahl organischer Mikroverunreinigungen vor allem die polychlorierten Benzole, Biphenyle und Dibenzo-p-dioxine und -furane sowie polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe und organische Zinnverbindungen ausführlich behandelt, da sie in deutlich meßbaren Konzentrationen in den Sedimenten des Rheins vorkommen. Kapitel 3.6.6 umfaßt die organischen Stoffe, die nur in geringen Konzentrationen vorkommen bzw. unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze liegen.

#### 3.6.1 Chlorbenzole

An den Meßstellen Kadelburg und Augst-Wyhlen liegen die 1,2-Dichlorbenzolgehalte unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze von 1 µg/kg, die weiteren Meßstellen am Hoch- und Oberrhein bis Kembs sind mit Gehalten unter 10 µg/kg gering belastet. In Iffezheim und Koblenz überschreiten die Konzentrationen 20 µg/kg und liegen im weiteren Verlauf des linken Mittel- und Niederrheinufers von Oberwinter bis Duisburg-Rheinhausen bei Werten um 15 µg/kg. Nach einem vorübergehenden Anstieg auf 29 µg/kg am Baggerloch am Müllershof geht der 1,2-Dichlorbenzolgehalt auf 17 µg/kg in Keeken-Bimmen zurück. Im südlichen Delta erfolgt dann eine deutliche Zunahme der Belastung von 30 µg/kg in Puttershoek über 50 µg/kg im Hollandsch Diep auf 71 µg/kg an der Haringvlietsluis.

Das rechte Niederrheinufer ist dagegen geprägt mit einigen Belastungsschwerpunkten. Dies betrifft die Meßstellen Hitdorf mit 62 µg/kg, die Kanaleinfahrt bei Emmelsum mit 47 µg/kg und insbesondere Lobith (siehe Teil A des Berichts A-m 87/97). An den meisten anderen Meßstellen liegen die Gehalte mit 20 bis 30 µg/kg etwas höher als am linken Niederrhein. Die Belastung im nördlichen Delta bei Rotterdam ist ähnlich wie an der Haringvlietsluis, im Ketelmeer dagegen gering.

Abb. 3.6.1a: 1,2-Dichlorbenzol im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

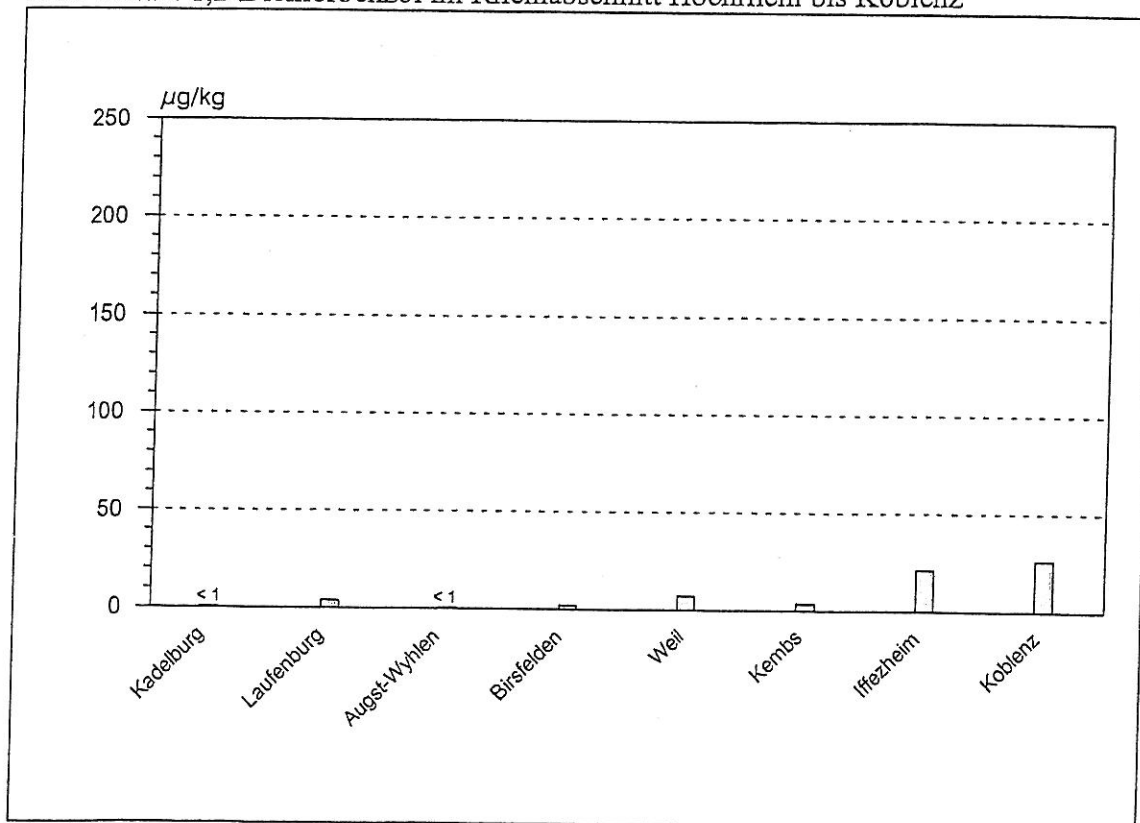




Abb. 3.6.1b: 1,2-Dichlorbenzol im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

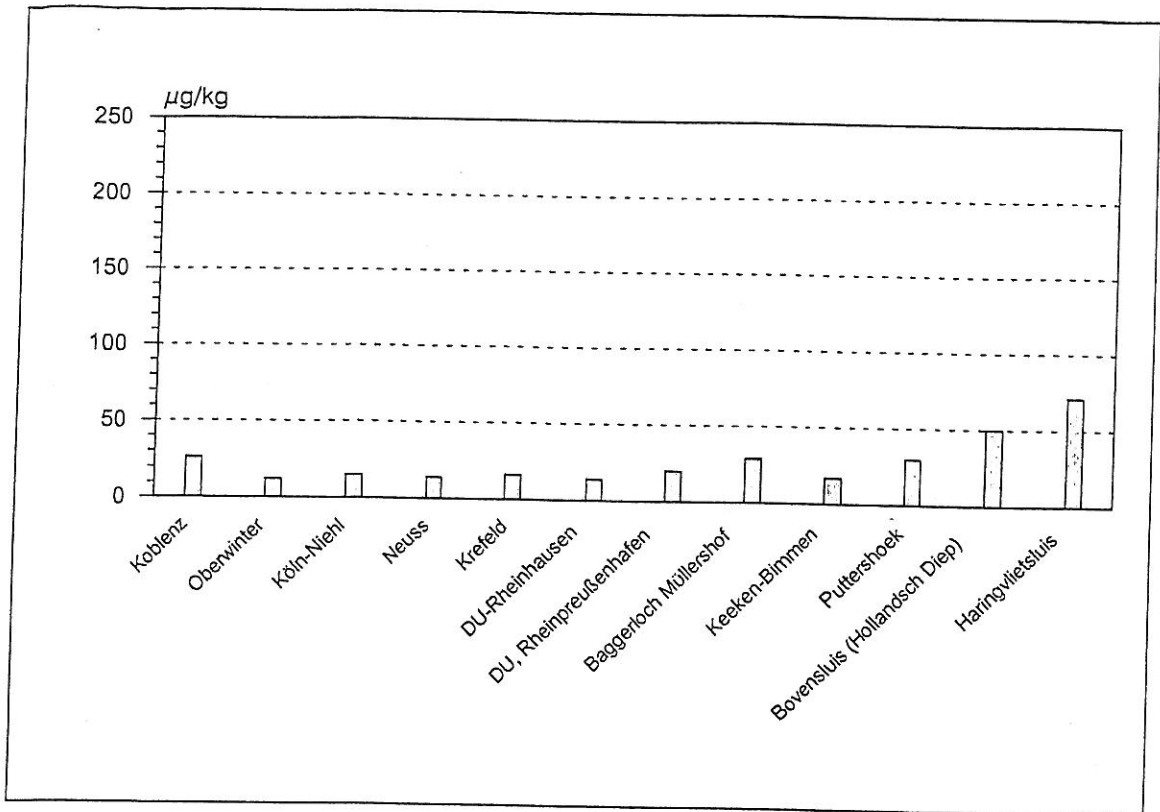
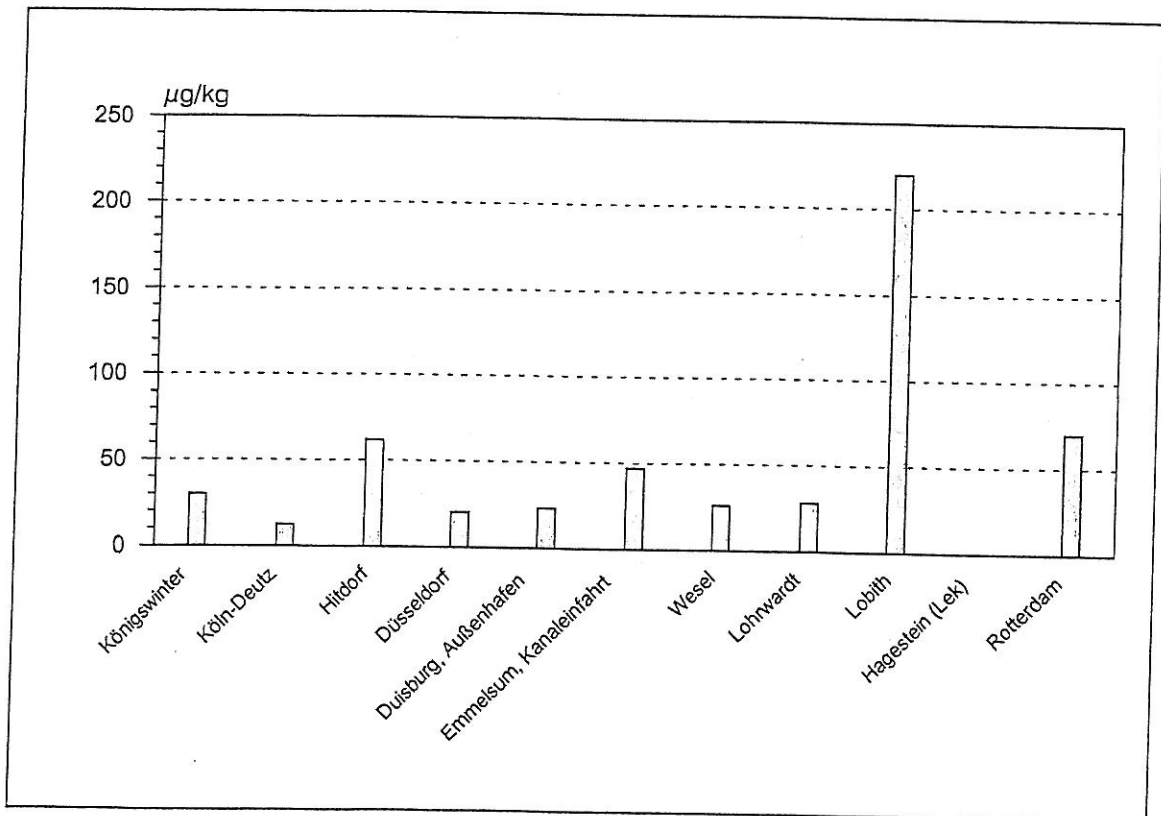
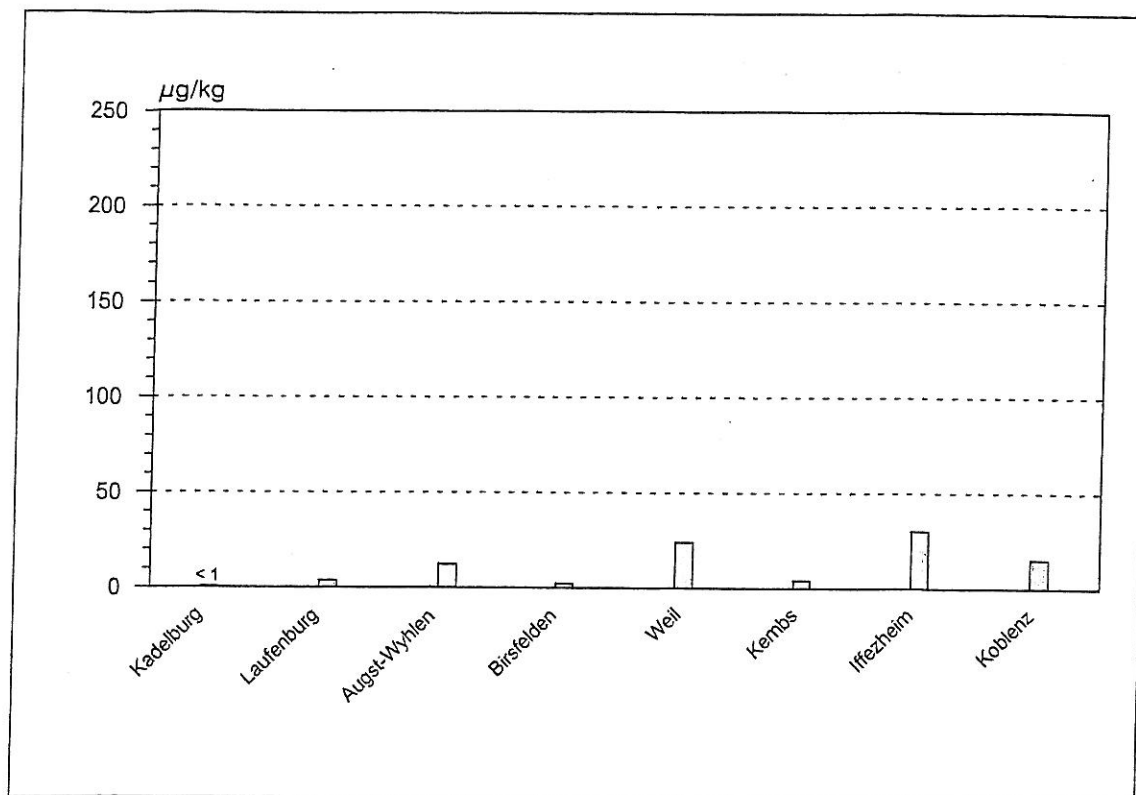


Abb. 3.6.1c: 1,2-Dichlorbenzol im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



Wie bei fast allen chlorierten organischen Verbindungen liegt der 1,3-Dichlorbenzolgehalt in Kadelburg unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze von 1 µg/kg. Im Vergleich zum 1,2-Dichlorbenzol liegen die Gehalte beim 1,3-Dichlorbenzol an den Meßstellen Augst-Wyhlen, Weil und Iffezheim höher, in Koblenz und im weiteren Verlauf des Mittel- und Niederrheins an beiden Ufern sowie im Deltagebiet niedriger. Eine Ausnahme bildet lediglich der Belastungsschwerpunkt in Hitdorf. Der höchste Gehalt liegt wie bei den anderen Isomeren mit 120 µg/kg in Lobith vor.

Abb. 3.6.2a: 1,3-Dichlorbenzol im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz



1,4-Dichlorbenzol ist das Isomer mit den höchsten Konzentrationen an den meisten Meßstellen. Während Kadelburg am Hochrhein wiederum unbelastet ist, liegt bereits in Weil mit 50 µg/kg ein relativ hoher Gehalt vor. Während die unterhalb gelegene Meßstelle Kembs nur gering belastet ist, steigt der 1,4-Dichlorbenzolgehalt in Iffezheim auf 39 µg/kg an, nimmt im weiteren Verlauf jedoch auf Werte um 20 µg/kg am linken Niederrheinufer ab. Im südlichen Delta steigt die Belastung wieder auf einen Gehalt von 99 µg/kg an der Haringvlietsluis an.

Am rechten Ufer des Mittel- und Niederrheins unterliegen die 1,4-Dichlorbenzolgehalte größeren Schwankungen. Höhere Konzentrationen liegen an den Meßstellen Königswinter mit 40 µg/kg, Hitdorf mit 87 µg/kg und insbesondere Lobith mit 150 µg/kg vor. An den übrigen Meßstellen liegen die Gehalte zwischen 14 µg/kg in Köln-Deutz und 35 µg/kg in Emmelsum und Wesel. Im nördlichen Delta liegt der Gehalt wie beim 1,2-Isomeren bei 70 µg/kg.

Abb. 3.6.3a: 1,4-Dichlorbenzol im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

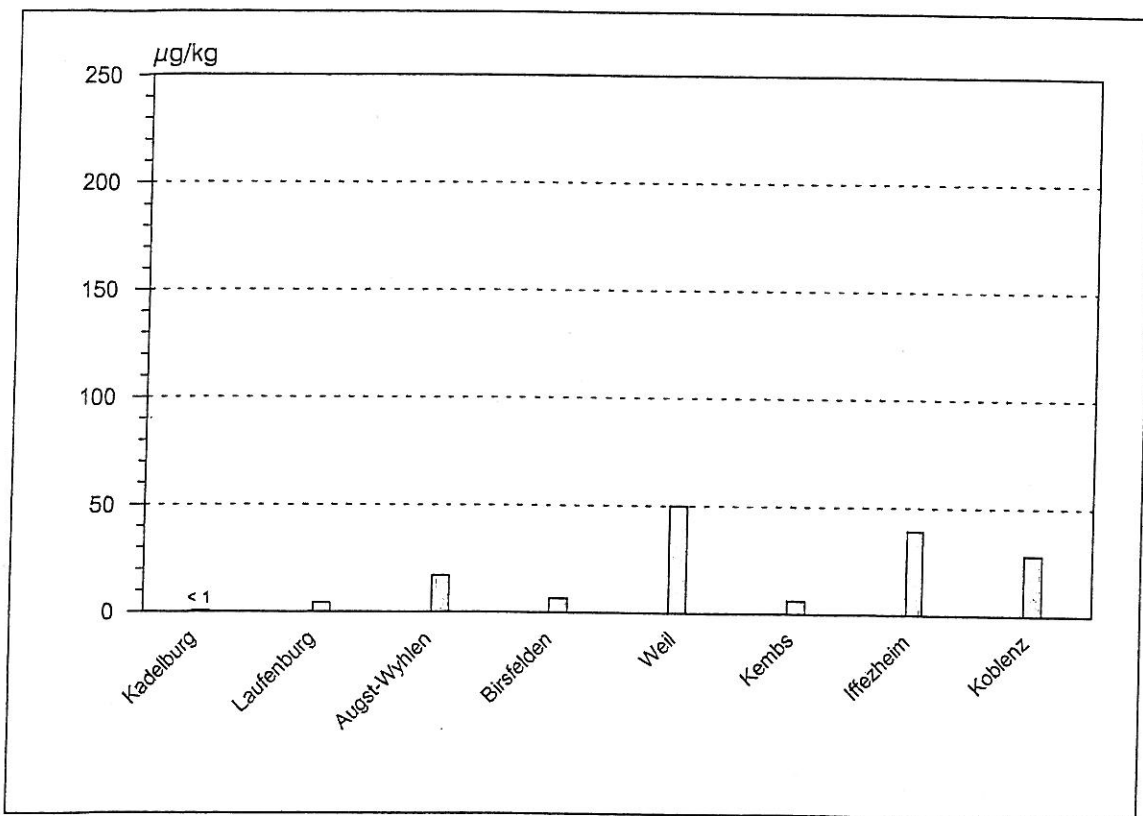


Abb. 3.6.2b: 1,3-Dichlorbenzol im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

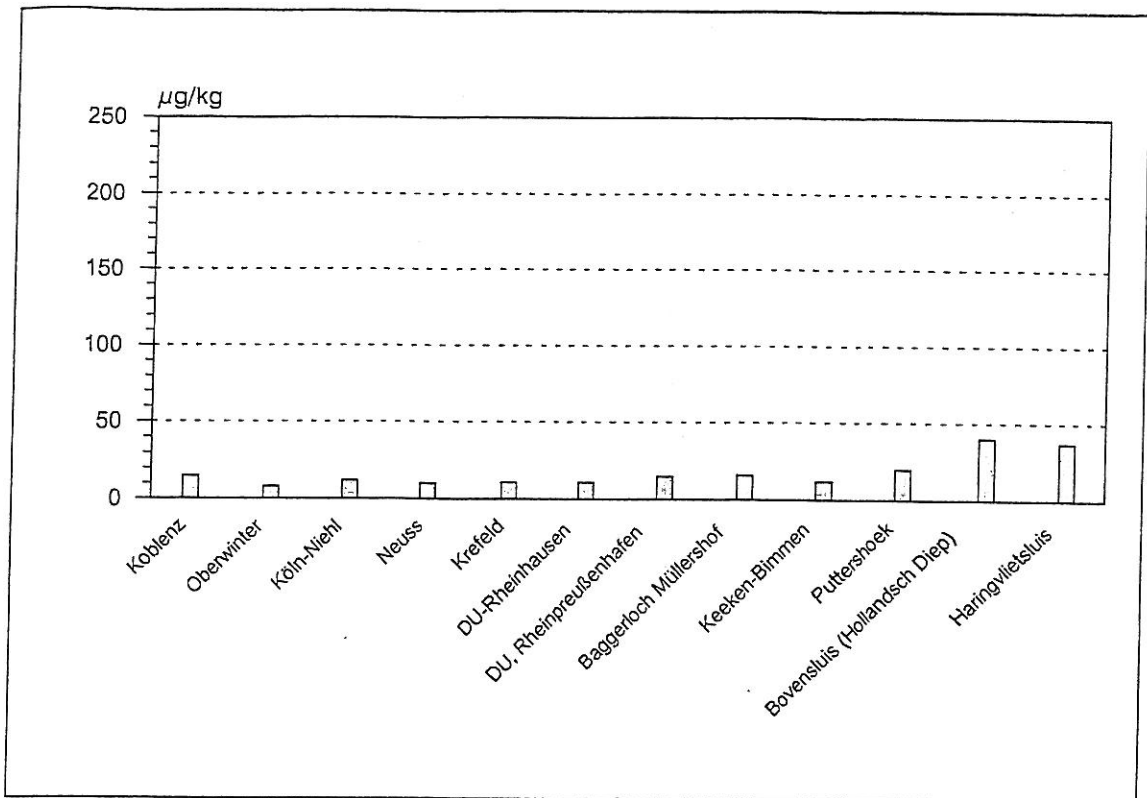


Abb. 3.6.2c: 1,3-Dichlorbenzol im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer

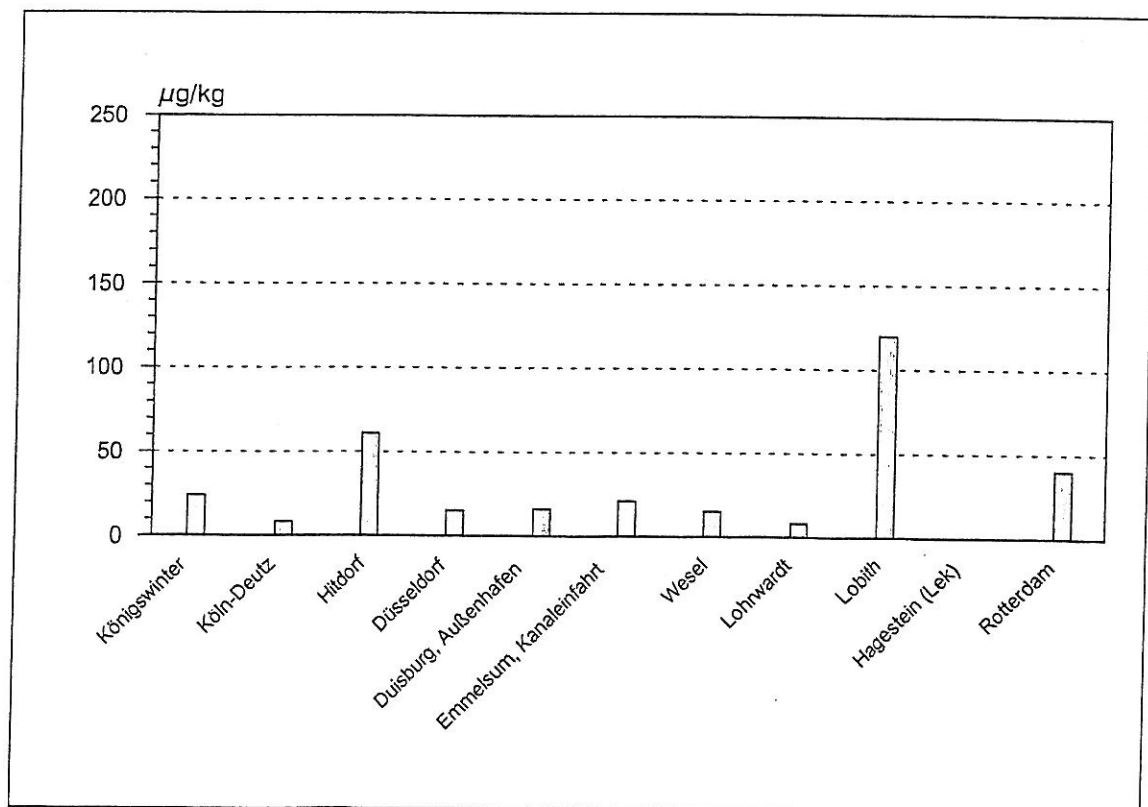


Abb. 3.6.3b: 1,4-Dichlorbenzol im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

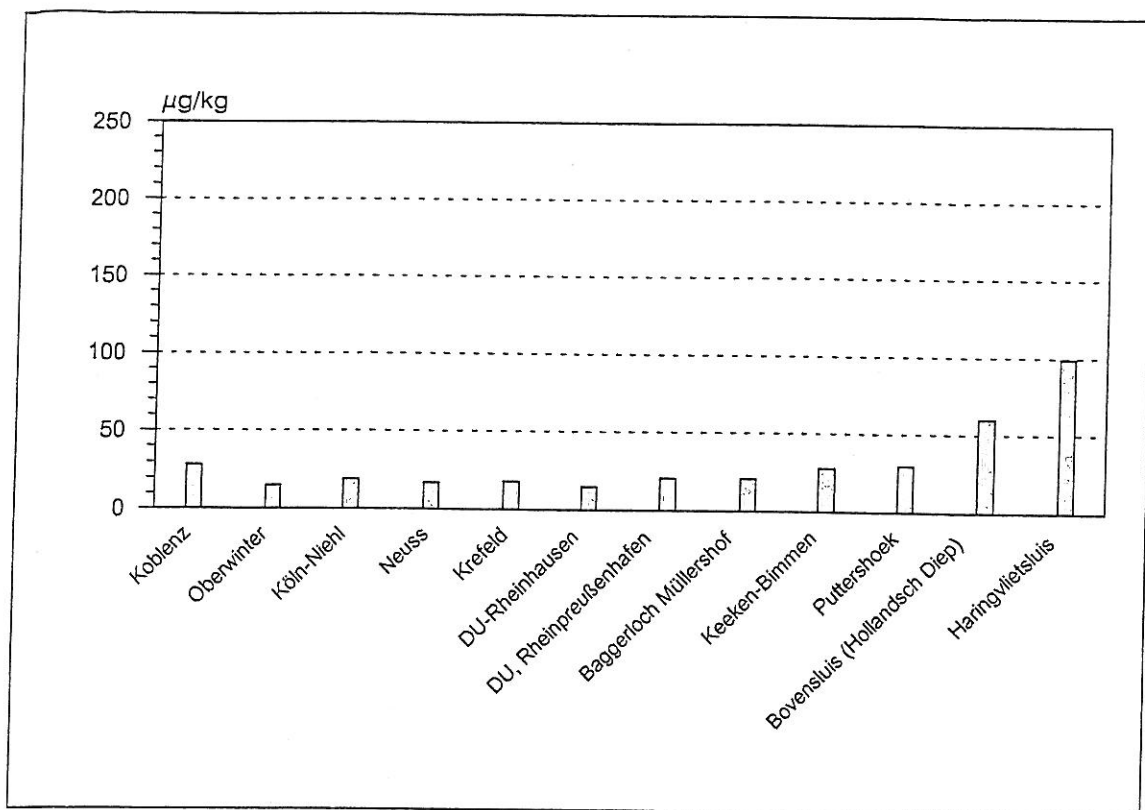
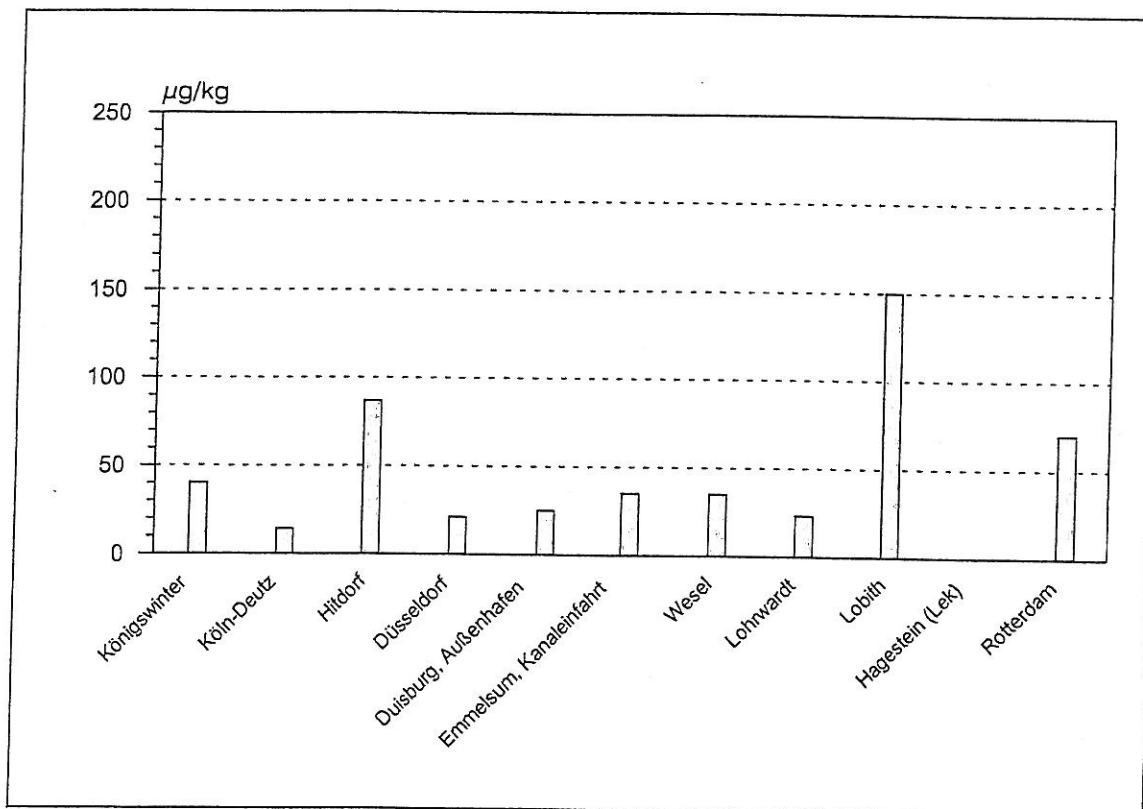


Abb. 3.6.3c: 1,4-Dichlorbenzol im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



Die 1,2,3-Trichlorbenzolgehalte liegen an den meisten Meßstellen nur geringfügig über der analytischen Bestimmungsgrenze von 1 µg/kg. Die Meßstellen Kadelburg, Augst-Wyhlen, Birsfelden, Weil, Kembs, Oberwinter und Ketelmeer sind unbelastet.

Beim 1,2,4-Trichlorbenzol sind lediglich die Meßstellen Kadelburg und Birsfelden unbelastet. Ab Weil steigen die Gehalte auf 15 µg/kg in Kembs an und verbleiben im weiteren Verlauf des Rheins auf diesem Niveau bis zum Baggerloch am Müllershof (linkes Niederrheinufer). Über Keeken-Bimmen erfolgt ein kontinuierlicher weiterer Anstieg der Gehalte auf 53 µg/kg an der Haringvlietsluis im südlichen Delta.

Am rechten Niederrheinufer unterliegen die 1,2,4-Trichlorbenzolgehalte dagegen stärkeren Schwankungen, wobei die Meßstellen Hitdorf mit 64 µg/kg und Lobith mit 80 µg/kg wiederum die Belastungsschwerpunkte bilden. An den übrigen Meßstellen bewegen sich die Gehalte um 20 µg/kg, im nördlichen Delta bei Rotterdam liegt die 1,2,4-Trichlorbenzolkonzentration bei 40 µg/kg.

Abb. 3.6.4a: 1,2,4-Trichlorbenzol im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

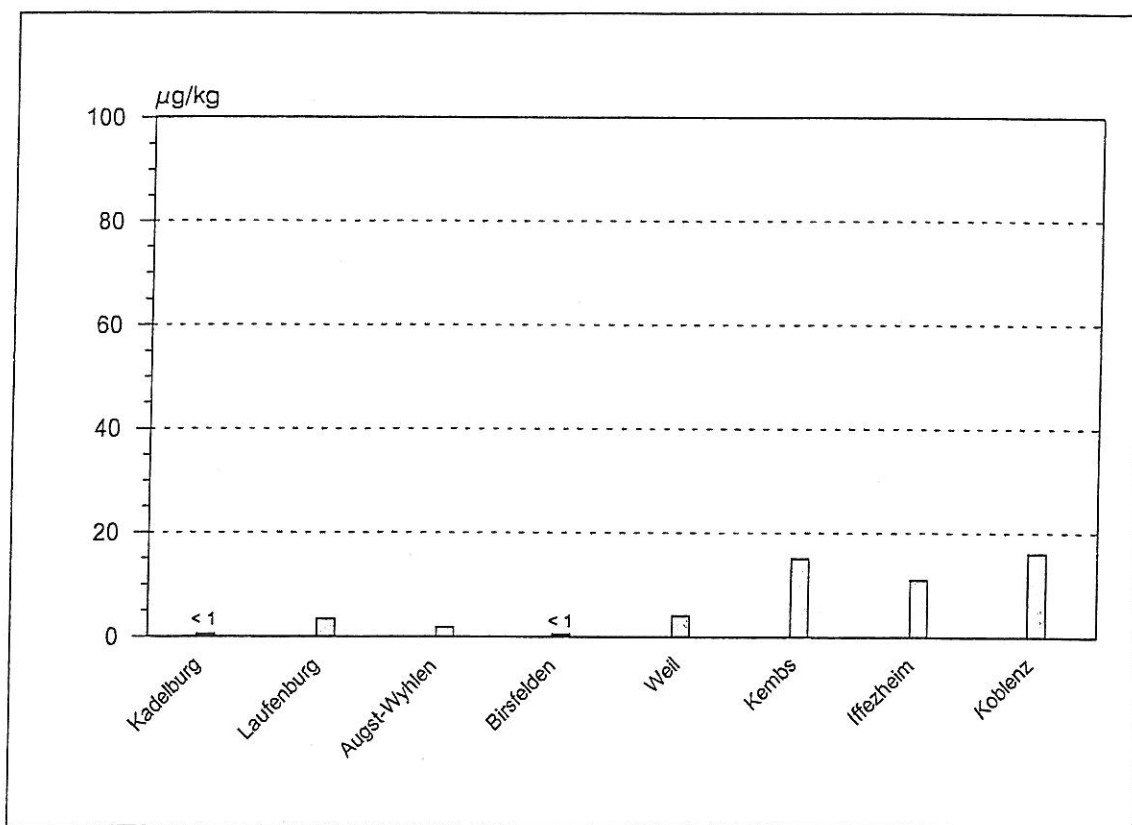


Abb. 3.6.4b: 1,2,4-Trichlorbenzol im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

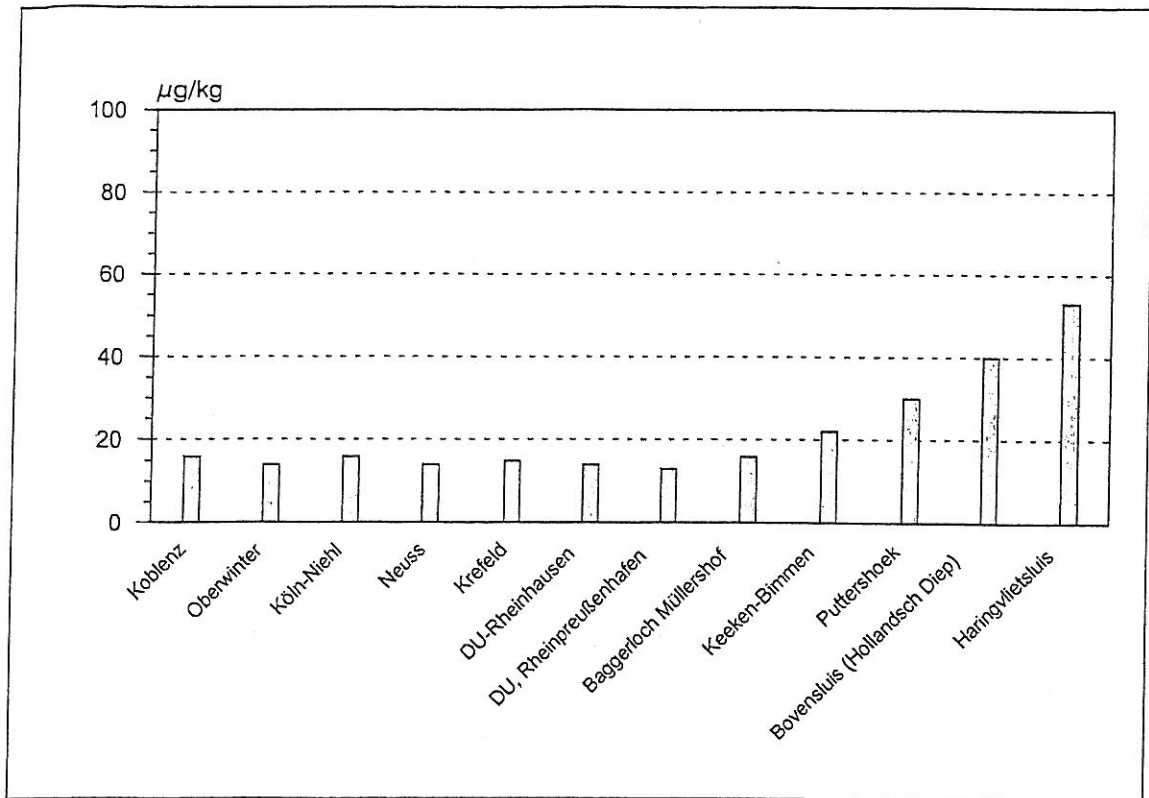
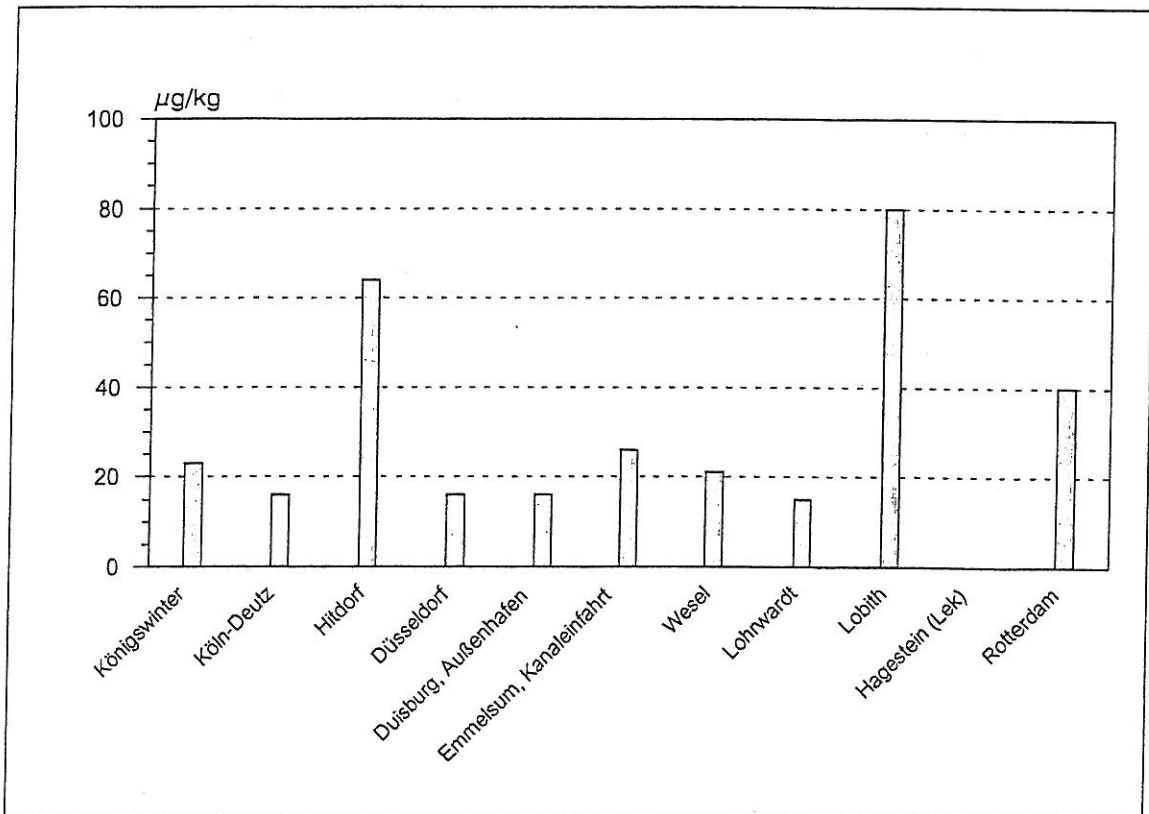


Abb. 3.6.4c: 1,2,4-Trichlorbenzol im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



Lediglich die Ausgangsmeßstelle Kadelburg ist beim 1,3,5-Trichlorbenzol unbelastet. Insgesamt sind die Gehalte jedoch deutlich geringer als beim 1,2,4-Trichlorbenzol. Am Hochrhein und Oberrhein bis Kembs liegen die 1,3,5-Trichlorbenzolgehalte nur geringfügig über der analytischen Bestimmungsgrenze von 1 µg/kg. In Iffezheim steigt der Gehalt an 1,3,5-Trichlorbenzol vorübergehend auf 11 µg/kg an, geht über Koblenz am linken Niederrhein wieder auf Werte deutlich unter 10 µg/kg zurück, um in Keeken-Bimmen wieder das Niveau von Iffezheim zu erreichen. Im südlichen Delta erhöhen sich die Gehalte weiter auf 30 µg/kg im Hollandsch Diep und an der Haringvlietsluis.

Am rechten Niederrheinufer treten wie bei den anderen Chlorbenzolen stärkere Schwankungen auf. Die höchsten Konzentrationen wurden an den Meßstellen Hitdorf mit 16 µg/kg, an der Kanaleinfahrt bei Emmelsum mit 25 µg/kg, Wesel mit 13 µg/kg sowie Lobith mit 44 µg/kg ermittelt. Die Gehalte der anderen rechtsrheinischen Meßstellen sind mit denen des linken Niederrheins vergleichbar. In Rotterdam liegt der 1,3,5-Trichlorbenzolgehalt wie im südlichen Delta bei 30 µg/kg.

Abb. 3.6.5a: 1,3,5-Trichlorbenzol im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

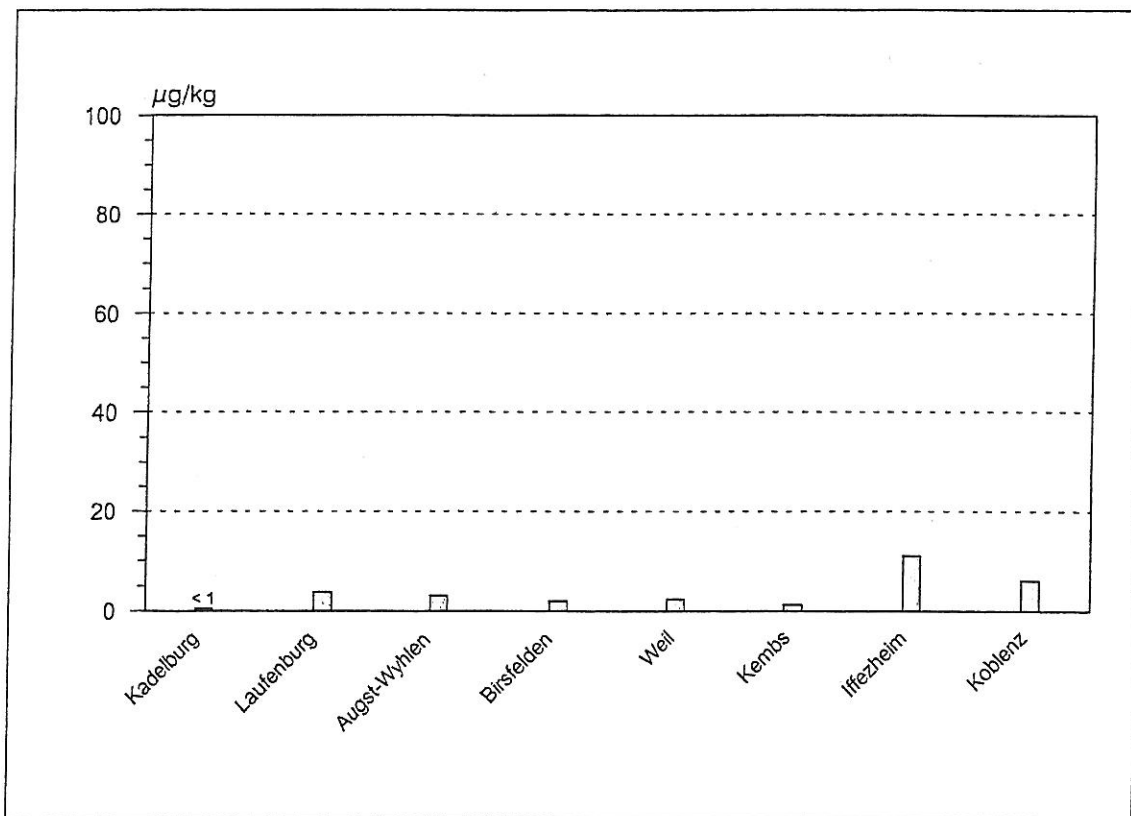




Abb. 3.6.5b: 1,3,5-Trichlorbenzol im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

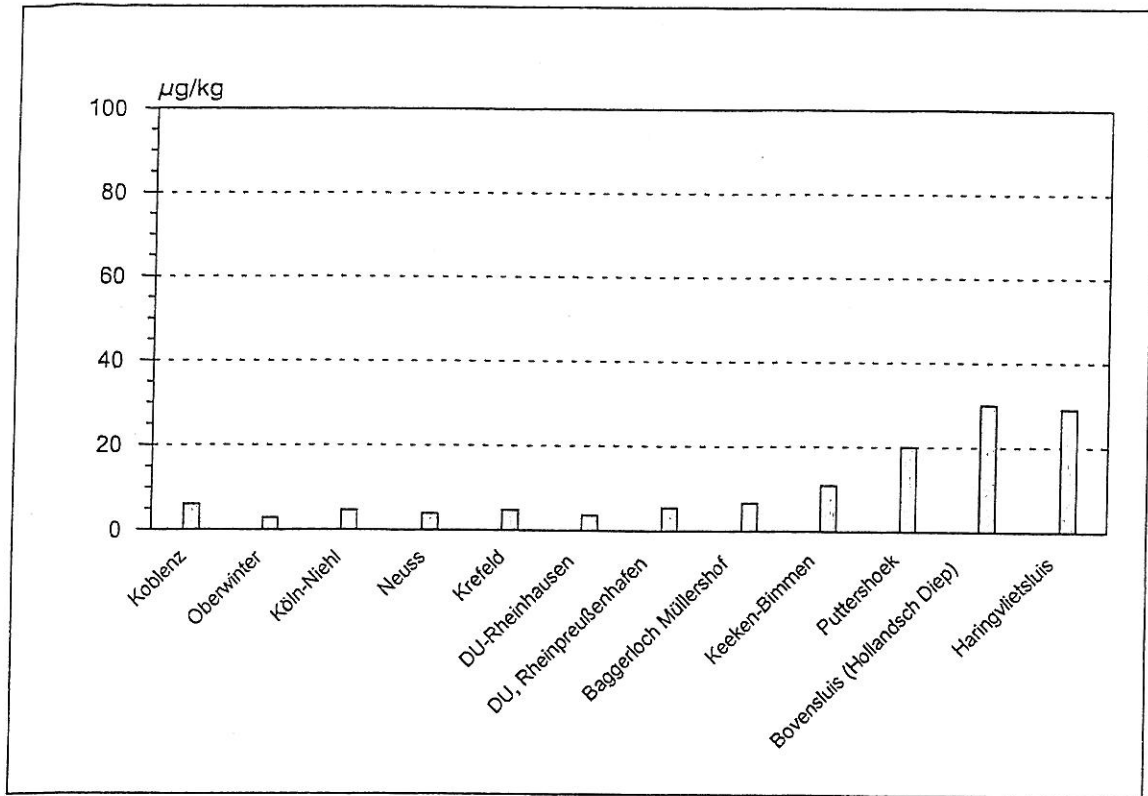
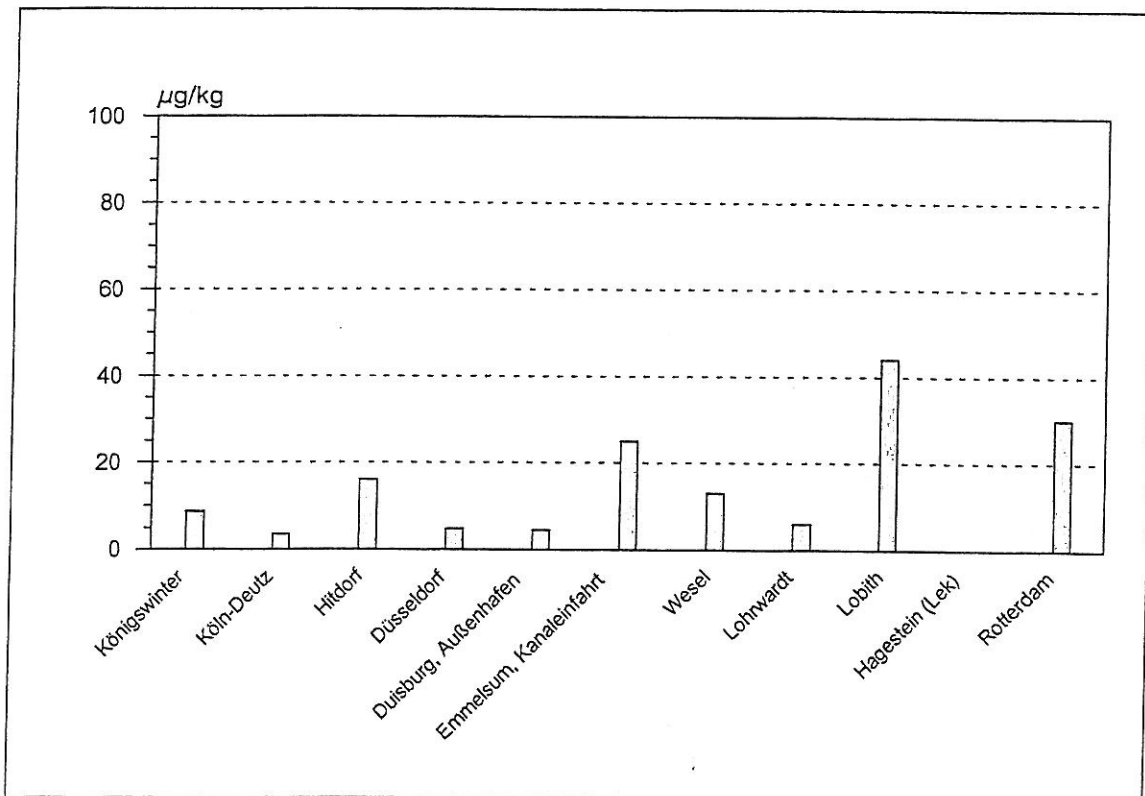


Abb. 3.6.5c: 1,3,5-Trichlorbenzol im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



Bei den 1.2.3.4- und 1.2.3.5-Isomeren des Tetrachlorbenzols liegen die Gehalte im gesamten Längsprofil des Rheins im Bereich der analytischen Bestimmungsgrenze von 1 µg/kg oder darunter.

Anders ist die Lage beim 1.2.4.5-Tetrachlorbenzol. Hier treten an einigen wenigen Meßstellen deutlich höhere Konzentrationen auf, insbesondere in Kembs mit 50 µg/kg. Die Ursache dieser Belastung ist derzeit unklar. Weitere Meßstellen mit erhöhten 1,2,4,5-Tetrachlorbenzolwerten sind Lobith (16 µg/kg), Haringvlietsluis (8,9 µg/kg), Hitdorf (8,7 µg/kg) sowie Keeken-Bimmen mit 7,4 mg/kg. Die Gehalte an den übrigen Meßstellen sind mit denen der beiden anderen Isomere vergleichbar.

Abb. 3.6.6a: 1,2,4,5-Tetrachlorbenzol im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

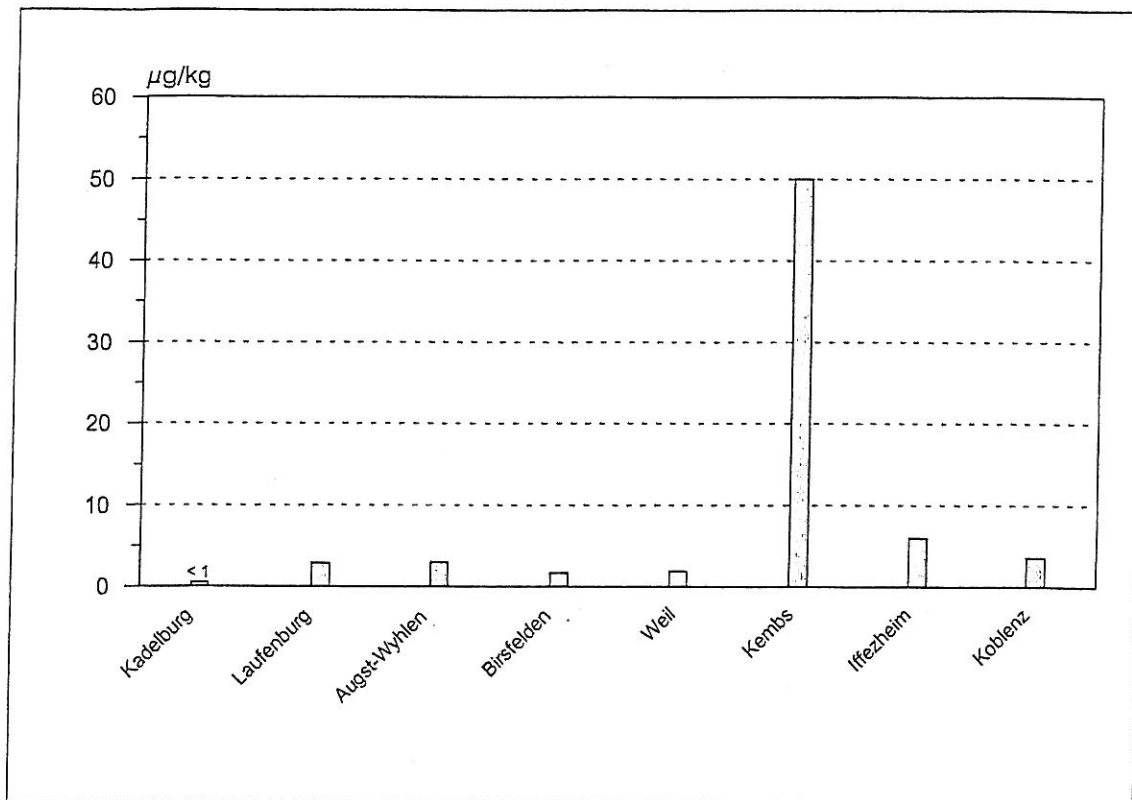


Abb. 3.6.6b: 1,2,4,5-Tetrachlorbenzol im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

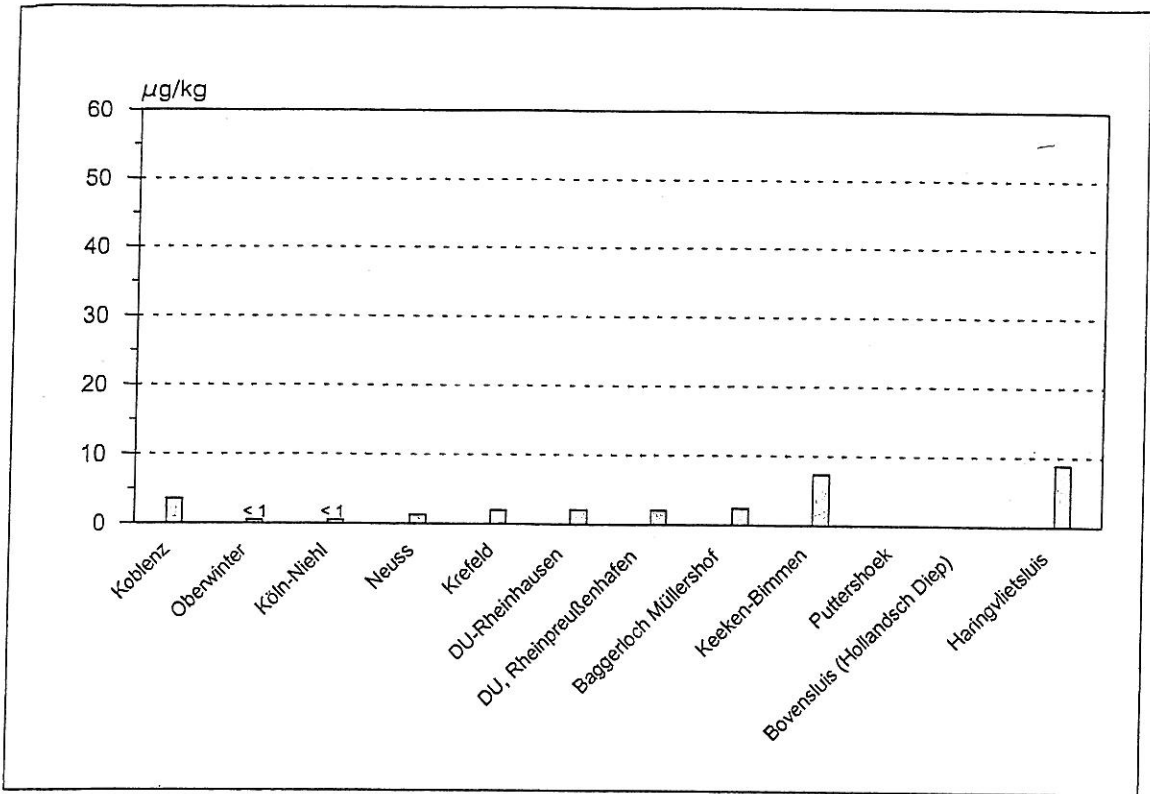
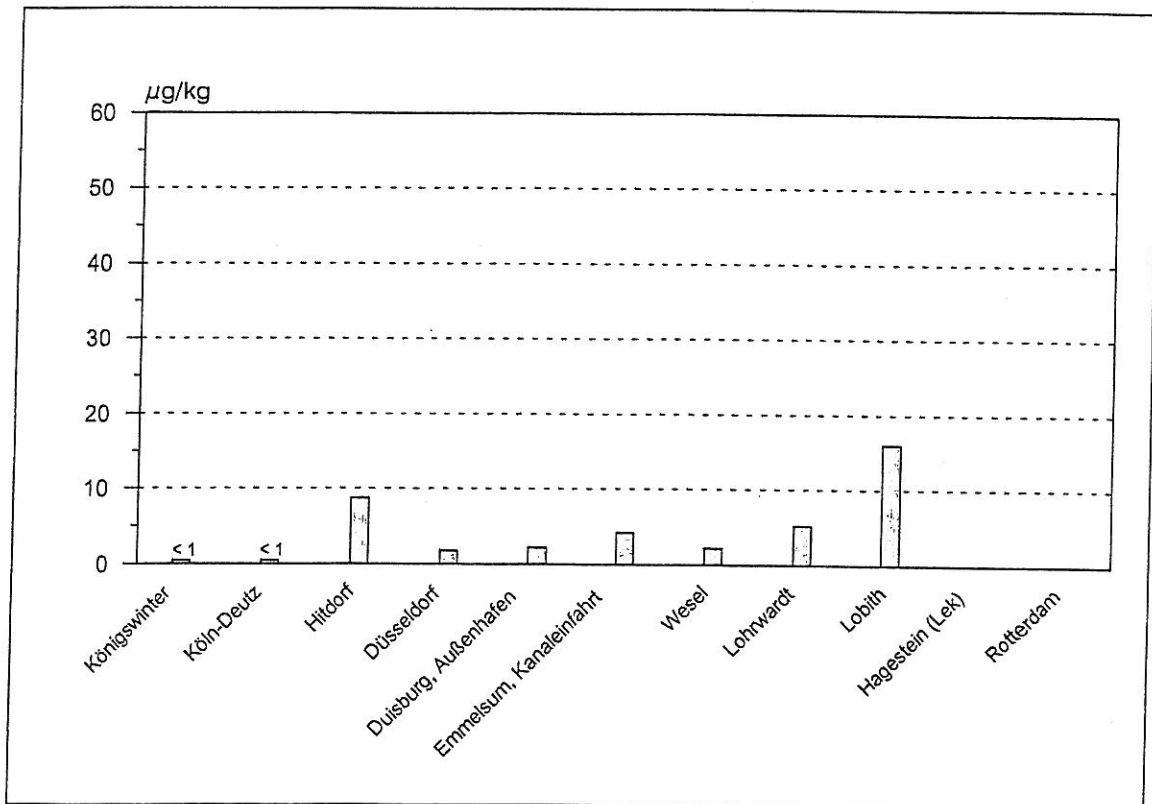


Abb. 3.6.6c: 1,2,4,5-Tetrachlorbenzol im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



Die Pentachlorbenzolgehalte liegen an fast allen Meßstellen unter 5 µg/kg. Lediglich die Meßstellen Hitdorf, Lobith und Haringvlietsluis weisen mit Werten um 7 µg/kg eine etwas höhere Belastung auf.

Einen völlig anderen Verlauf als die bisher beschriebenen Schadstoffe nimmt die Belastung mit Hexachlorbenzol (HCB) im Rheinlängsprofil. Ausgehend von der unbelasteten Meßstelle Kadelburg am Hochrhein steigt der HCB-Gehalt bereits an der unterhalb von Rheinfelden gelegenen Meßstelle Augst-Wyhlen stark an, um im Oberrhein seine Spitzenwerte zu erreichen. Dabei ist der Abschnitt von Kembs bis Iffezheim mit Konzentrationen um 300 µg/kg besonders hoch belastet. Im Mittel- und Niederrhein gehen die Gehalte auf Werte unter 100 µg/kg zurück, unterliegen jedoch mehr oder weniger starken Schwankungen. Der gesamte Deltabereich ist mit Gehalten um 10 µg/kg dagegen nur noch gering belastet.

Der Vergleich mit der IKSR-Zielvorgabe von 40 µg/kg ergibt eine erhebliche Überschreitung im Oberrhein und an der niederrheinischen Meßstelle Lohrwardt (Ergebnisgruppe 1). In Augst-Wyhlen, am Mittelrhein und an nahezu allen niederrheinischen Meßstellen liegen die HCB-Gehalte im Bereich der Zielvorgabe (Ergebnisgruppe 2). Die weiteren Meßstellen am Hochrhein sowie der gesamte Deltabereich können der Ergebnisgruppe 3 (Zielvorgabe eingehalten) zugeordnet werden.

Abb. 3.6.7a: HCB im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

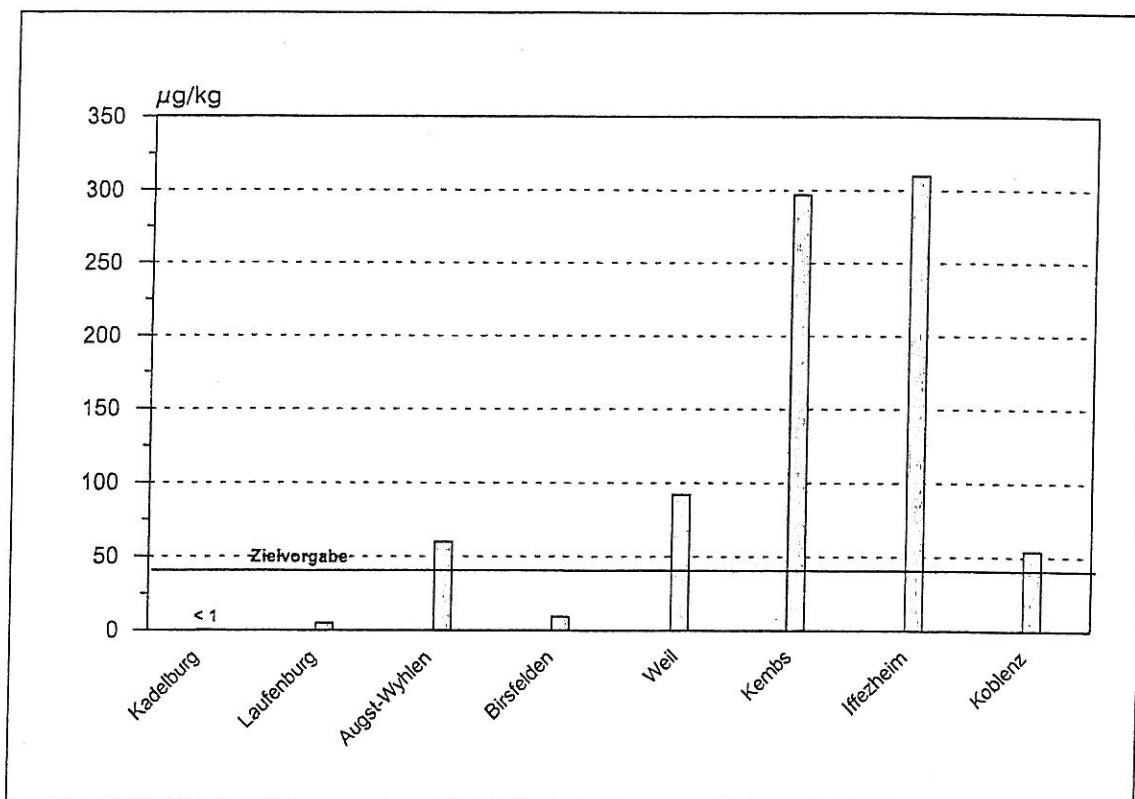


Abb. 3.6.7b: HCB im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

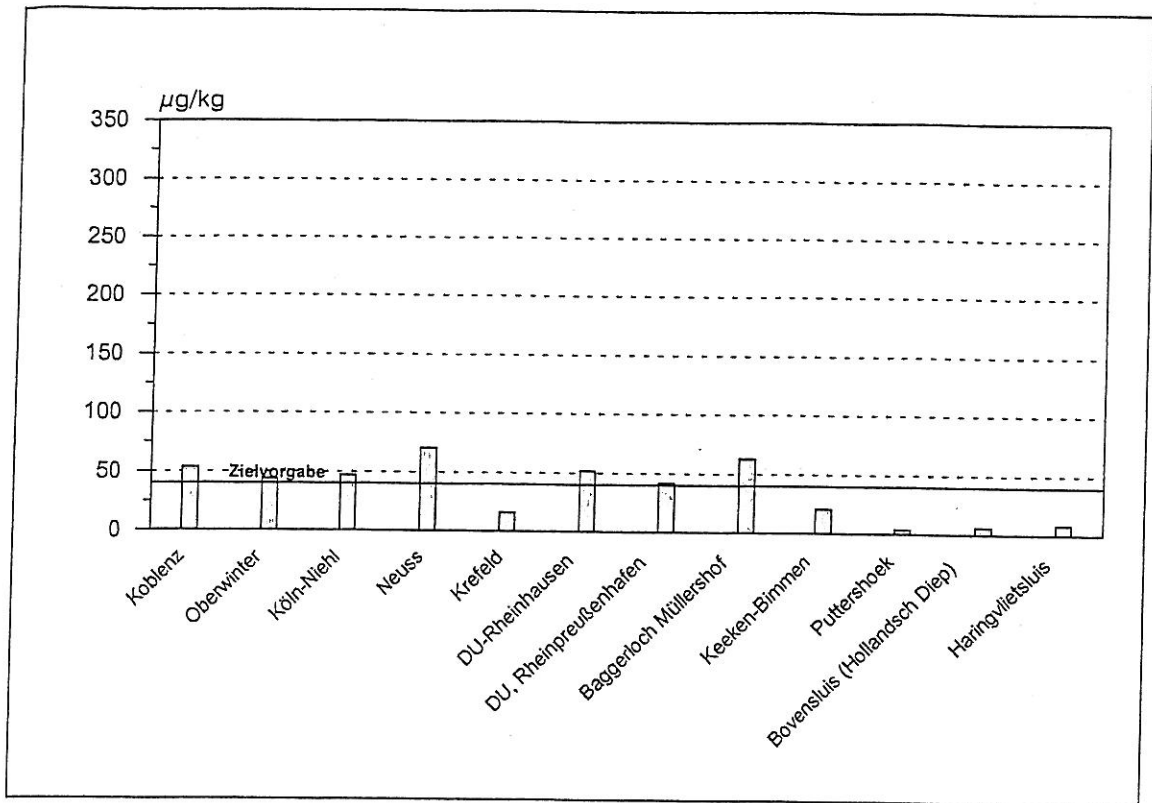
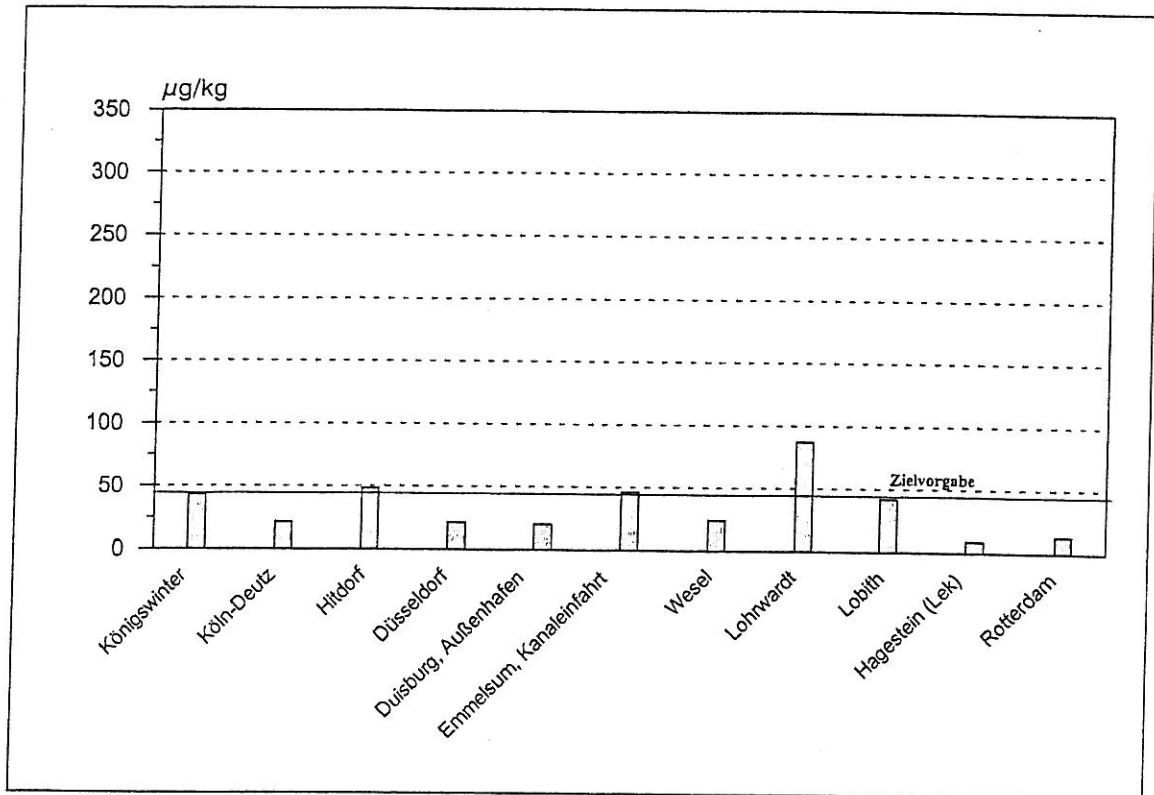


Abb. 3.6.7c: HCB im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



### 3.6.2 Polychlorierte Biphenyle (PCB)

Die Summe der 6 PCB-Kongenere (PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180) steigt von  $< 5 \mu\text{g}/\text{kg}$  in Kadelburg am Hochrhein allmählich auf etwa  $50 \mu\text{g}/\text{kg}$  bis Oberwinter bzw. Königswinter ausgangs des Mittelrheins an und verbleibt linksrheinisch auf diesem Niveau bis zum Hollandsch Diep im südlichen Delta. Bis zur Haringvlietsluis verdoppelt sich der Gehalt auf  $100 \mu\text{g}/\text{kg}$ . Am rechten Niederrhein liegen die durchschnittlichen Gehalte mit etwa  $70 \mu\text{g}/\text{kg}$  etwas höher als linksrheinisch, während die Meßstellen Hitdorf ( $207 \mu\text{g}/\text{kg}$ ), Duisburger Außenhafen ( $368 \mu\text{g}/\text{kg}$ ) und Lobith mit  $159 \mu\text{g}/\text{kg}$  die Belastungsschwerpunkte bilden. Im nördlichen Delta gehen die Gehalte dagegen auf ca.  $50 \mu\text{g}/\text{kg}$  in der Lek und bei Rotterdam zurück.

Abb. 3.6.8a: Summe PCB (6 Kongenere) im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

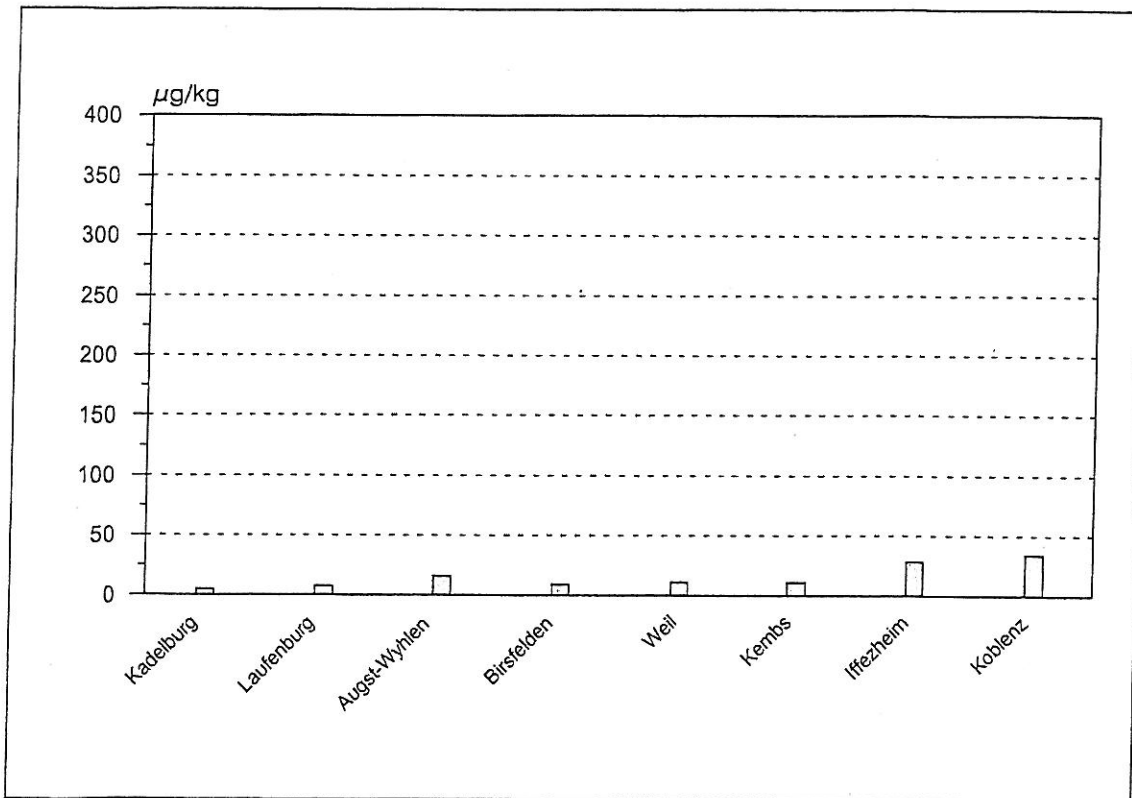


Abb.3.6.8b: Summe PCB (6 Kongenere) im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

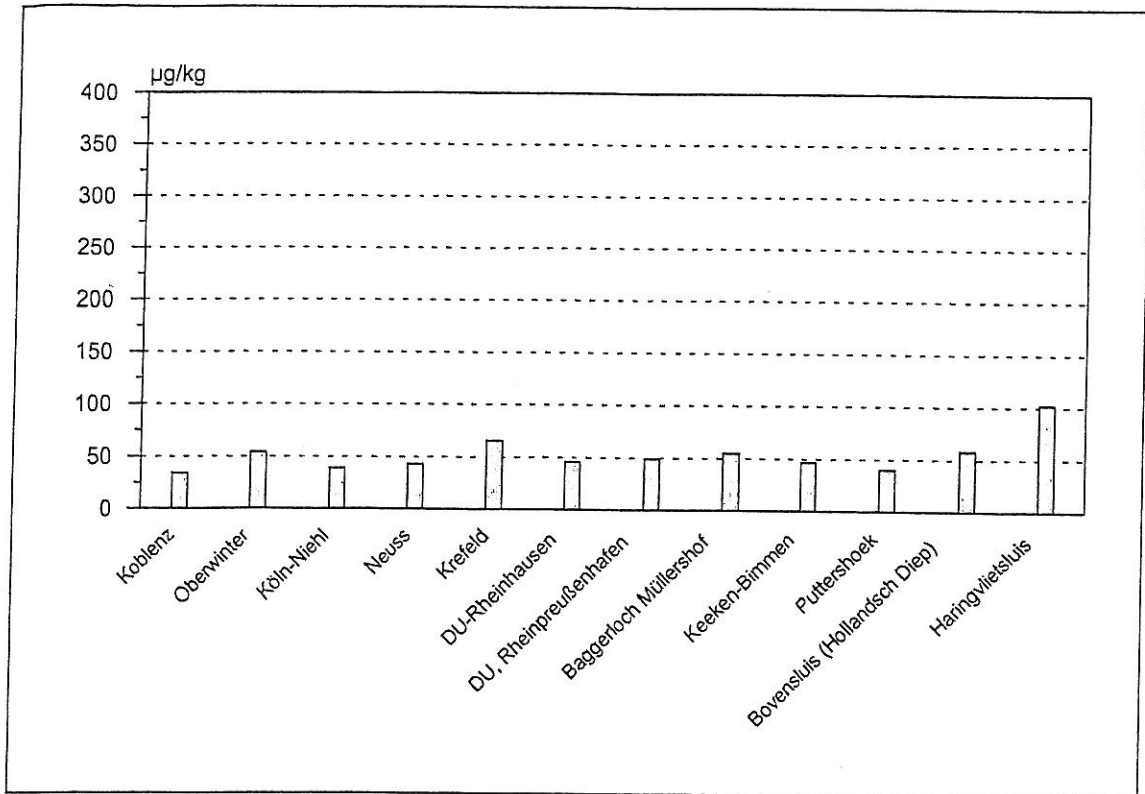
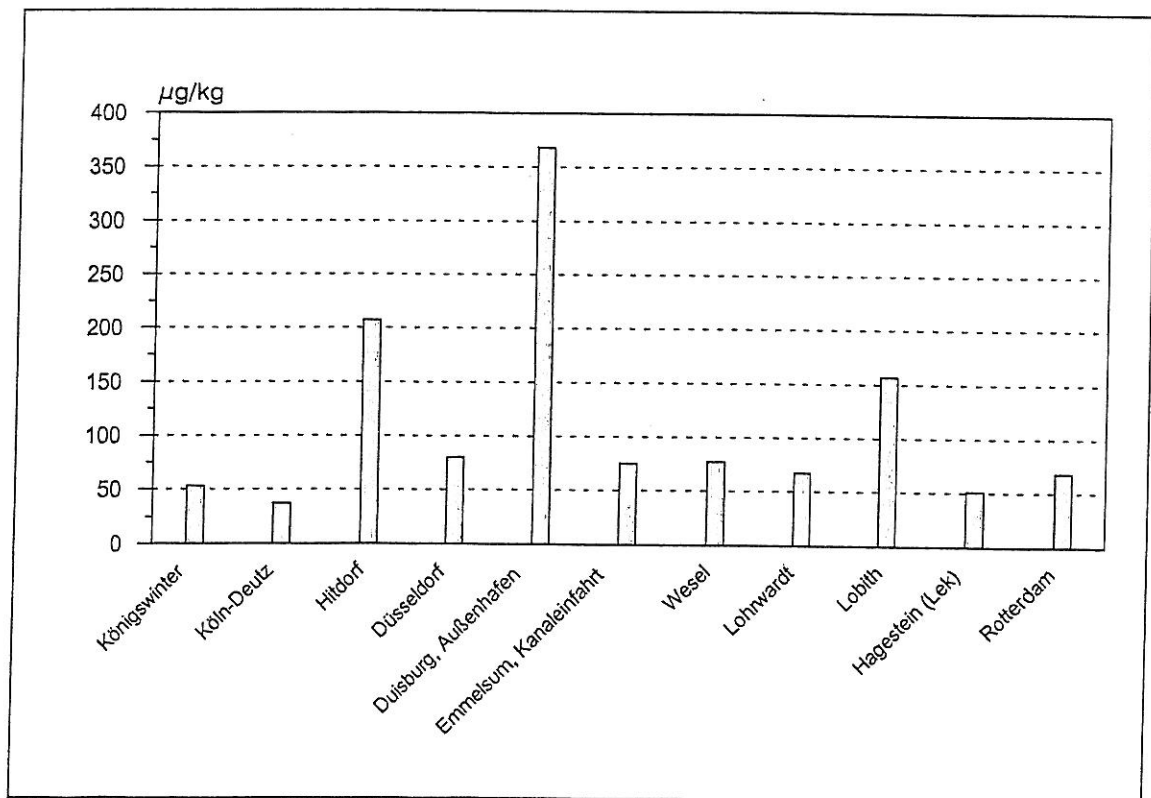


Abb. 3.6.8c: Summe PCB (6 Kongenere) im Rheinabschnitt von Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



Am Hoch- und Oberrhein bis Kembs liegen die PCB 28-Gehalte überwiegend unter der analytischen Bestimmungsgrenze von 1  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . Von Iffezheim bis zum Baggerloch am Müllershof liegen die Werte linksrheinisch weitestgehend bei 2  $\mu\text{g}/\text{kg}$  und steigen ab Keeken-Bimmen bis zur Haringvlietsluis im südlichen Delta auf 14  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . Im rechten Niederrhein unterliegen die Gehalte größeren Schwankungen, wobei die Meßstellen Hitdorf und Lobith mit nahezu 40  $\mu\text{g}/\text{kg}$  die Belastungsspitzen darstellen. Außergewöhnlich niedrig ist der PCB 28-Gehalt am Duisburger Außenhafen; die hohe PCB-Belastung wird hier im wesentlichen durch die höherchlorierten Kongenere PCB 138 und PCB 153 hervorgerufen. Das nördliche Delta weist PCB 28-Gehalte um 10  $\mu\text{g}/\text{kg}$  auf.

Abb. 3.6.9a: PCB 28 im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

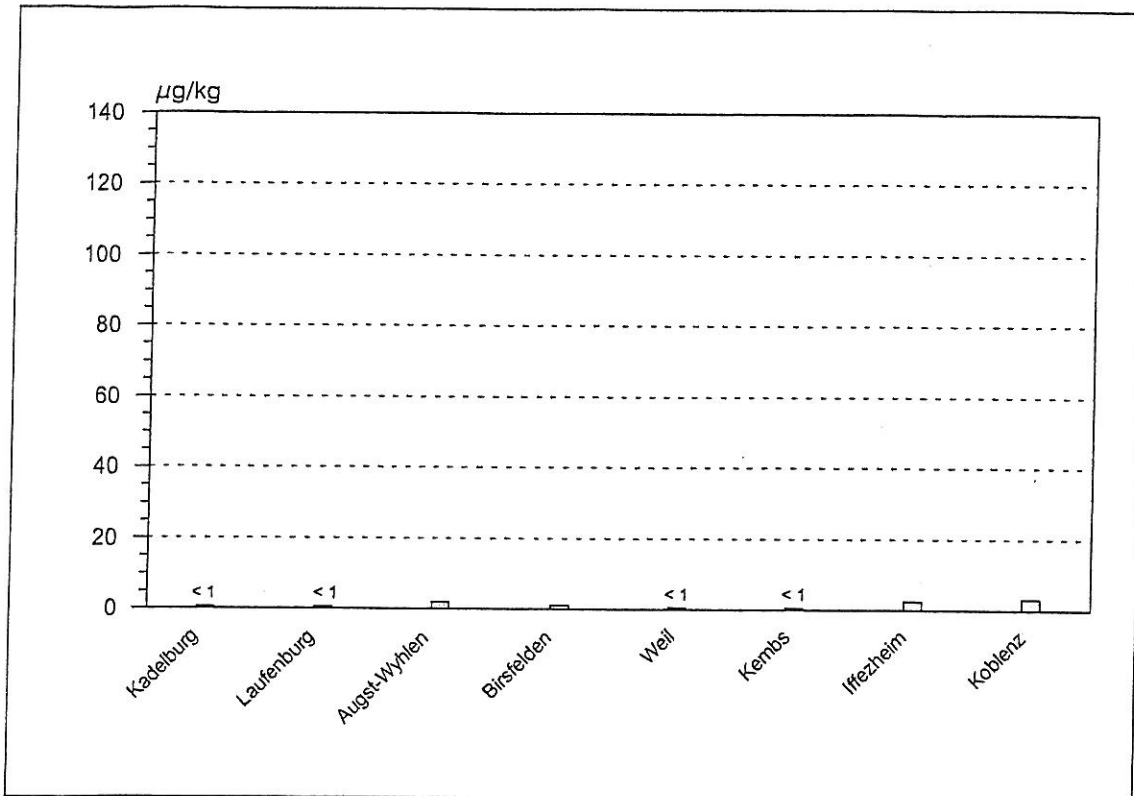




Abb. 3.6.9b: PCB 28 im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

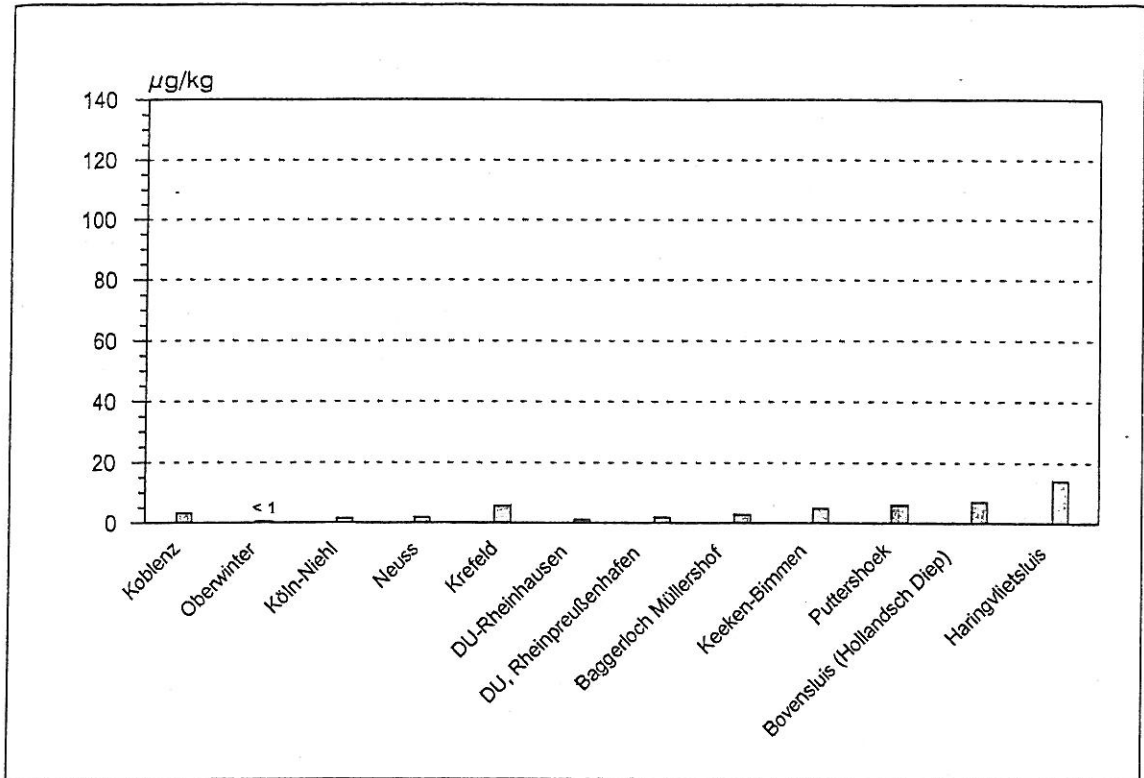
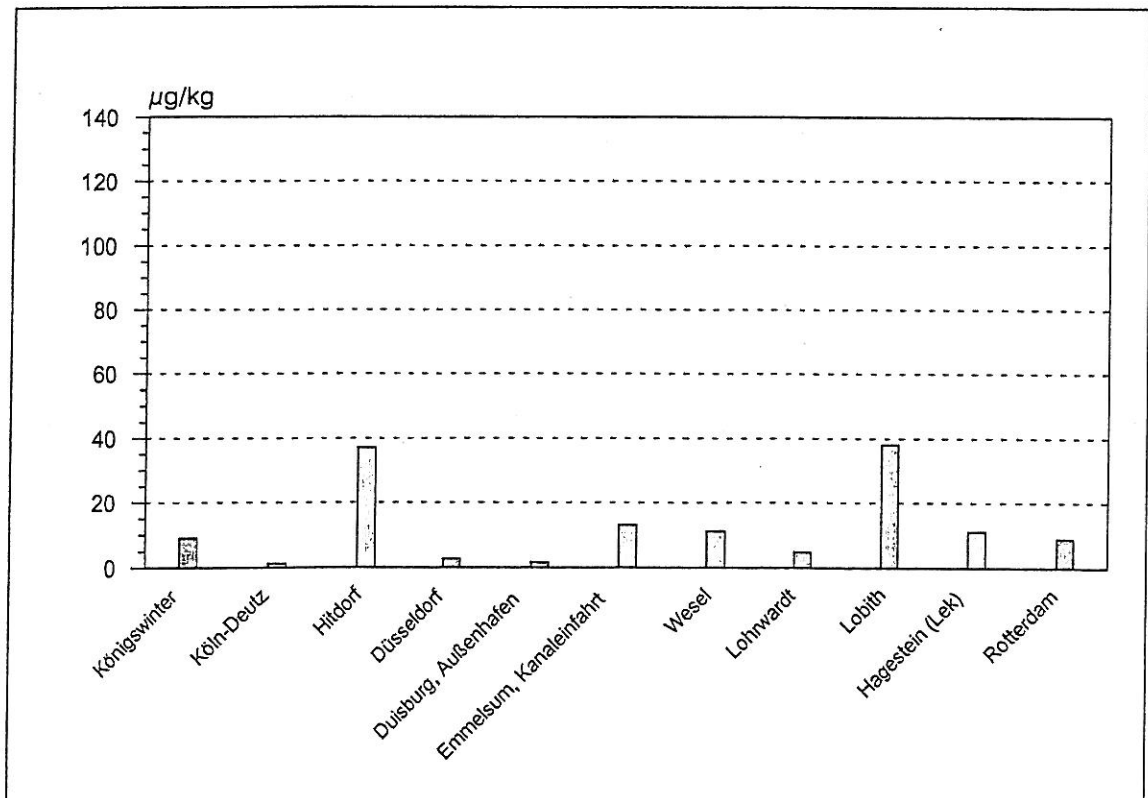


Abb. 3.6.9c: PCB 28 im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



Beim PCB 52 liegen die Gehalte lediglich an den Meßstellen Kadelburg am Hochrhein und Kembs am Oberrhein unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze von  $1 \mu\text{g}/\text{kg}$ . An den anderen Meßstellen im Hoch- und Oberrhein liegen die Gehalte zunächst bei  $2 \mu\text{g}/\text{kg}$  und steigen bis Iffezheim auf einen Wert von  $3,8 \mu\text{g}/\text{kg}$  an. Im weiteren Verlauf verbleiben die PCB 52-Gehalte am linken Ufer mit Ausnahme der Meßstelle Krefeld auf diesem Niveau und nehmen ab Keeken-Bimmen auf  $5$  bis  $7 \mu\text{g}/\text{kg}$  im südlichen Delta zu. An der Haringvlietsluis wird mit  $19 \mu\text{g}/\text{kg}$  schließlich der Höchstwert erreicht.

Am rechten Ufer des Niederrhein sind wiederum größere Schwankungen festzustellen, wobei die Meßstellen Hitdorf mit  $30 \mu\text{g}/\text{kg}$  und Lobith mit  $21 \mu\text{g}/\text{kg}$  die stärksten Belastungen aufweisen. Im nördlichen Delta liegen die Gehalte dagegen wieder deutlich unter  $10 \mu\text{g}/\text{kg}$ .

Abb. 3.6.10a: PCB 52 im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

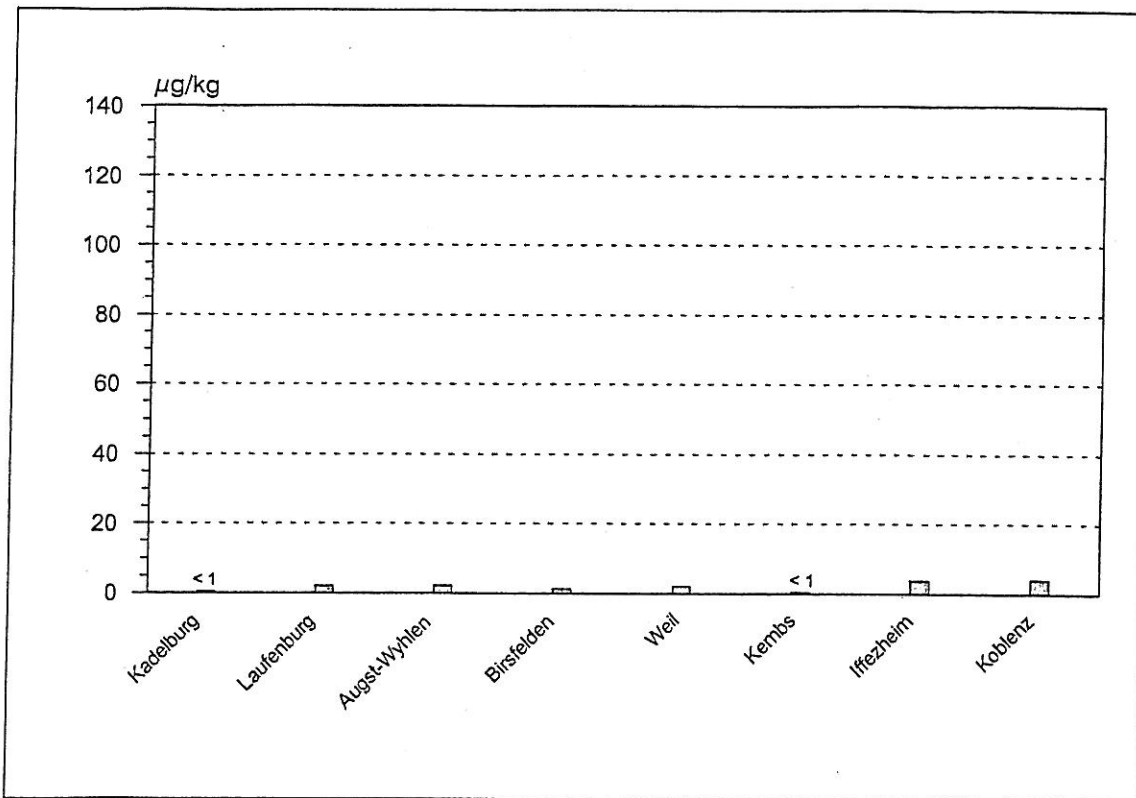


Abb. 3.6.10b: PCB 52 im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

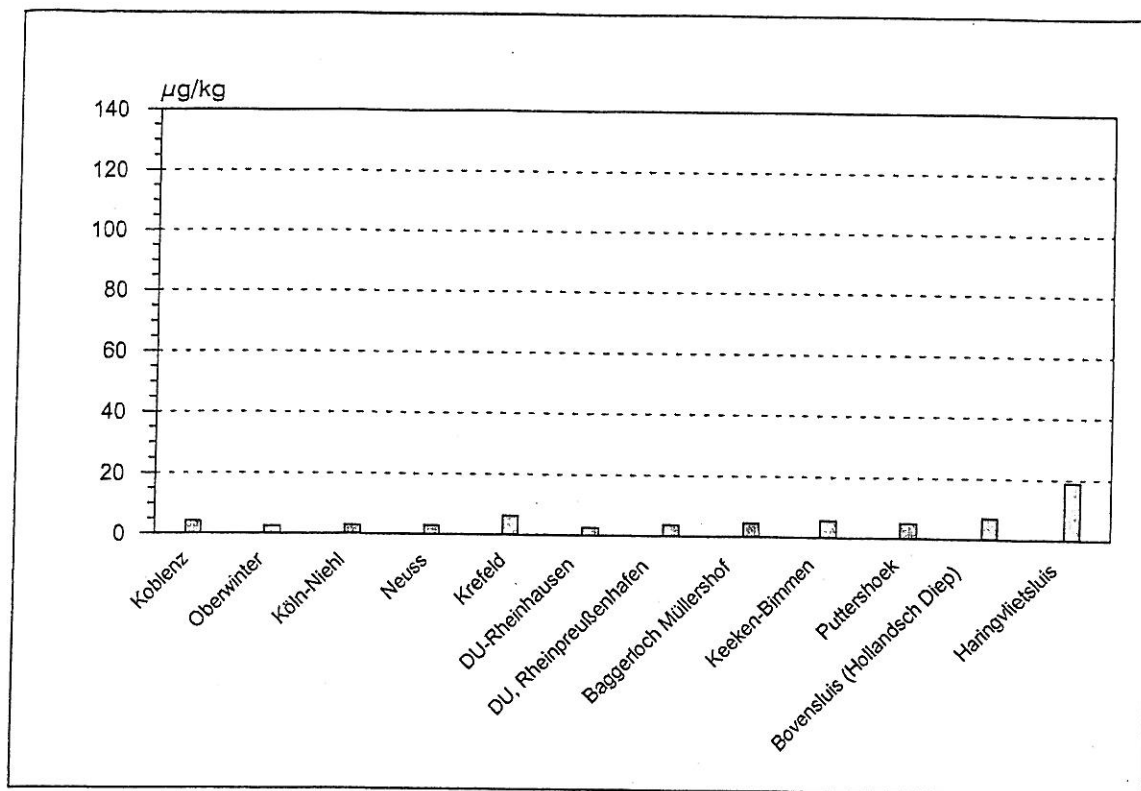
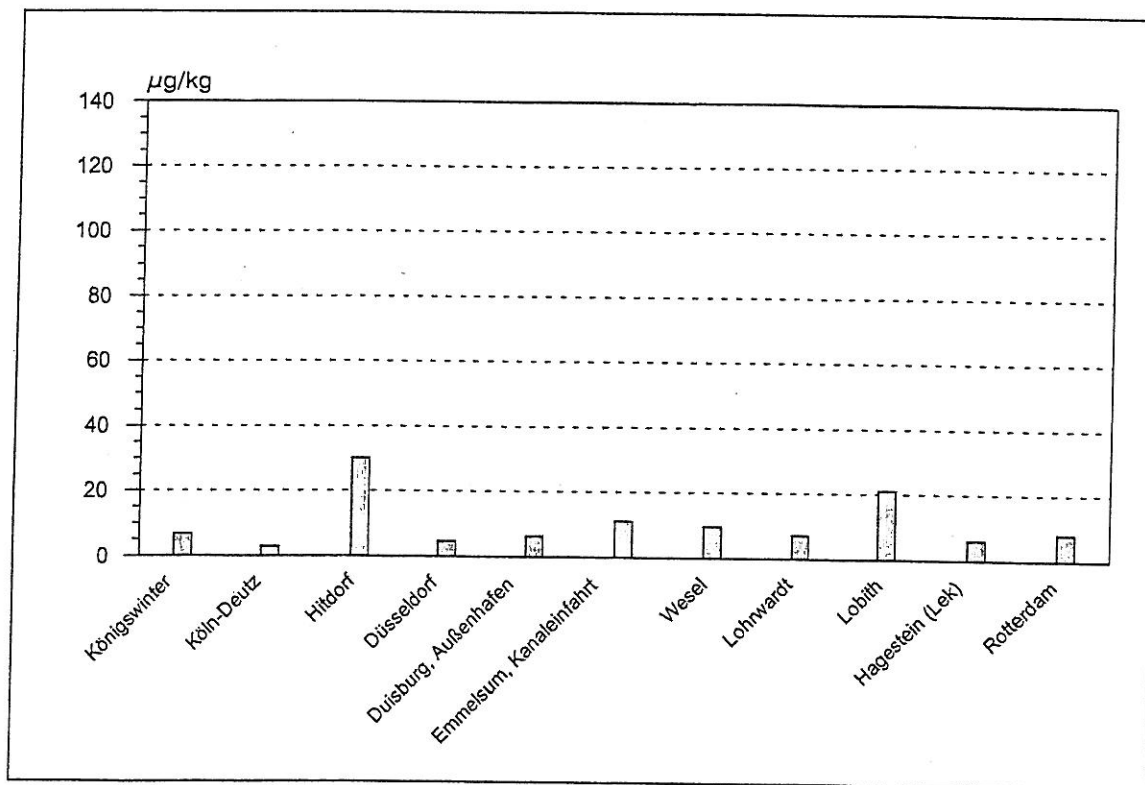


Abb. 3.6.10c: PCB 52 im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



Die beiden obersten Meßstellen Kadelburg und Laufenburg am Hochrhein weisen keine Belastung mit PCB 101 auf. Ab Augst-Wyhlen bis Kembs liegen die Gehalte bei 2 µg/kg und steigen im weiteren Verlauf auf 5 µg/kg in Koblenz. Am linken Niederrheinufer erfolgt eine weitere stetige Zunahme auf 8 µg/kg, mit Ausnahme der etwas höher belasteten Meßstelle Krefeld. Im südlichen Delta nehmen die PCB 101-Gehalte weiter zu, um schließlich 15 µg/kg an der Haringvlietsluis zu erreichen.

Während die Meßstellen Königswinter und Köln-Deutz am rechten Ufer noch auf dem Niveau von Koblenz liegen, steigt die Grundbelastung ab Düsseldorf auf 11 - 12 µg/kg an. Die Belastungsschwerpunkte bilden wiederum die Meßstellen Hitdorf und Lobith und - bei den höherchlorierten Kongeneren - der Duisburger Außenhafen (45 µg/kg). Im nördlichen Delta liegen die PCB 101 -Gehalte bei 8 µg/kg in Hagestein an der Lek und 13 µg/kg bei Rotterdam.

Abb. 3.6.11a: PCB 101 im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

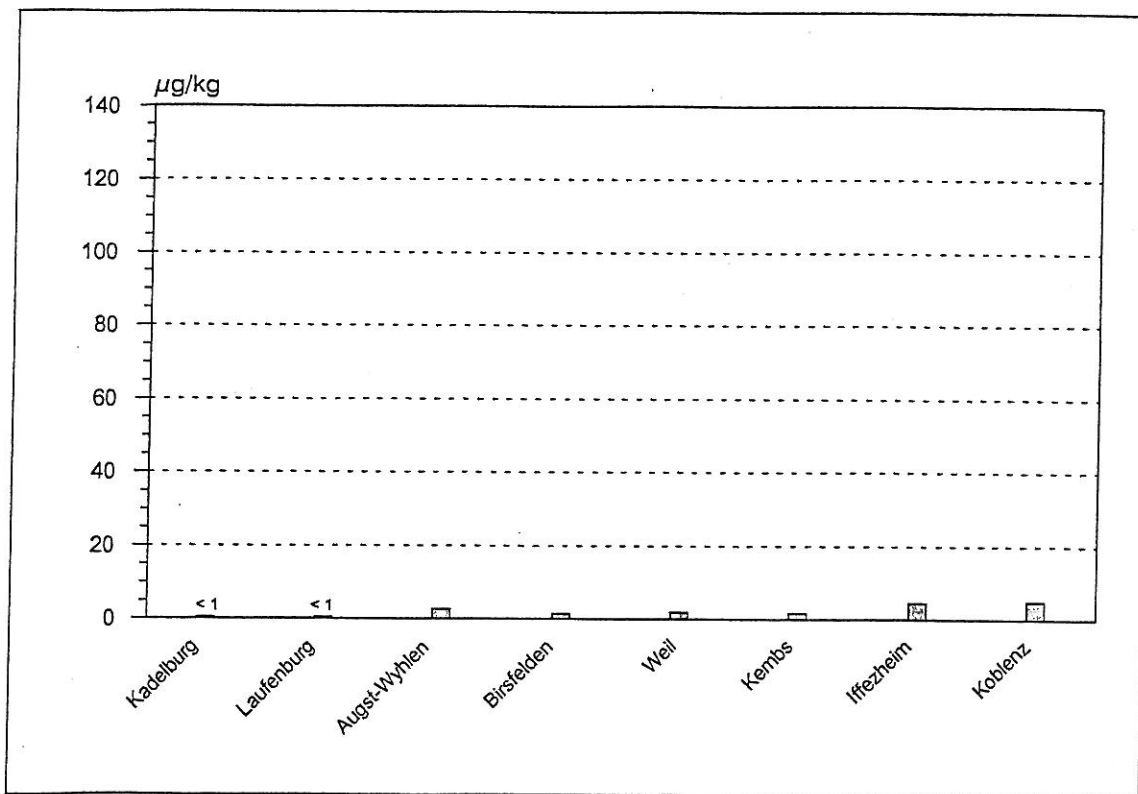


Abb. 3.6.11b: PCB 101 im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

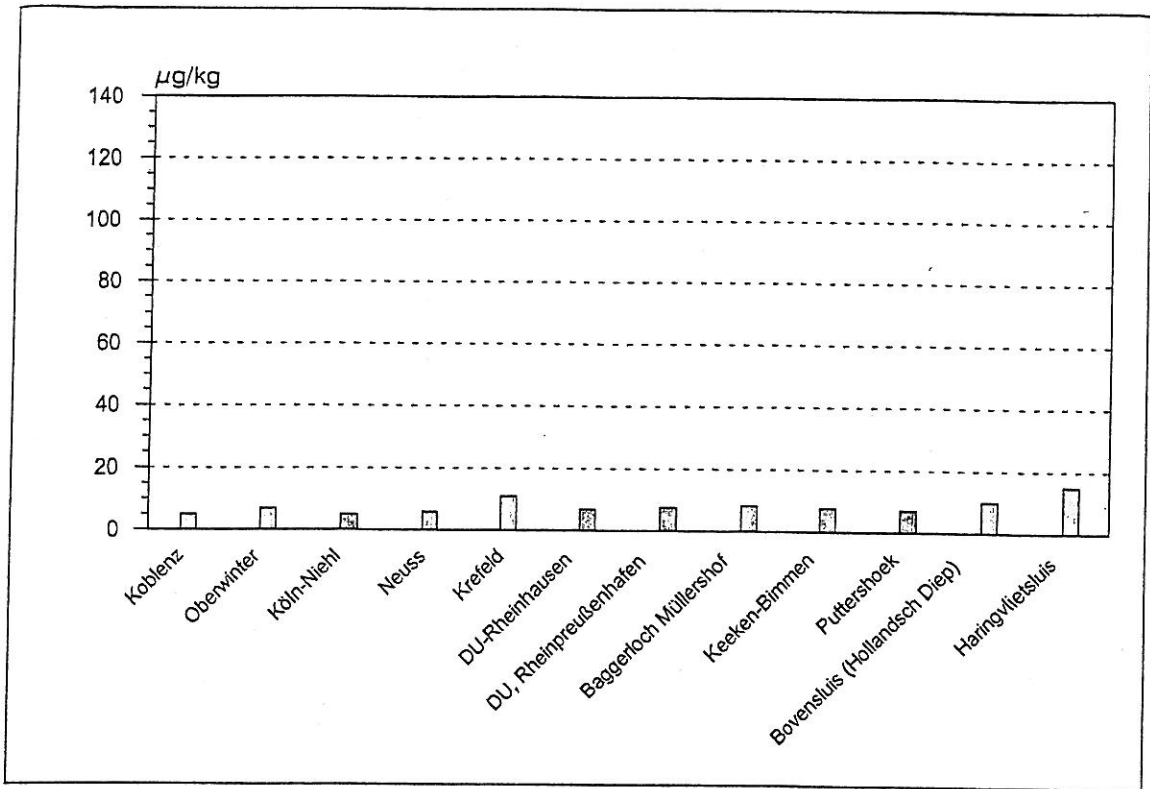
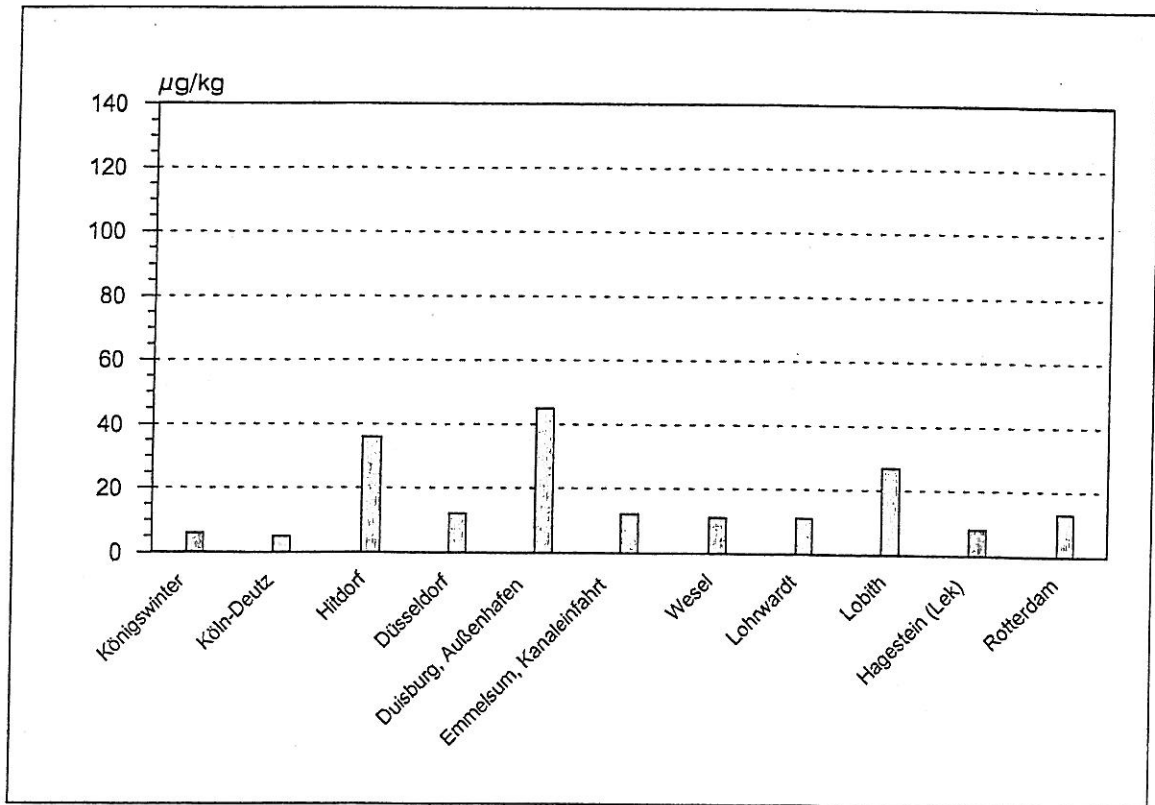


Abb. 3.6.11c: PCB 101 im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



Die Meßstellen am Hoch- und Oberrhein bis Kembs sind unbelastet bis gering belastet mit PCB 118.

Von Iffezheim bis Neuss am linken Niederrheinufer liegen die Gehalte bei 3 µg/kg und bewegen sich von Duisburg-Rheinhausen bis zum Hollandsch Diep um 5 µg/kg. Die Haringvlietsluis weist mit knapp 10 µg/kg die höchste Belastung im südlichen Delta auf.

Am rechten Niederrheinufer schwanken die PCB 118-Gehalte zwischen 2,1 µg/kg in Köln-Deutz und 21 µg/kg in Hitdorf, während das nördliche Delta mit dem südlichen Bereich vergleichbare Konzentrationen aufweist.

Abb. 3.6.12a: PCB 118 im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

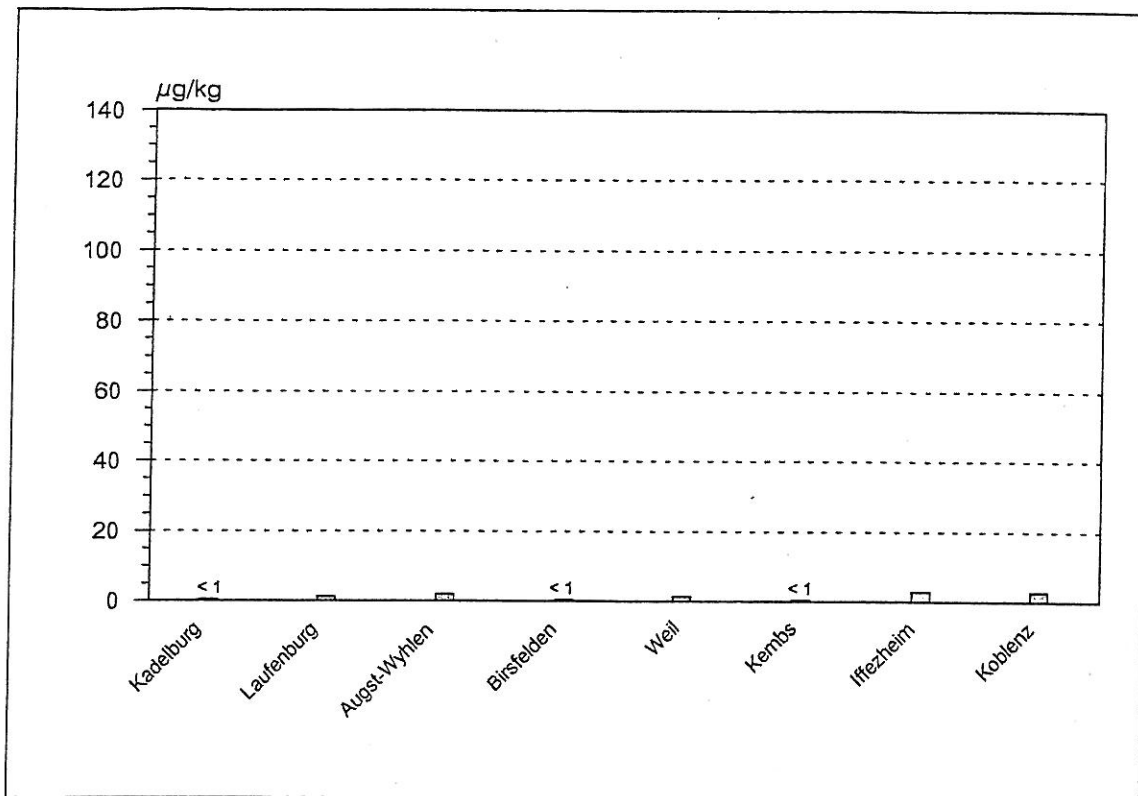


Abb. 3.6.12b: PCB 118 im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

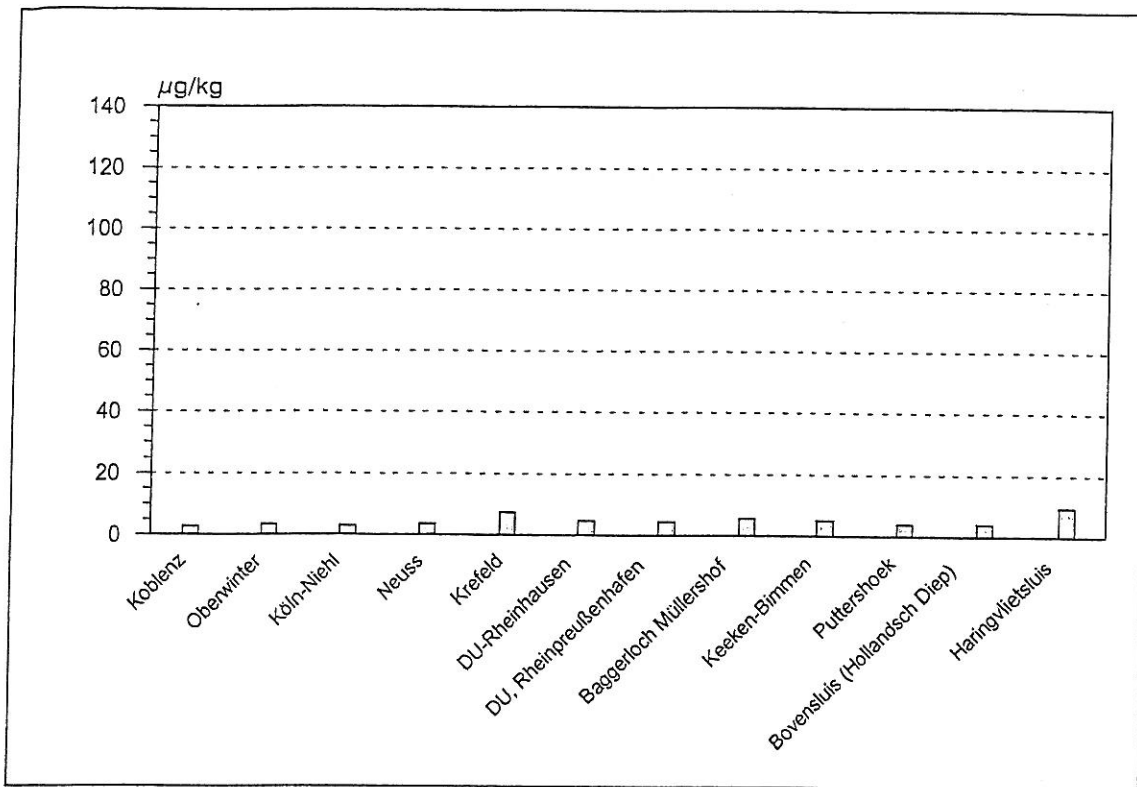
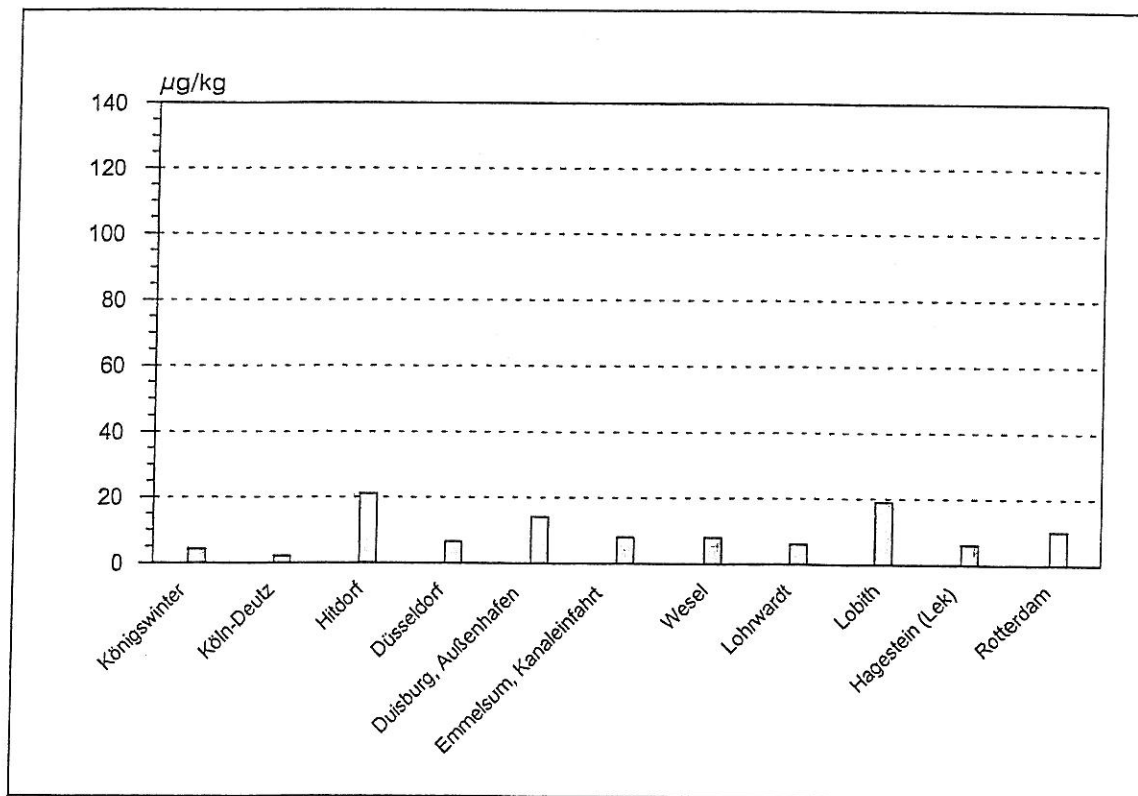


Abb. 3.6.12c: PCB 118 im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



Beginnend mit Werten unter 2  $\mu\text{g}/\text{kg}$  in Kadelburg und Laufenburg steigen die PCB 138-Gehalte im Raum Basel auf 2 - 4  $\mu\text{g}/\text{kg}$  und nehmen über Iffezheim bis Koblenz auf 8,1  $\mu\text{g}/\text{kg}$  zu. Am linken Niederrheinufer schwankt die Belastung um 15  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , geht jedoch ab Keeken-Bimmen bis zum Hollandsch Diep wieder auf 10  $\mu\text{g}/\text{kg}$  zurück. An der Haringvlietsluis ist mit 18  $\mu\text{g}/\text{kg}$  wiederum der höchste Gehalt in diesem Bereich festzustellen.

Am rechten Niederrheinufer befindet sich mit dem Duisburger Außenhafen bei einem Spitzenwert von 112  $\mu\text{g}/\text{kg}$  der Belastungsschwerpunkt. In Hitdorf liegt der PCB 138-Gehalt mit 39  $\mu\text{g}/\text{kg}$  ebenfalls deutlich höher als an den anderen Meßstellen, während Lobith hierbei nicht hervorsteicht. Die Gehalte im nördlichen Delta sind mit denen des südlichen Bereichs vergleichbar.

Abb. 3.6.13a: PCB 138 im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

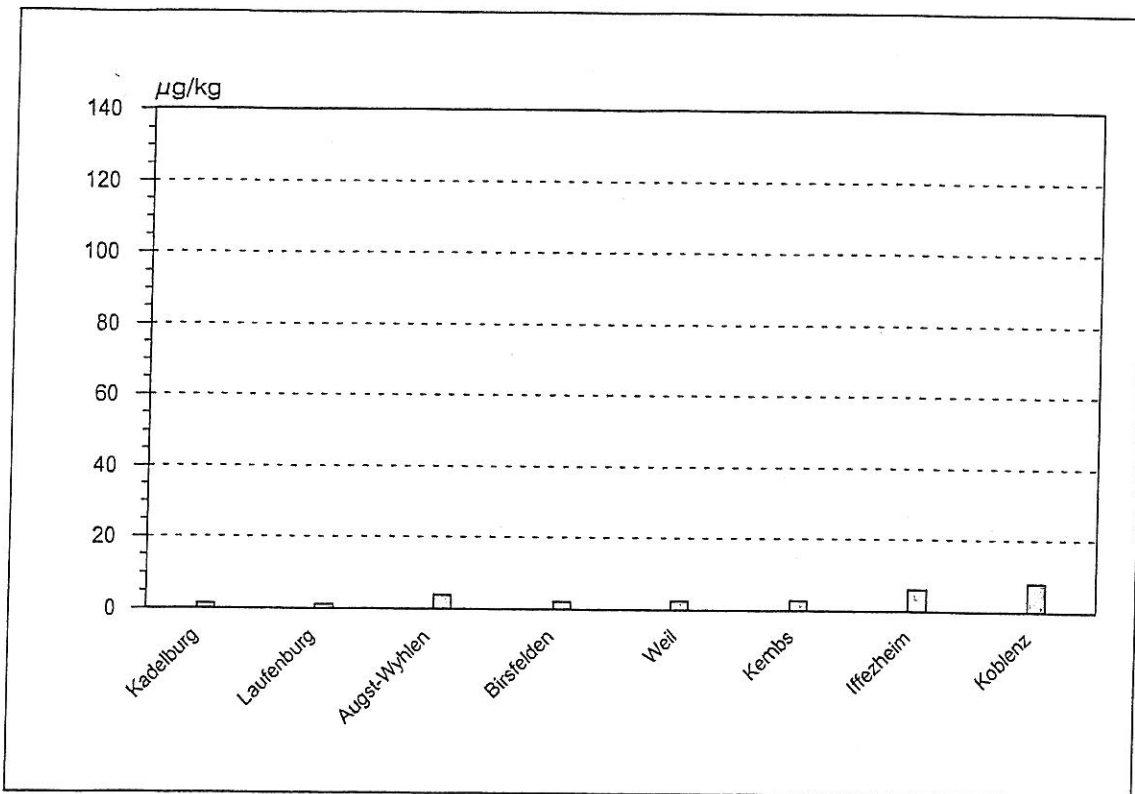




Abb. 3.6.13b: PCB 138 im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

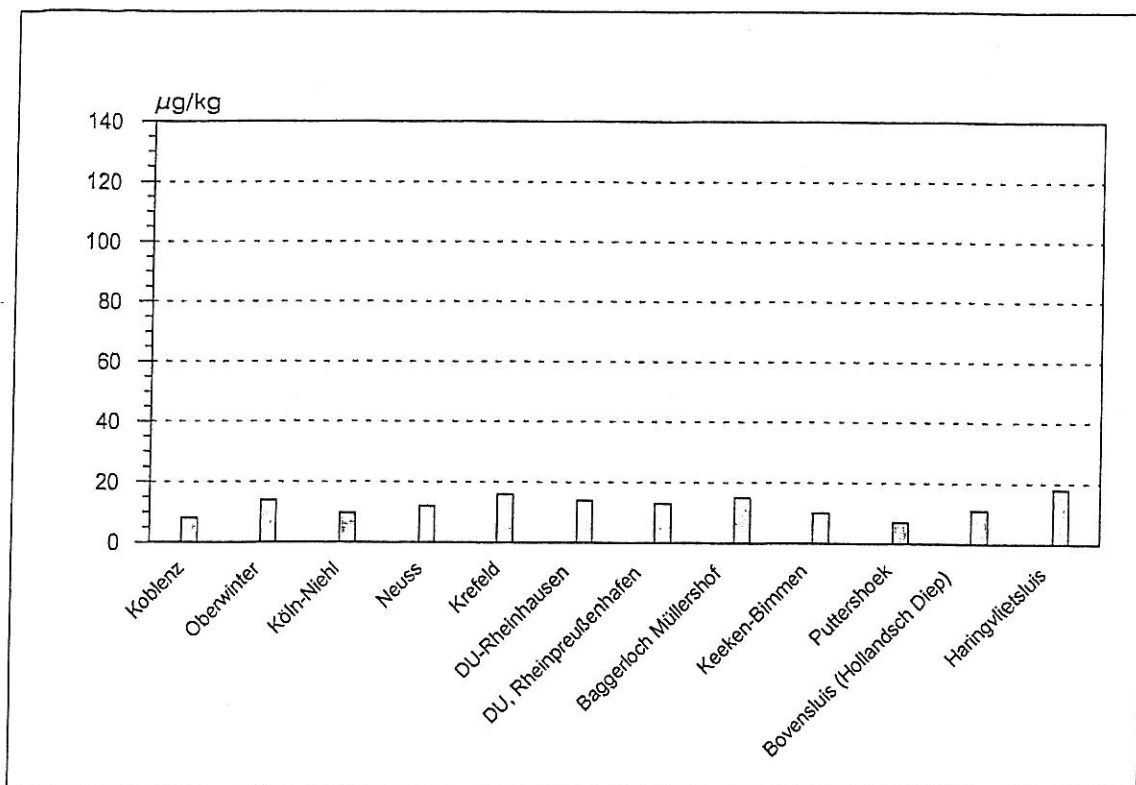
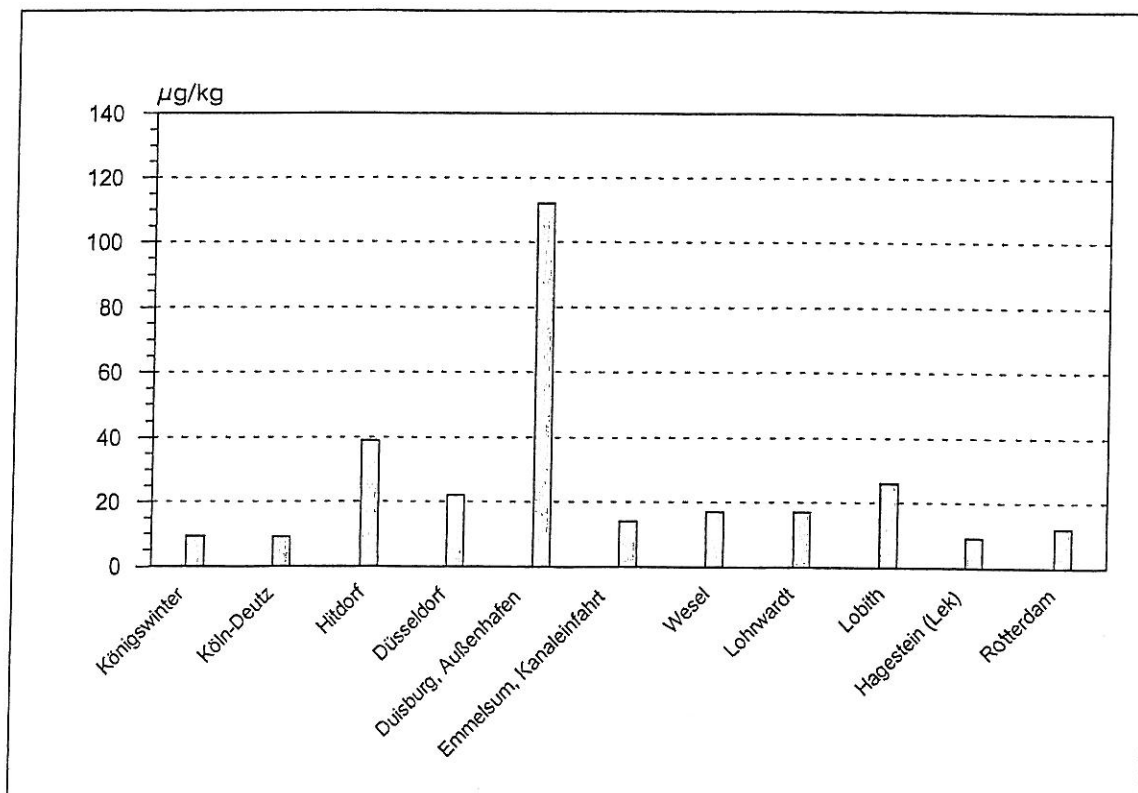


Abb. 3.6.13c: PCB 138 im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



Der Verlauf der PCB 153-Gehalte im Rheinlängsprofil ist nahezu identisch mit dem des PCB 138, wobei die Werte um etwa 10 bis 20% höher liegen. Am Hochrhein und Oberrhein bis Kembs bewegen sich die Gehalte um 3 µg/kg und steigen über Iffezheim auf 9 µg/kg in Koblenz an. In Oberwinter erfolgt am linken Ufer ein weiterer Anstieg auf 18 µg/kg, wobei dieses Niveau bei Schwankungen um 15 µg/kg bis ins Hollandsch Diep im südlichen Delta beibehalten wird. An der Haringvlietsluis nimmt die Belastung mit PCB 153 auf 25 µg/kg zu.

Am rechten Ufer erhöht sich die PCB 153-Konzentration zunächst auf 12 µg/kg in Königswinter und Köln-Deutz, bis wiederum die Belastungsschwerpunkte mit 48 µg/kg in Hitdorf, 128 µg/kg am Duisburger Außenhafen sowie 33 µg/kg in Lobith zu erkennen sind. Die durchschnittliche Belastung an den anderen Meßstellen des rechten Niederrheins liegt bei 20 µg/kg. Im nördlichen Delta nehmen die Gehalte auf 11 µg/kg in Hagestein an der Lek bzw. 17 µg/kg in Rotterdam ab.

Abb. 3.6.14a: PCB 153 im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

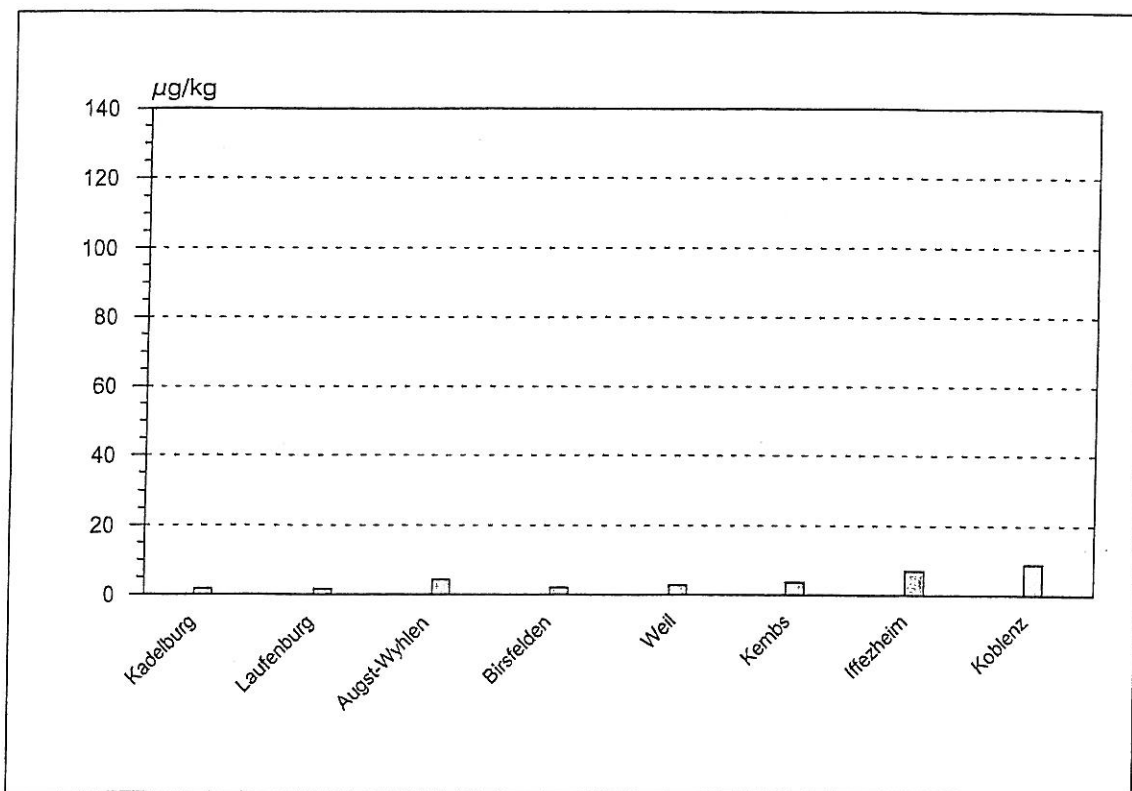


Abb. 3.6.14b: PCB 153 im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

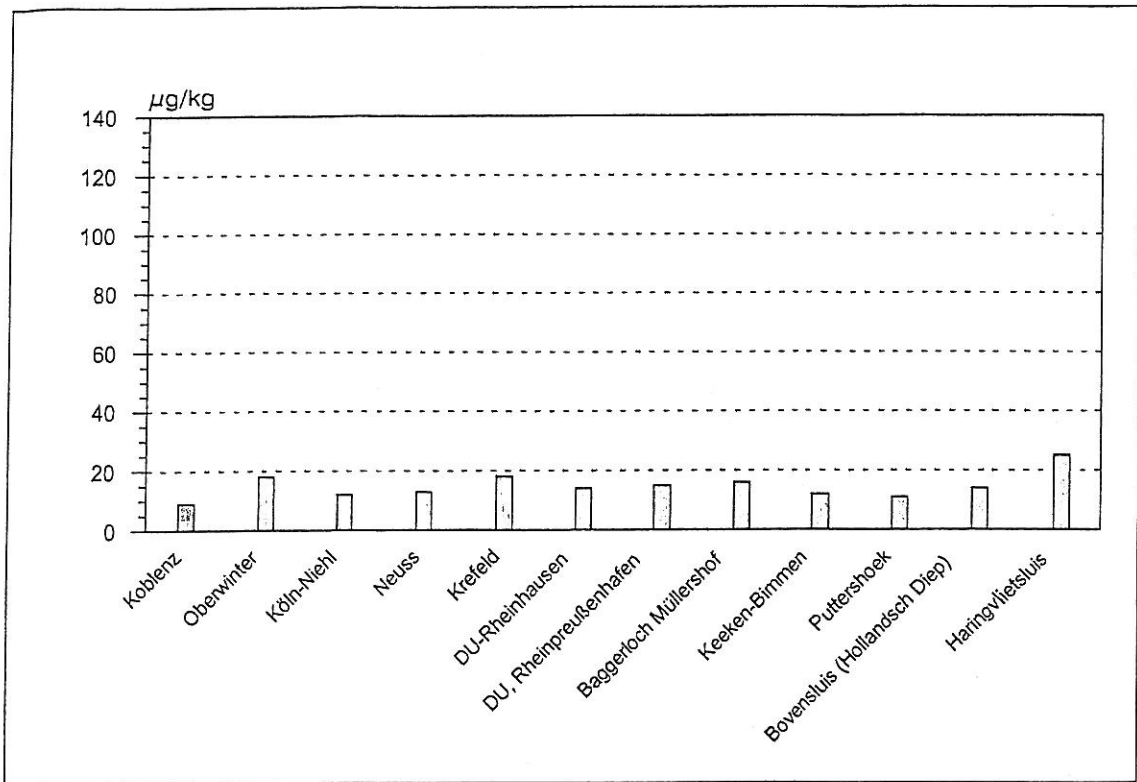
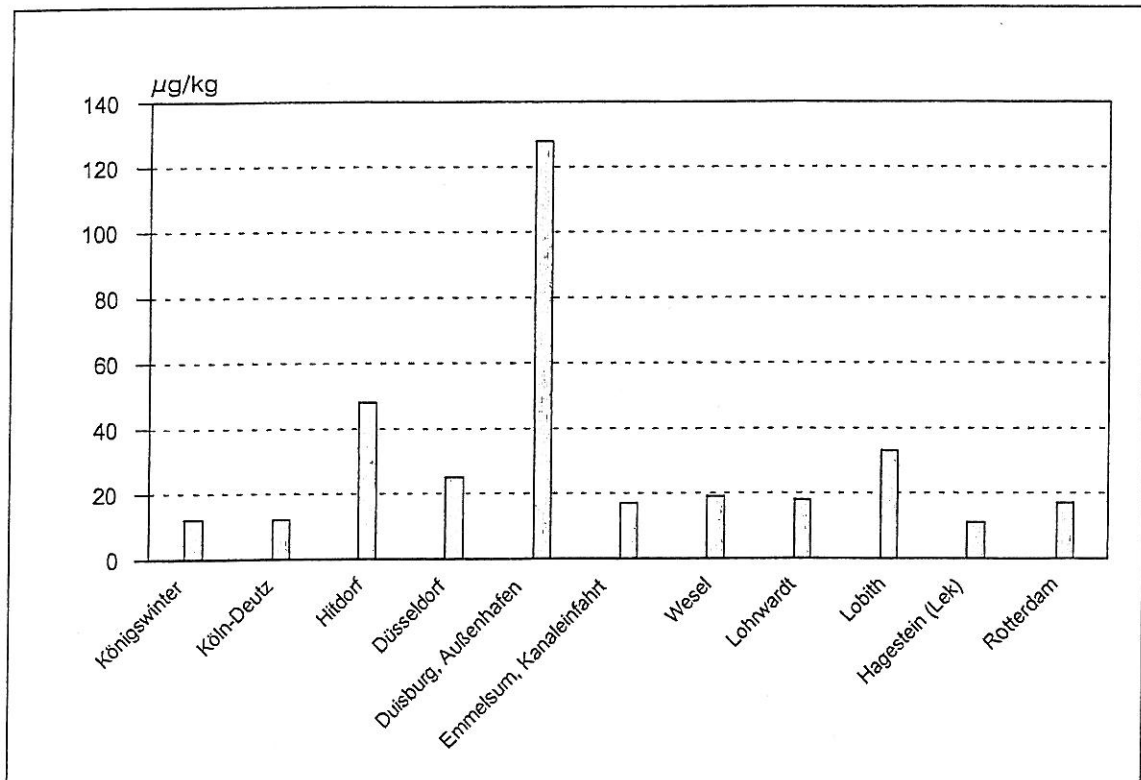


Abb. 3.6.14c: PCB 153 im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



Wie bei fast allen organischen Chlorverbindungen ist die Meßstelle Kadelburg auch bei PCB 180 unbelastet. Der Abschnitt von Laufenburg am Hochrhein bis Kembs am Oberrhein weist Werte um 2 µg/kg auf. Bis Koblenz steigt der PCB 180-Gehalt auf 4,9 µg/kg und nimmt bis zum Eintritt nach Nordrhein-Westfalen weiter auf 12 µg/kg in Oberwinter bzw. 9,9 µg/kg in Königswinter zu. Am linken Niederrheinufer liegen die Gehalte im gesamten Verlauf bis zur deutsch-niederländischen Grenze um 8 µg/kg. Im Gegensatz zu den anderen Kongeneren liegt bei PCB 180 nur ein Belastungsschwerpunkt am Duisburger Außenhafen mit 75 µg/kg vor, während die Meßstellen Hitdorf und Lobith nur geringfügig über der durchschnittlichen Belastung liegen.

Im Deltabereich zeigen die Meßstelle Puttershoek mit 4 µg/kg eine geringere Konzentration, die anderen Meßstellen im südlichen und nördlichen Delta mit dem linken Niederrhein vergleichbare Gehalte.

Abb. 3.6.15a: PCB 180 im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

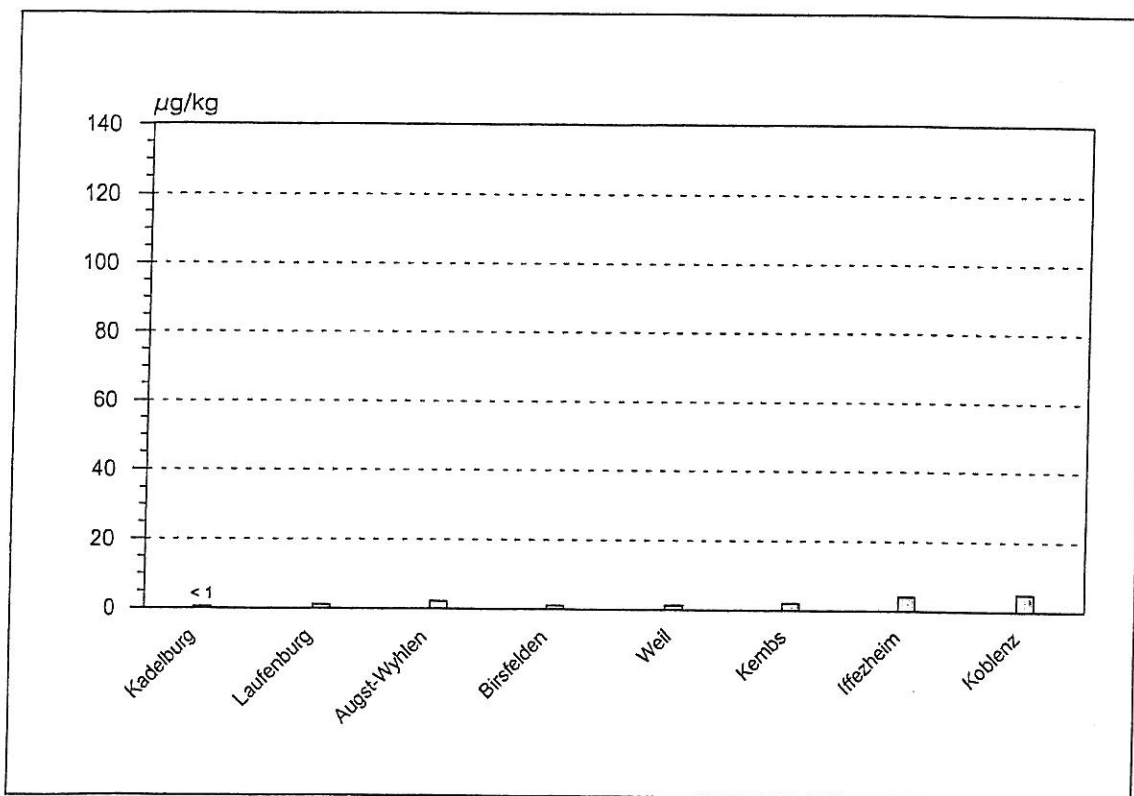


Abb. 3.6.15b: PCB 180 im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

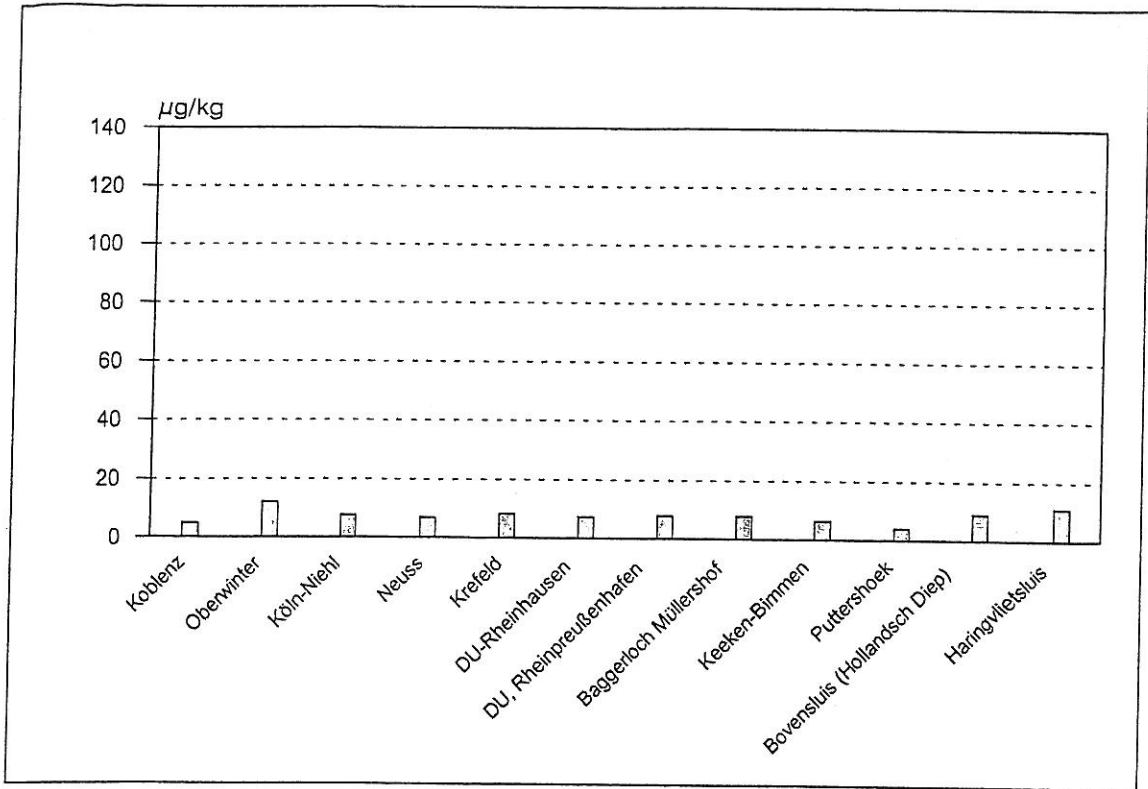
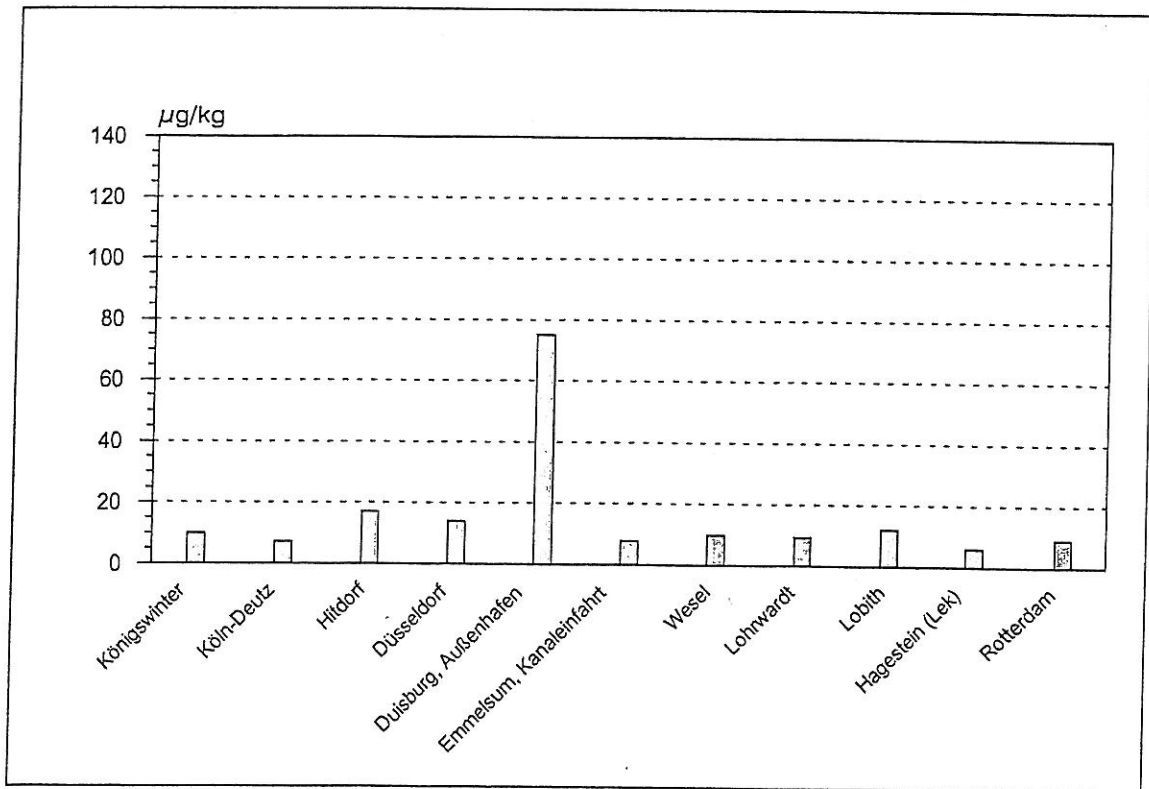


Abb. 3.6.15c: PCB 180 im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



### 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 Hochrhein-Meßstellen Kadelburg, Laufenburg und Birsfelden haben sich wegen teilweise nicht ausreichenden Probenmaterials ITEQ unterhalb der Bestimmungsgrenze ergeben. Aufgrund der vergleichsweise sehr geringen Gehalte der vollchlorierten Kongenere kann jedoch davon ausgegangen werden, daß die Konzentrationen der toxischeren Vertreter dieser Substanzklasse sehr gering sind bzw. unterhalb der theoretisch erreichbaren Bestimmungsgrenze liegen.

Mit Ausnahme von Augst-Wyhlen (11 ng/kg ITEQ) liegen die Dioxingehalte am Hochrhein unterhalb 10 ng/kg (s.o.). Am Oberrhein ab Weil nimmt die Belastung auf 25 - 30 ng/kg zu, wobei abgesehen von der deutlich geringer belasteten Meßstelle Oberwinter am Mittelrhein keine Änderung eintritt. In Keeken-Bimmen steigt der Dioxingehalt nochmals deutlich auf 63 ng/kg ITEQ an und liegt auch im südlichen Delta an den Meßstellen Bovensluis im Hollandsch Diep und Haringvlietsluis nur unwesentlich unter diesem Wert.

Am rechten Ufer setzt sich die bereits am Oberrhein vorhandene Dioxinbelastung nur bis Königswinter fort. Über Hitdorf mit 38 ng/kg ITEQ erhöht sich der Dioxingehalt bis zur Einfahrt in den Wesel-Datteln-Kanal bei Emmelsum auf 55 ng/kg ITEQ und erreicht schließlich in Lobith einen Spitzenwert von 73 ng/kg. Dieses Niveau bleibt bis Rotterdam im nördlichen Delta erhalten.

Für Dioxine sind als einzige prioritären Stoffe bisher keine Zielvorgaben abgeleitet worden. Zur Orientierung kann aber der in der Schweiz und in Deutschland für Sand auf Kinderspielplätzen geltende Grenzwert von 100 ng/kg ITEQ herangezogen werden. Sowohl an den internationalen als auch an den untersuchten nationalen Sedimentmeßstellen liegt die Dioxinbelastung durchweg unter diesem Wert.

Aktuelle Untersuchungen des LUA-NRW aus dem Jahr 1997 haben ergeben, daß die Dioxinbelastung im nordrhein-westfälischen Rheinabschnitt inzwischen um 50 % zurückgegangen ist.

Abb. 3.6.16a: „Dioxine“ im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

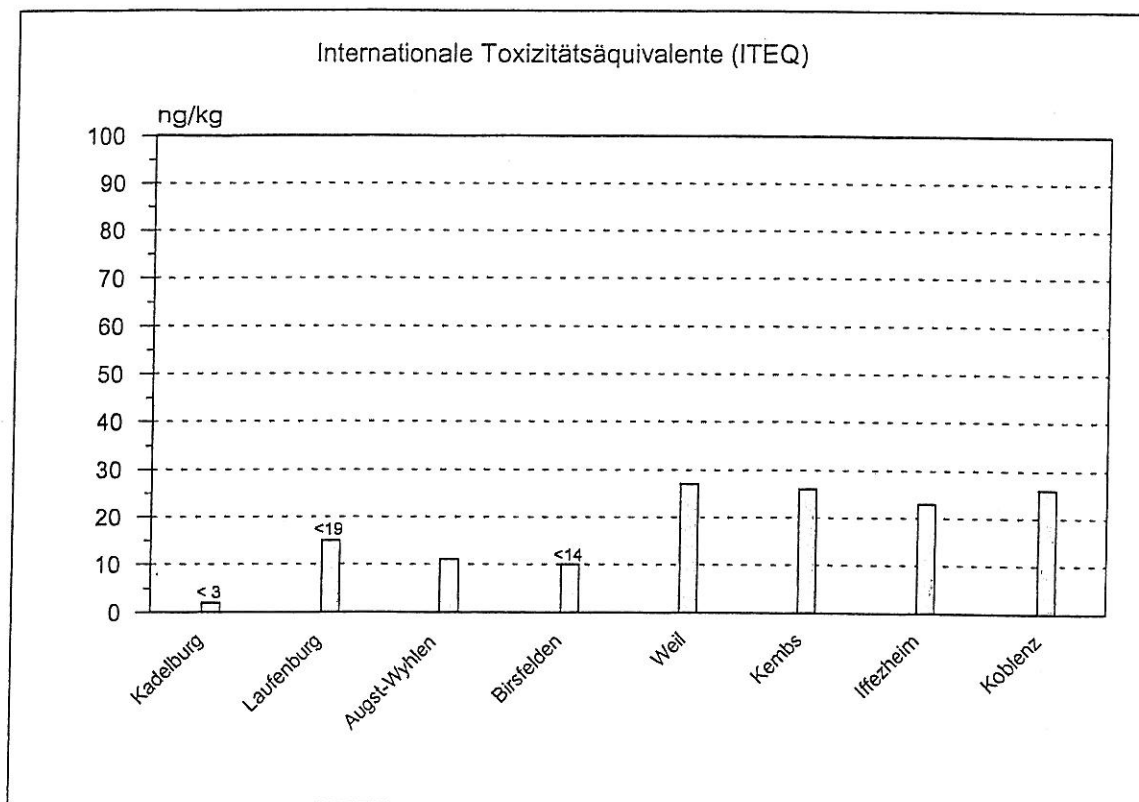


Abb. 3.6.16b: „Dioxine“ im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

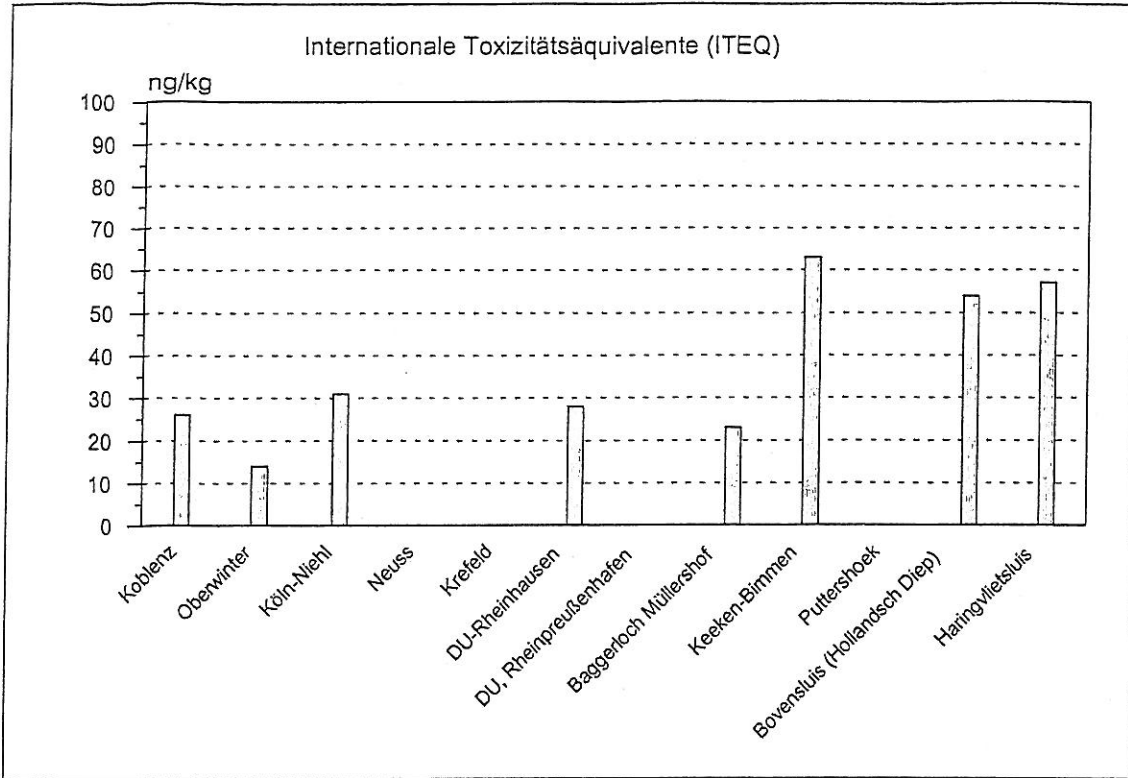
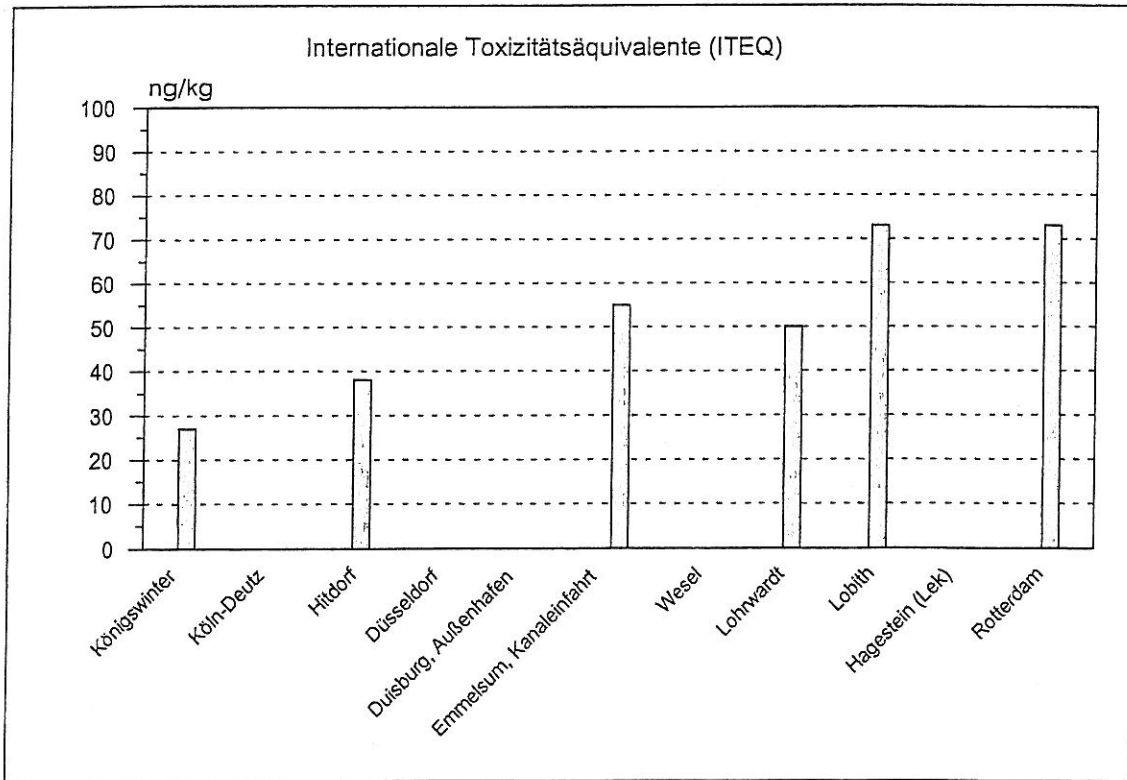


Abb. 3.6.16c: „Dioxine“ im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer





Die Gehalte des toxischsten Vertreters dieser Stoffgruppe, des 2,3,7,8-TCDD liegen am Hochrhein durchweg unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze. Diese ist mit 5 ng/kg an den Meßstellen Laufenburg und Birsfelden zwar vergleichsweise hoch, aus den genannten Gründen kann jedoch an allen Hochrheinmeßstellen von einer ähnlich geringen Belastung ausgegangen werden wie in Kadelburg. Am Oberrhein nimmt der 2,3,7,8-TCDD-Gehalt geringfügig auf etwa 2 ng/kg zu und verbleibt bis Köln auf diesem Niveau. Ab dem Raum Duisburg am linken Niederrheinufer steigen die Gehalte allmählich weiter auf 4,6 ng/kg in Keeken-Bimmen. Im südlichen Delta verdreifacht sich die Belastung auf 11 ng/kg im Hollandsch Diep bzw. 13 ng/kg an der Haringvlietsluis.

Am rechtem Niederrheinufer steigt der 2,3,7,8-TCDD-Gehalt über 3,7 ng/kg in Hitdorf auf knapp 10 ng/kg in Emmelsum. Nach einem vorübergehenden Rückgang auf das Niveau von Hitdorf folgt schließlich ein steiler Anstieg auf 24 ng/kg in Lobith; dies bedeutet an dieser Meßstelle ein Drittel der gesamten Dioxinbelastung bezogen auf die Chloratome in 2,3,7,8-Stellung. Im nördlichen Delta bei Rotterdam nimmt der 2,3,7,8-TCDD nochmals leicht auf 28 ng/kg zu und erreicht damit seinen Höchstwert im gesamten Rheingebiet.

Abb. 3.6.17a: 2,3,7,8-TCDD im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

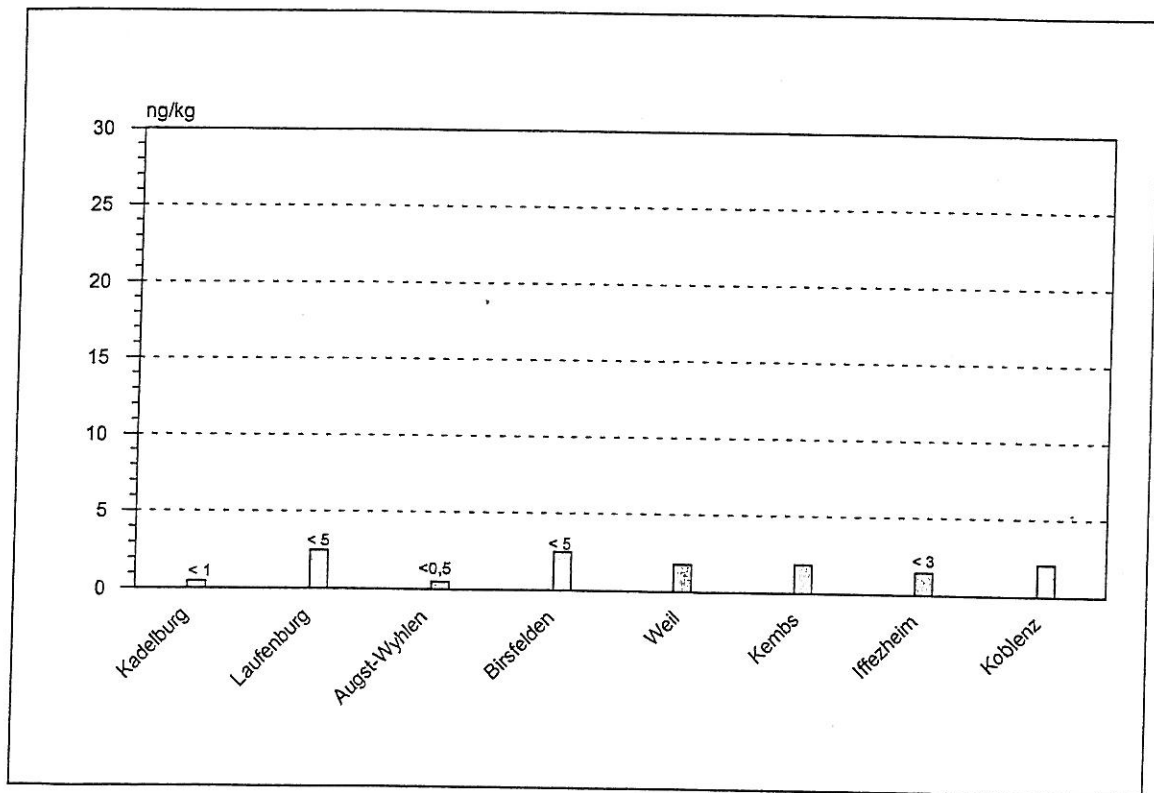


Abb. 3.6.17b: 2,3,7,8-TCDD im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

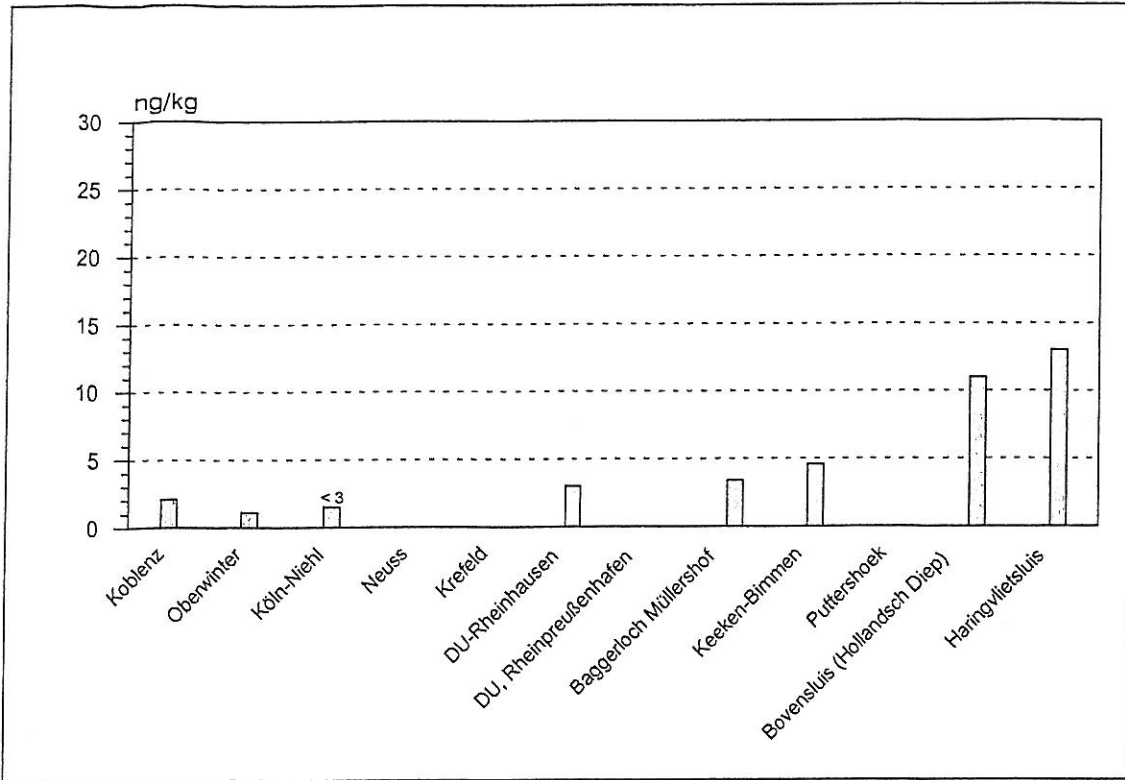
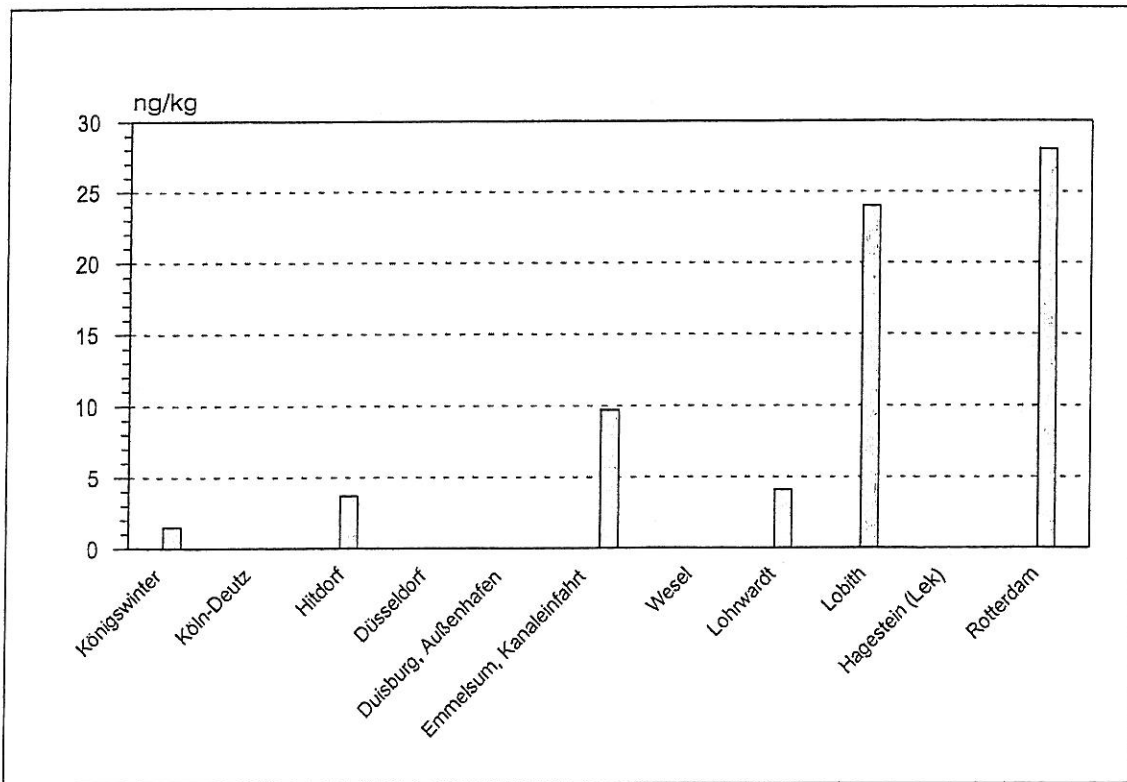


Abb. 3.6.17c: 2,3,7,8-TCDD im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



### 3.6.4 Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Während die Meßstelle Kadelburg am Hochrhein bei den chlorganischen Verbindungen nahezu unbelastet ist, liegt bei den PAK bereits eine Grundbelastung - wenn auch auf niedrigem Niveau - vor. Ausgehend von 0,26 mg/kg in Kadelburg steigen die Fluoranthene-Gehalte auf Werte zwischen 0,3 und 0,5 mg/kg im weiteren Verlauf des Hoch- und Oberrheins und erreichen 0,51 mg/kg in Iffezheim. Über Koblenz am Mittelrhein nehmen die Gehalte schließlich auf deutlich über 1 mg/kg an den meisten Meßstellen des linken Niederrheinufer zu, wobei der Duisburger Rheinpreußenhafen mit 1,8 mg/kg und Keeken-Bimmen mit 1,6 mg/kg die Belastungsspitzen darstellen. Im südlichen Delta an der Haringvlietsluis sinkt der Fluoranthene-Gehalt mit 0,79 mg/kg wieder deutlich.

Am rechten Niederrheinufer nehmen die Fluoranthene-Gehalte noch deutlicher zu, wobei die Meßstellen Wesel mit 2,5 mg/kg und Lobith mit 2,9 mg/kg die höchsten Belastungen aufweisen. Wie im südlichen Delta ist der Fluoranthene-Gehalt auch in Hagestein an der Lek im nördlichen Delta mit 0,5 mg/kg erheblich niedriger. Von der Meßstelle Rotterdam ausgangs des Deltas liegen keine Daten vor.

Abb. 3.6.18: Fluoranthene im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

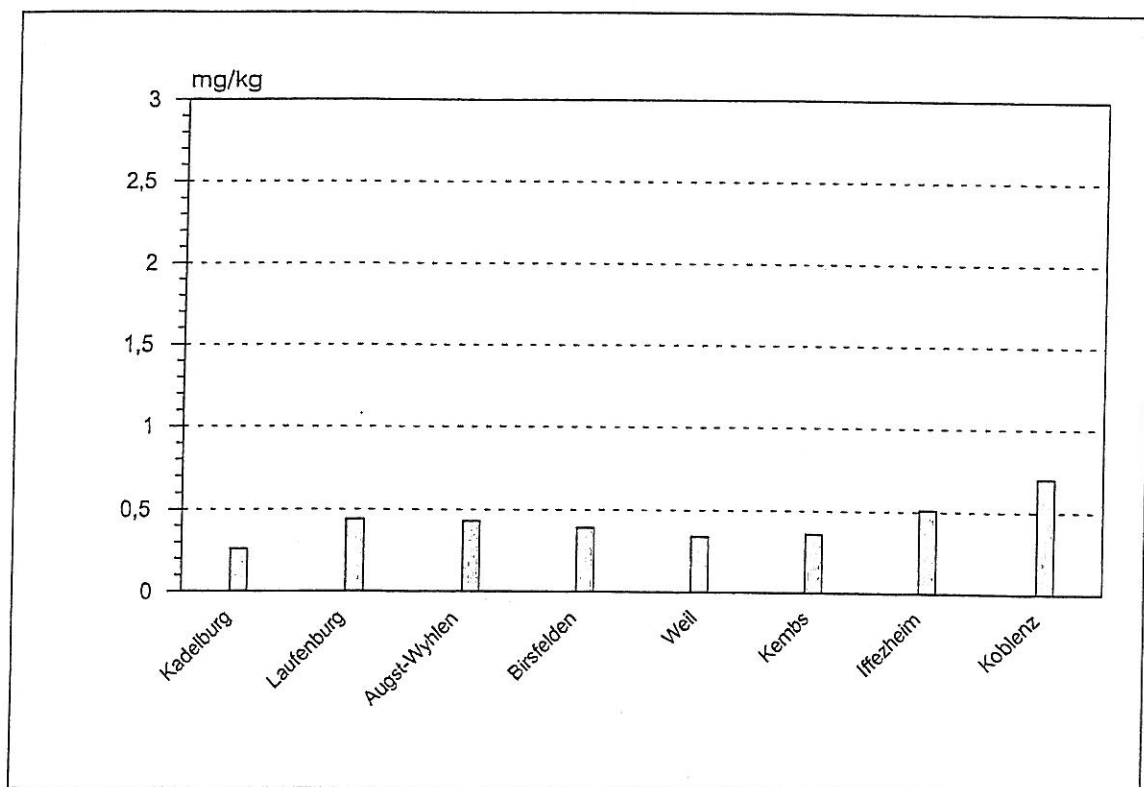


Abb. 3.6.18b: Fluoranthen im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

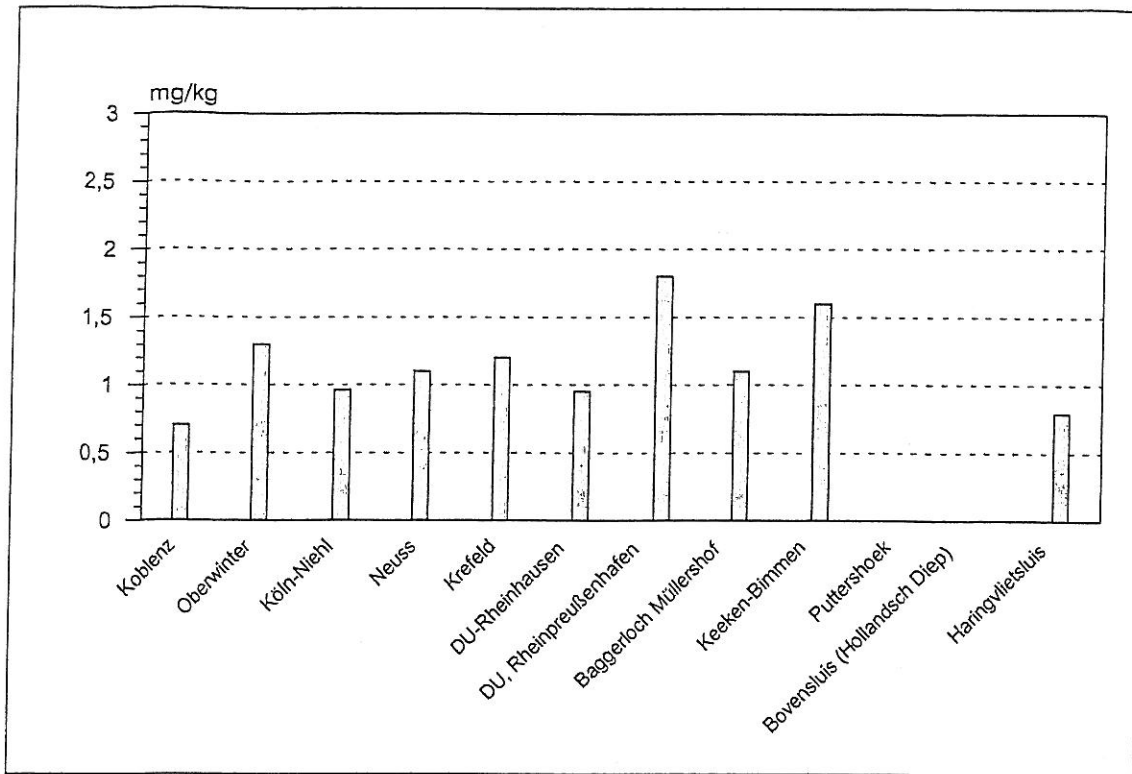
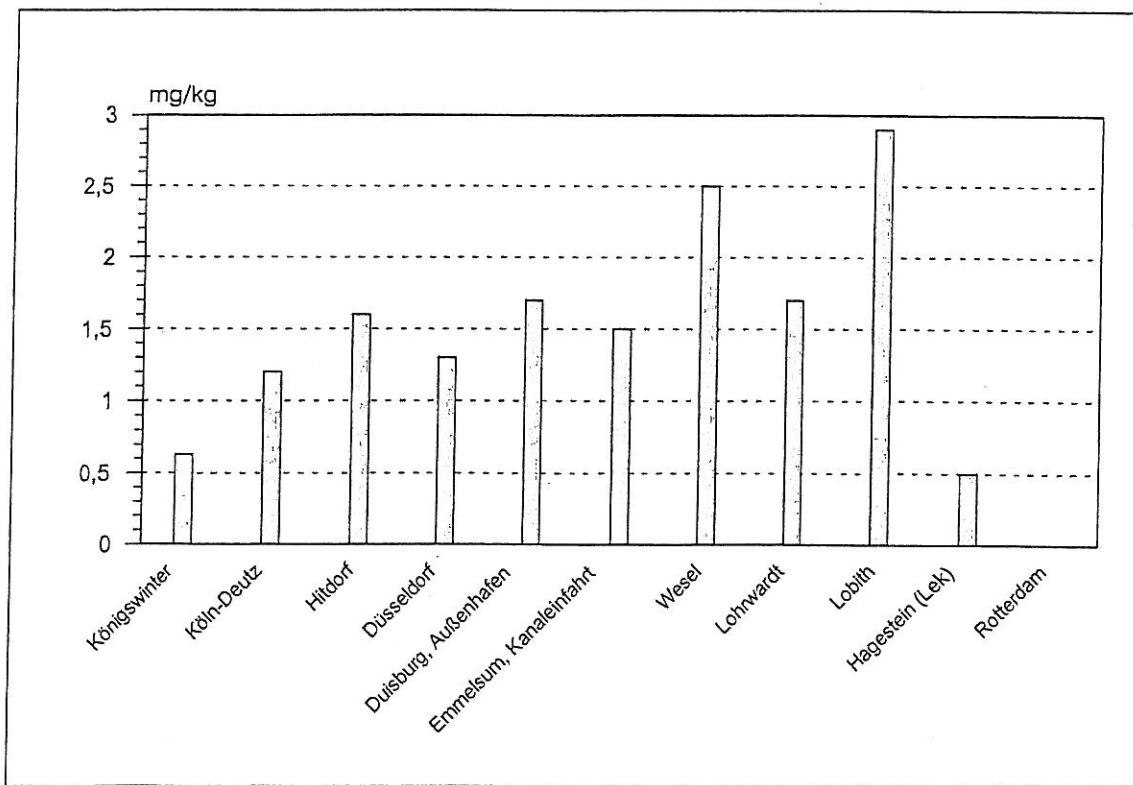


Abb. 3.6.18c: Fluoranthen im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



Der Benzo(b)fluoranthen-Gehalt liegt in Kadelburg am Hochrhein bei 0,15 mg/kg, verdoppelt sich bis Laufenburg und geht anschließend auf Werte um 0,2 mg/kg im Raum Basel zurück. Im weiteren Verlauf steigen die Gehalte kontinuierlich auf über 0,5 mg/kg am linken Niederrheinufer und erreichen schließlich in Keeken-Bimmen 0,91 mg/kg. Wie beim Fluoranthen erfolgt im südlichen Delta ein Rückgang auf 0,70 mg/kg an der Haringvlietsluis.

Wesentlich stärker ist der Anstieg am rechten Niederrhein über 1,1 mg/kg am Duisburger Außenhafen und schließlich 1,6 mg/kg in Lobith. Im nördlichen Delta bei Hagestein liegt der Benzo(b)fluoranthen-Gehalt hingegen wieder auf dem relativ niedrigen Niveau des Oberrheins.

Abb. 3.6.19a: Benzo(b)fluoranthen im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

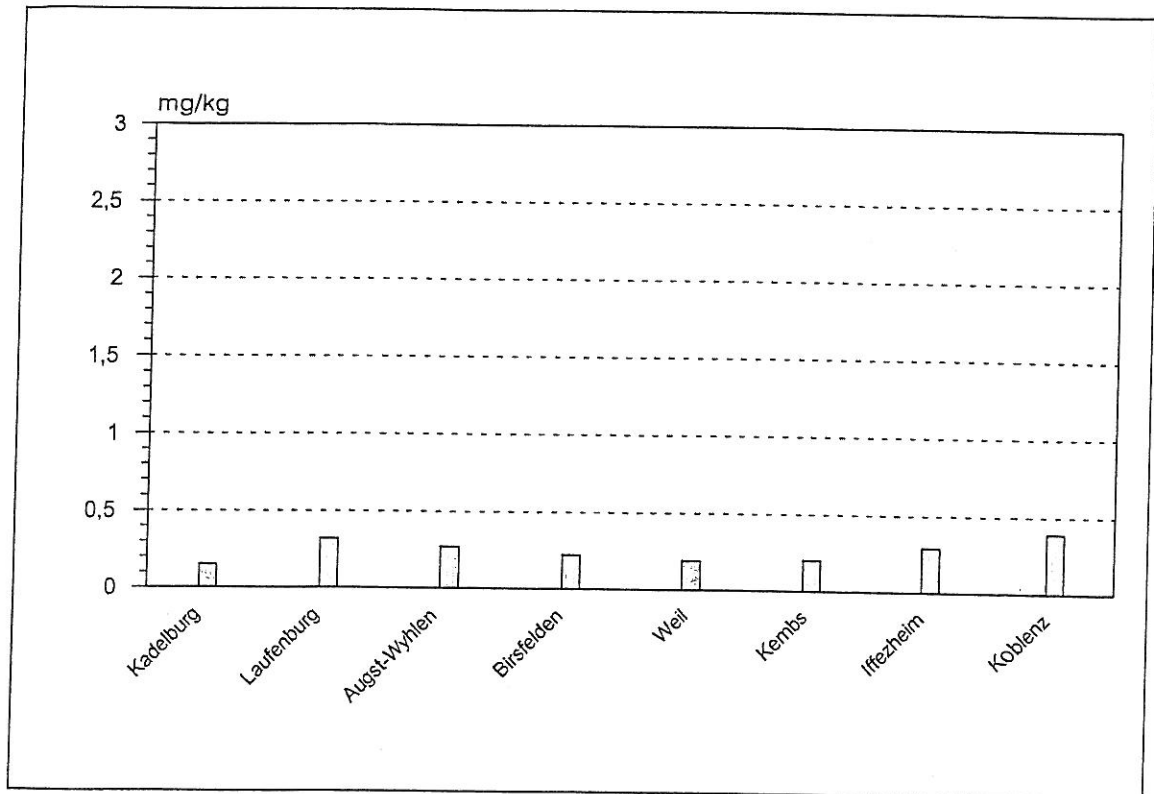


Abb. 3.6.19b: Benzo(b)fluoranthen im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

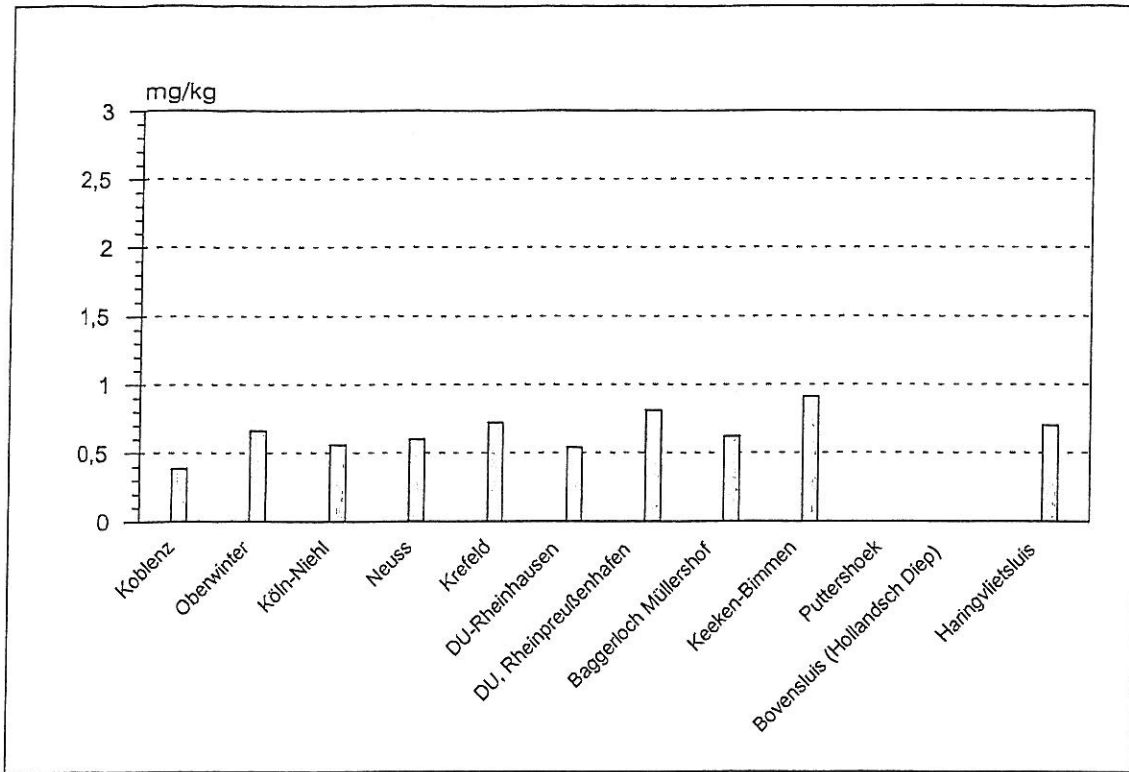
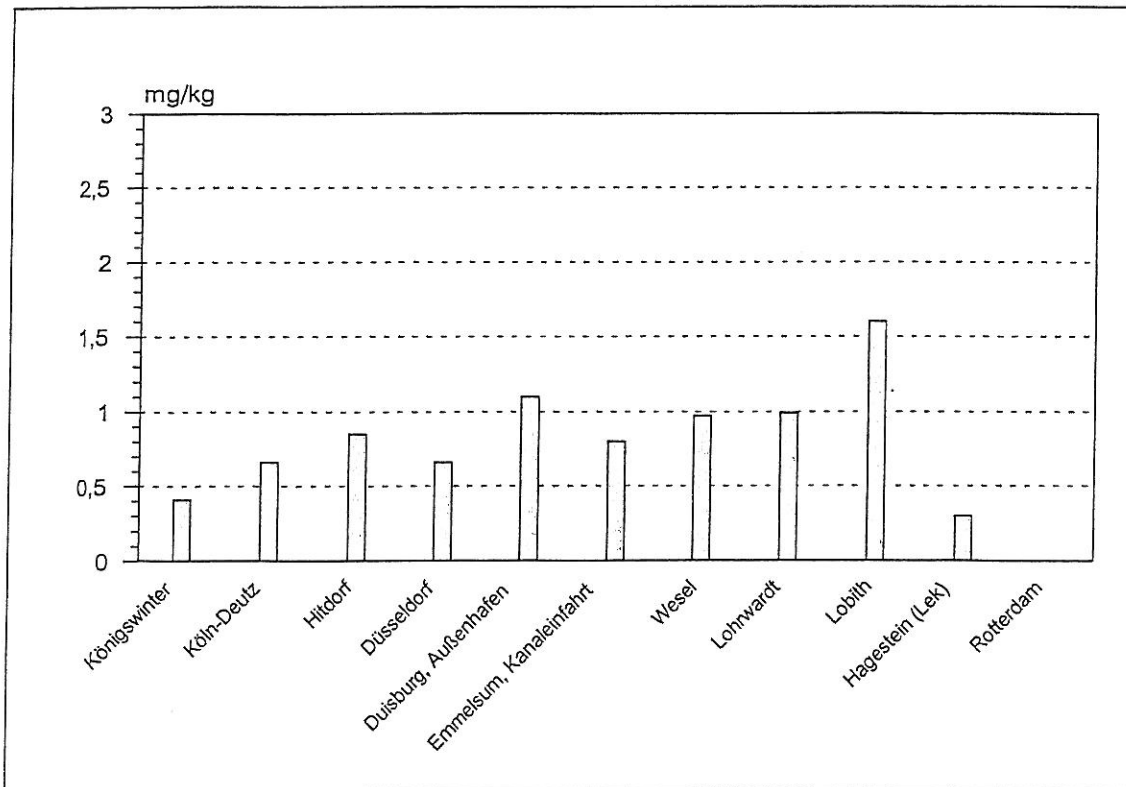


Abb.3.6.19c: Benzo(b)fluoranthen im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



In Kadelburg liegt der Benzo(k)fluoranthen-Gehalt mit 0,07 mg/kg nur geringfügig über der analytischen Bestimmungsgrenze von 0,05 mg/kg. Der Abschnitt von Laufenburg am Hochrhein bis Iffezheim am Oberrhein weist bei sehr geringen Schwankungen Gehalte um 0,15 mg/kg auf. Über Koblenz mit 0,20 mg/kg steigen die Konzentrationen auf 0,25 bis 0,40 mg/kg am linken Niederrheinufer, um schließlich 0,45 mg/kg in Keeken-Bimmen zu erreichen. An der Haringvlietsluis geht der Benzo(k)fluoranthen-Gehalt wieder auf 0,29 mg/kg zurück.

Am rechten Ufer nehmen die Gehalte ab Köln bis zum Duisburger Außenhafen auf 0,52 mg/kg zu, verbleiben bis Lohrwardt auf diesem Niveau und gelangen in Lobith mit 0,75 mg/kg zur Belastungsspitze. Das nördliche Delta ist dagegen mit 0,1 mg/kg bei Hagestein nahezu unbelastet.

Abb. 3.6.20a: Benzo(k)fluoranthen im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

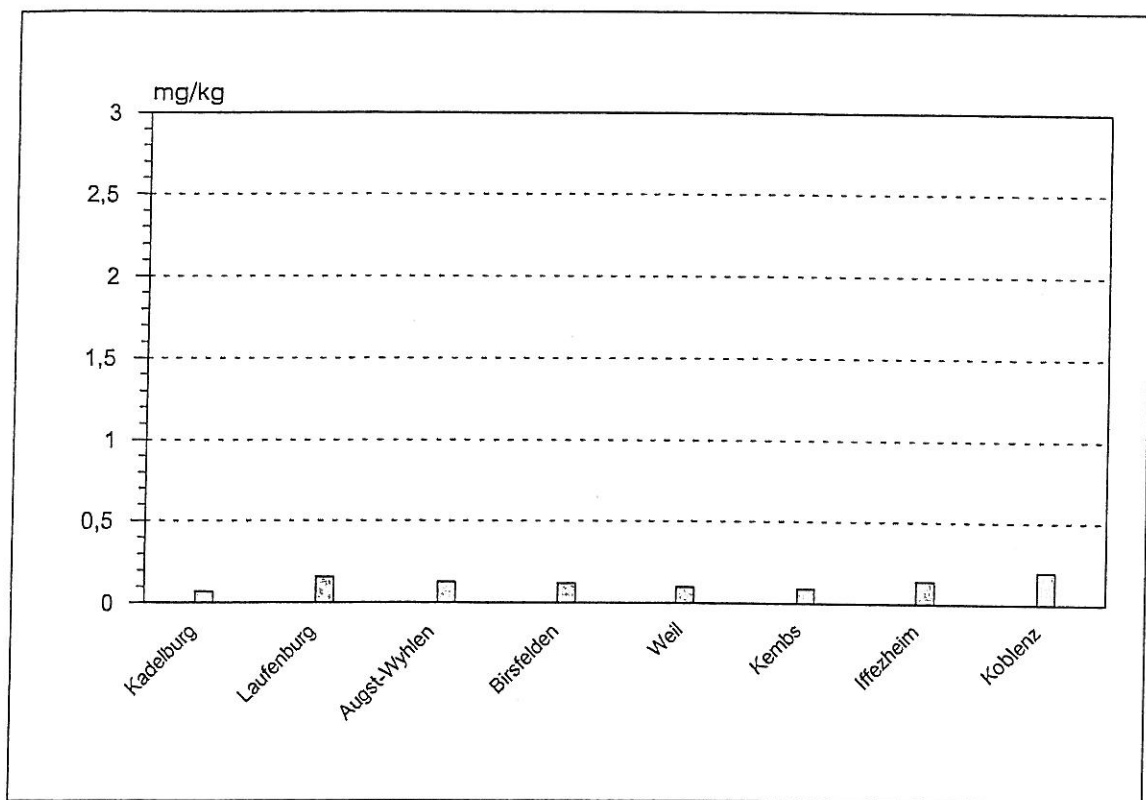


Abb. 3.6.20b: Benzo(k)fluoranthen im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

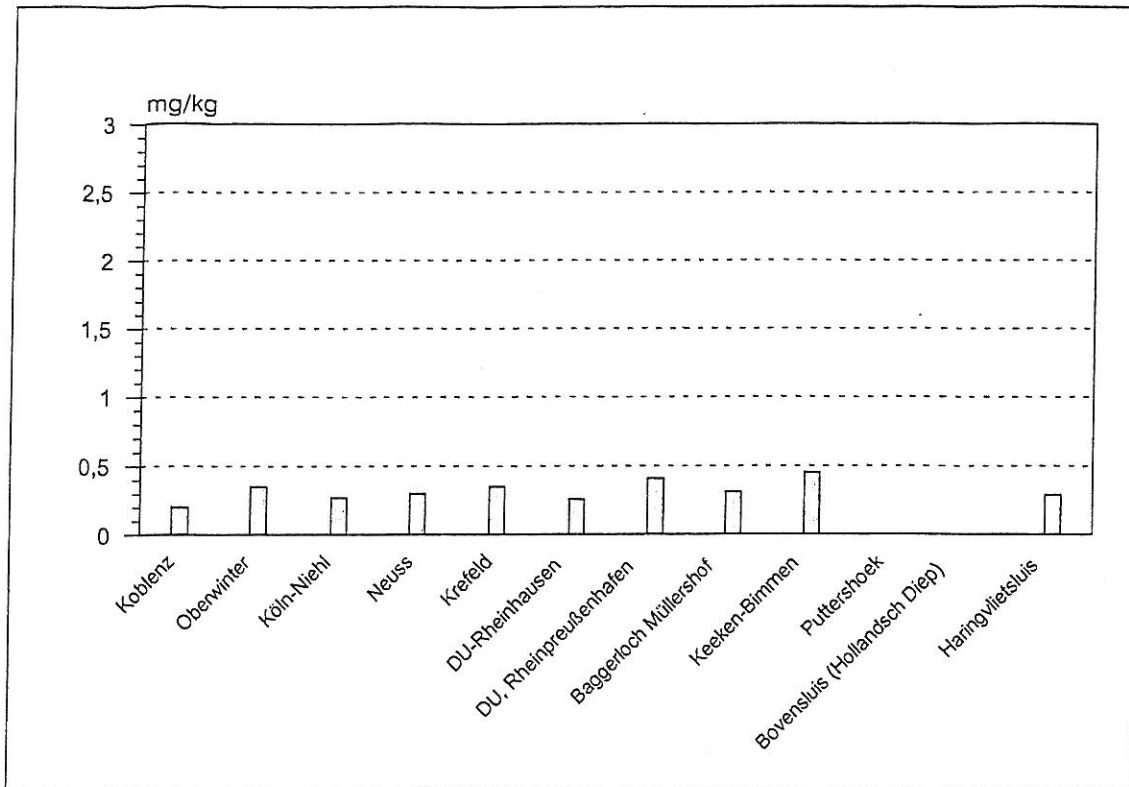
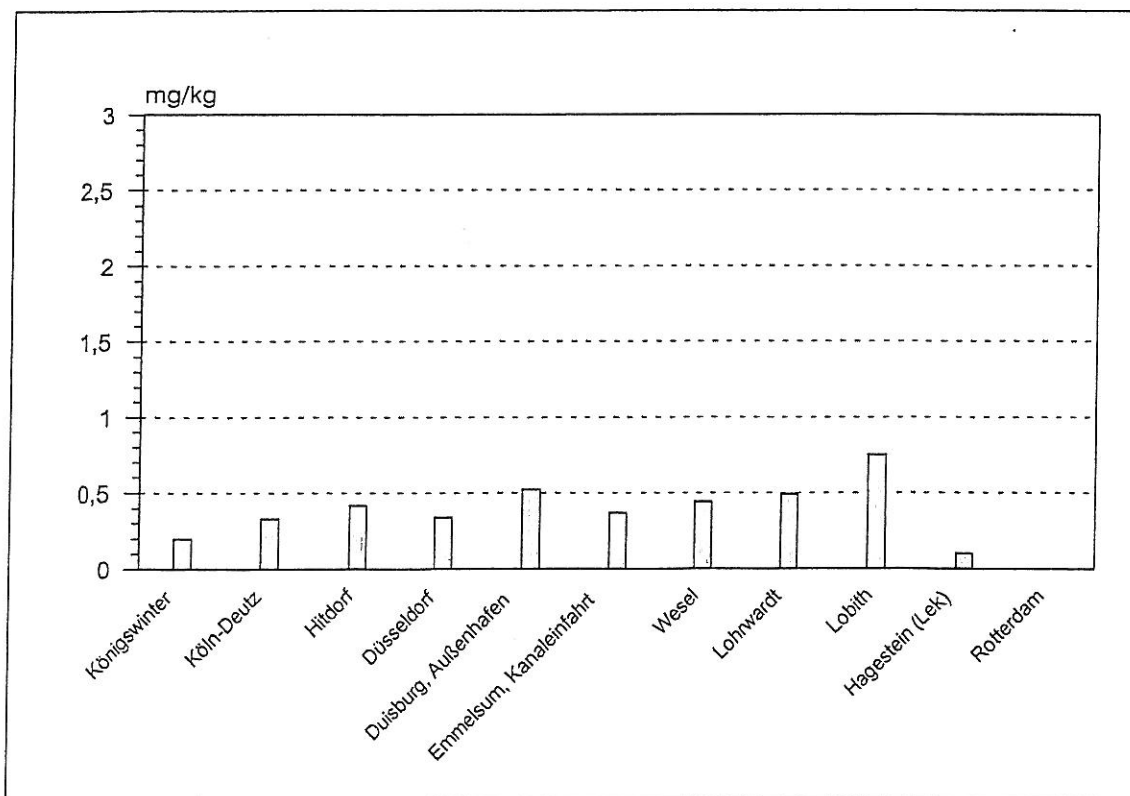


Abb. 3.6.20c: Benzo(k)fluoranthen im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer





Ausgehend von 0,15 mg/kg in Kadelburg am Hochrhein verdoppelt sich der Benzo(a)pyren-Gehalt in Laufenburg und erreicht bis Weil und Kembs wieder seinen Ausgangswert. Im weiteren Verlauf nehmen die Gehalte langsam auf Werte um 0,5 mg/kg ab Oberwinter zu, verbleiben mit Ausnahme des Duisburger Rheinpreußenhafens (0,74 mg/kg) entlang des gesamten linken Niederrheinufer auf diesem Niveau und steigen an der deutsch-niederländischen Grenze bei Keeken-Bimmen schließlich auf 0,76 mg/kg. An der Haringvlietsluis im südlichen Delta erfolgt ein Rückgang auf 0,46 mg/kg.

Das rechte Ufer weist in Königswinter noch einen ähnlichen Gehalt auf wie Koblenz. Ab Köln übersteigen die Gehalte 0,5 mg/kg, wobei der Duisburger Raum auch hier mit 0,83 mg/kg etwas höher belastet ist. Über Wesel und Lohrwardt nimmt der Benzo(a)pyren-Gehalt schließlich deutlich auf 1,6 mg/kg in Lobith zu. Der Mündungsarm Lek im nördlichen Delta ist hingegen ähnlich gering belastet wie die Meßstellen am Hoch- und Oberrhein.

Abb. 3.6.21a: Benzo(a)pyren im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

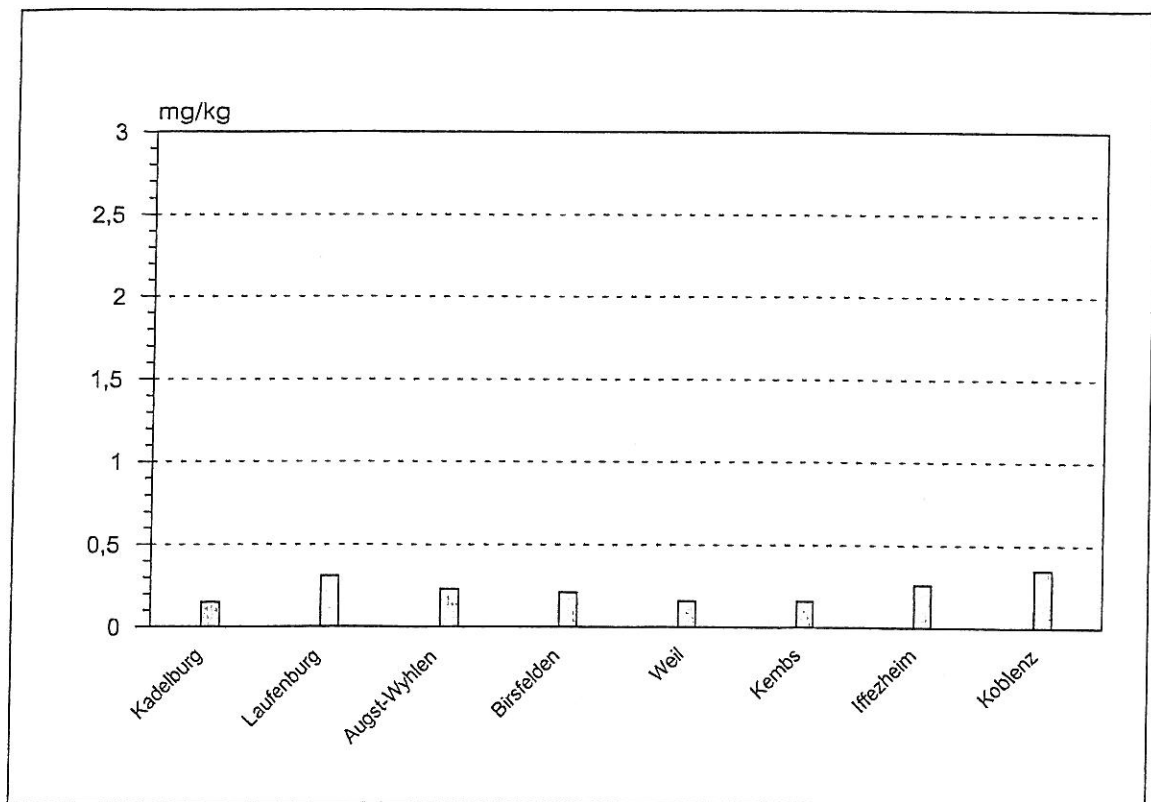


Abb. 3.6.21b: Benzo(a)pyren im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

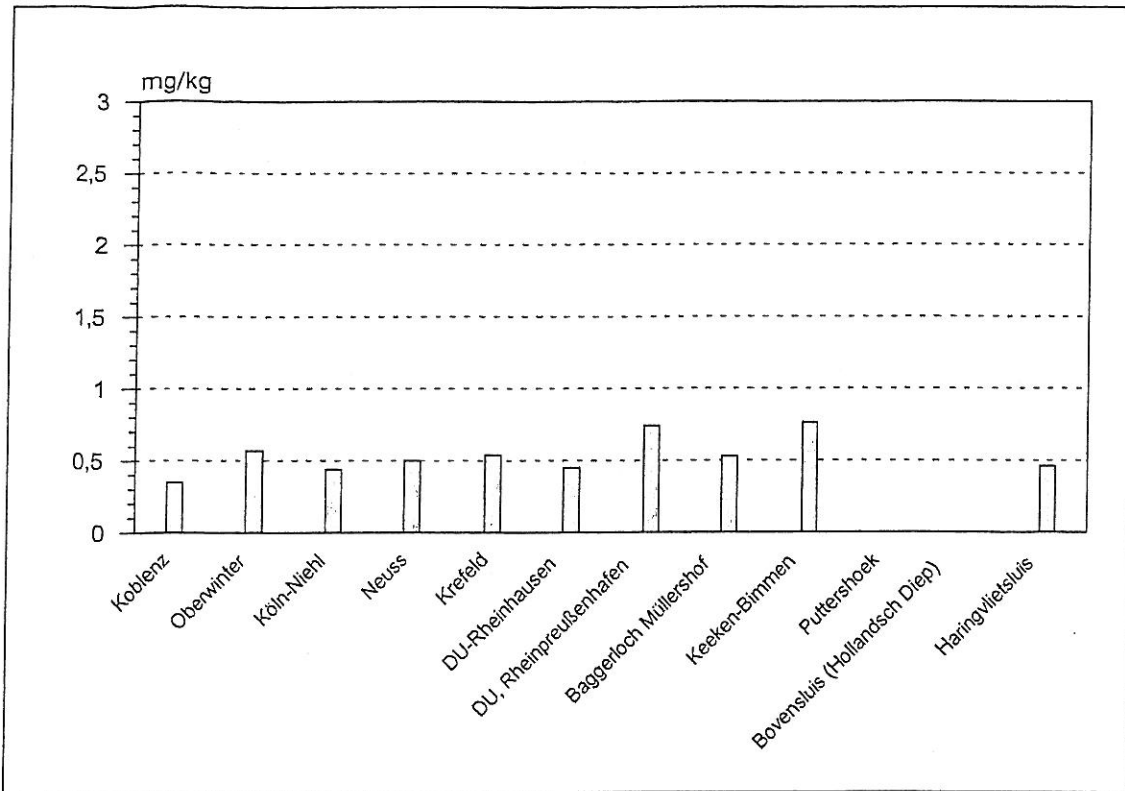
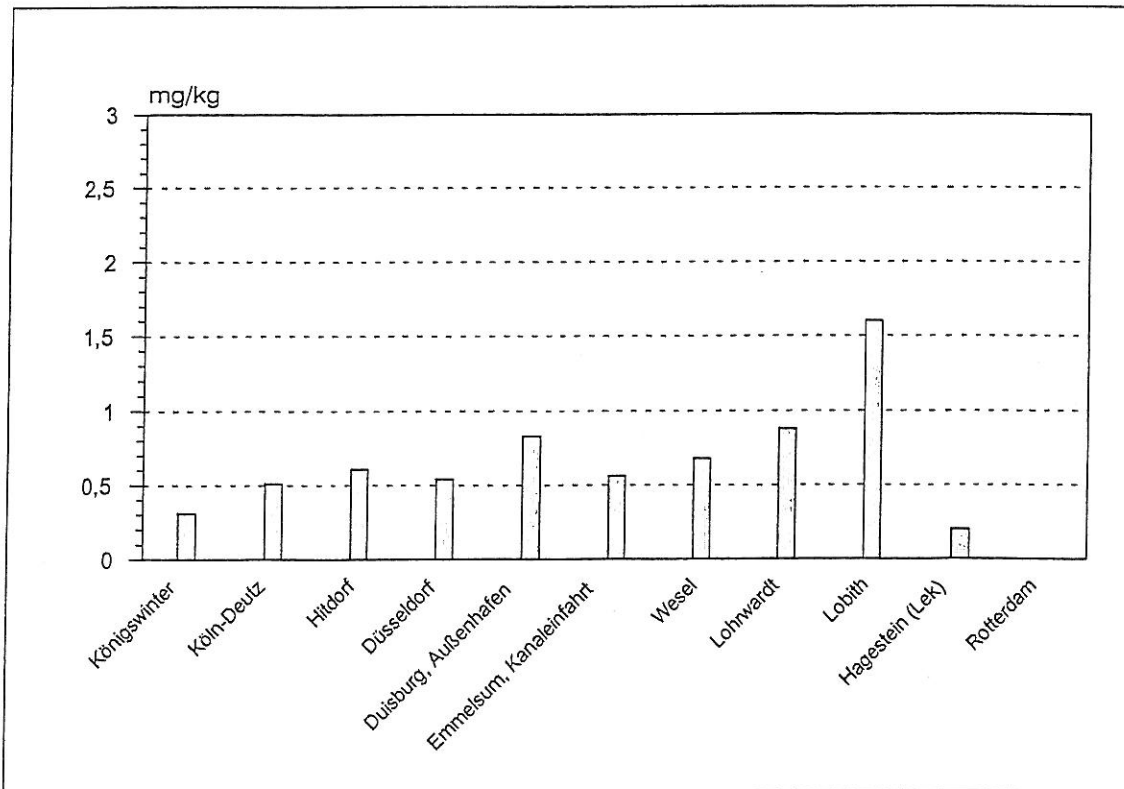


Abb. 3.6.21c: Benzo(a)pyren im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



Sowohl die absoluten Gehalte als auch der Verlauf im Längsprofil des Rheins beim Benzo(ghi)perylen sind nahezu identisch mit denen des Benzo(a)pyren. Lediglich die Höchstbelastung in Lobith fällt mit 1,2 mg/kg geringer aus.

Abb. 3.6.22a: Benzo(ghi)perylen im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

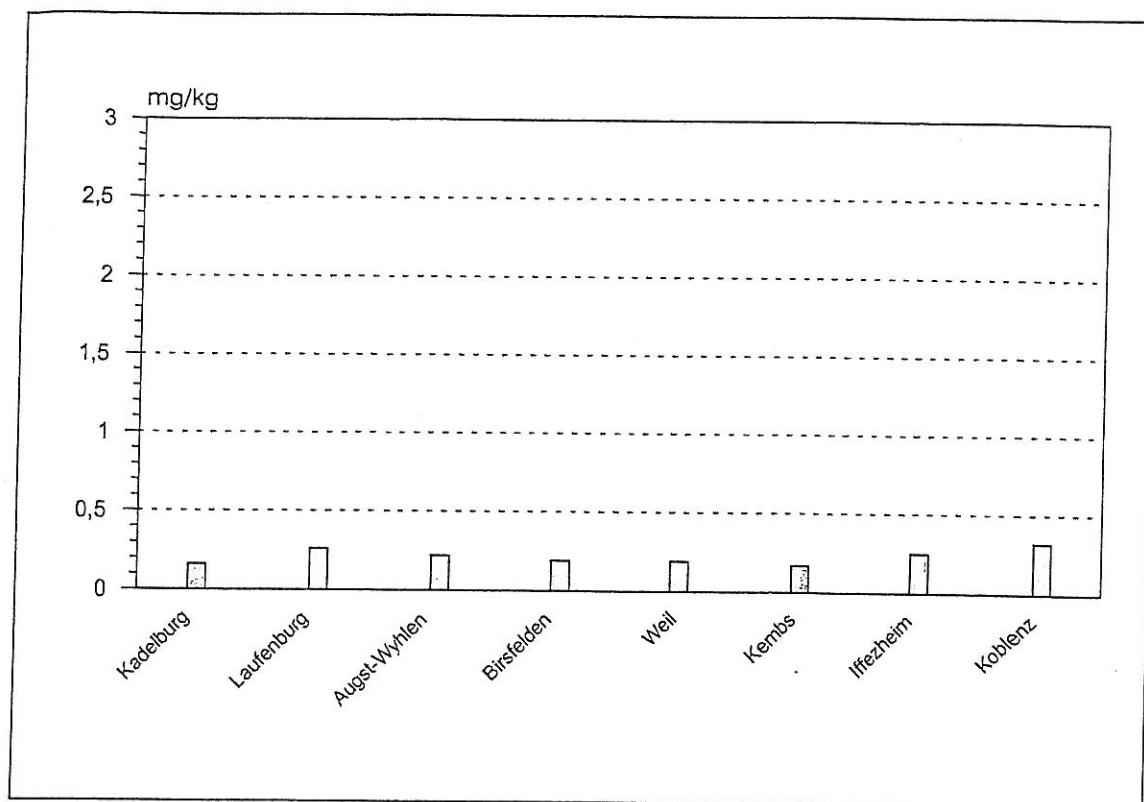


Abb. 3.6.22b: Benzo(ghi)perylene im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

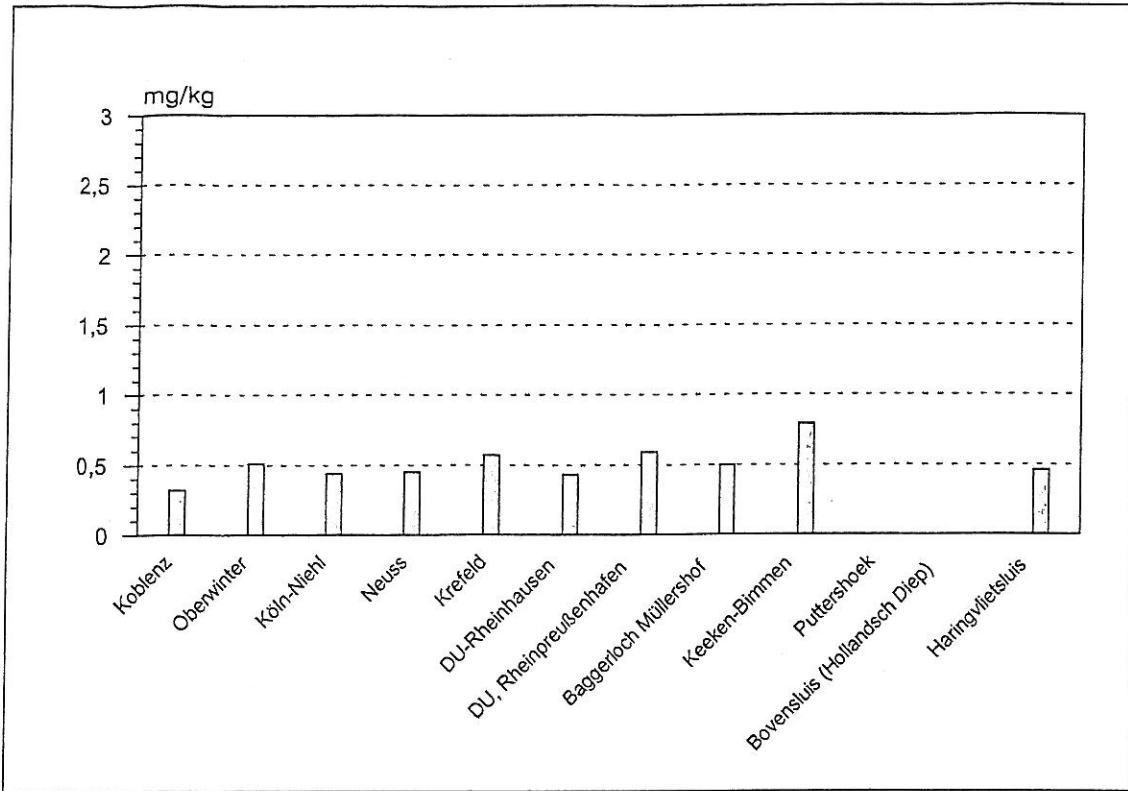
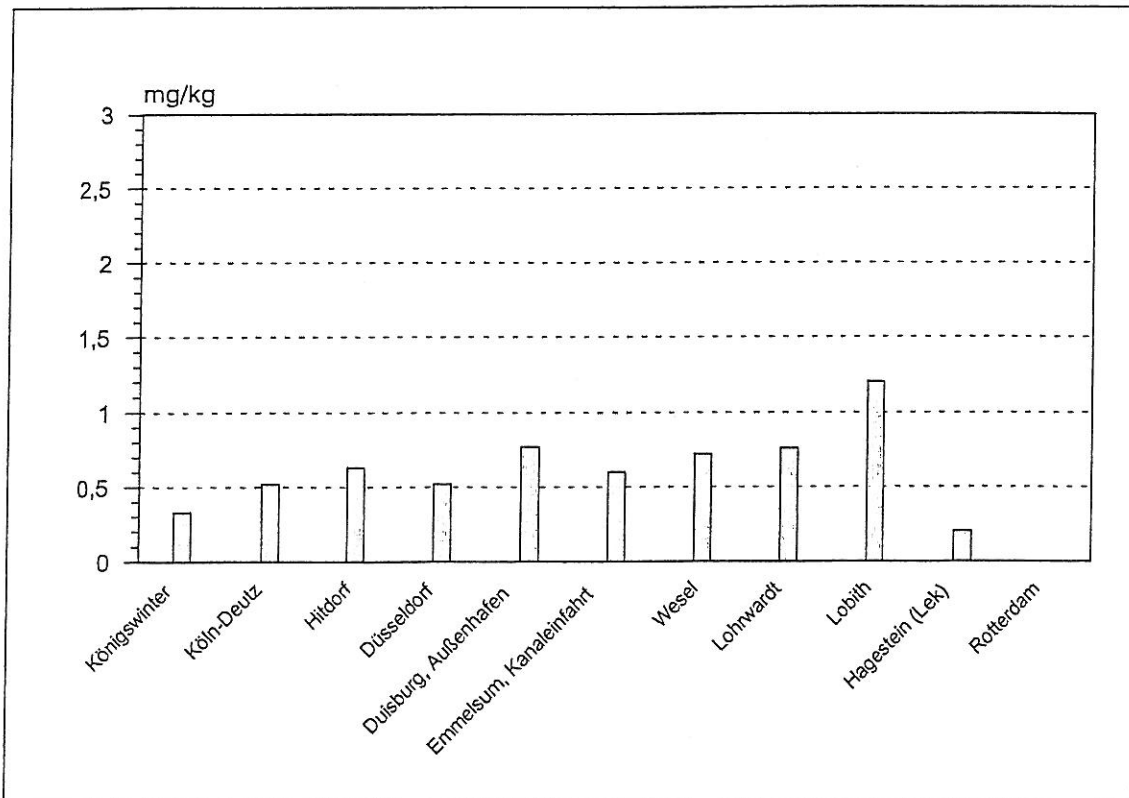


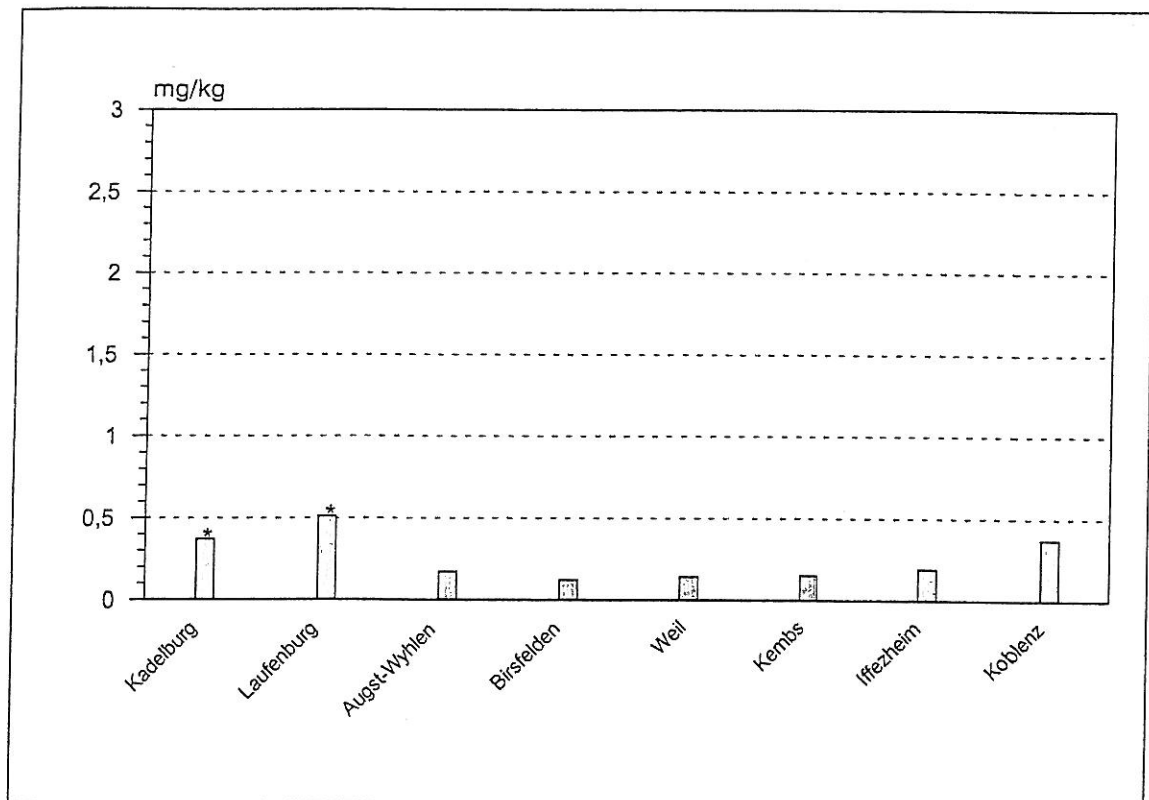
Abb. 3.6.22c: Benzo(ghi)perylene im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



Die Gehalte des Indeno(1,2,3-cd)pyrens an den Hochrheinmeßstellen Kadelburg und Laufenburg müssen als Ausreißer (unplausibel hoch, eventuell analytischer Fehler) angesehen werden, da sie erheblich über denen der nachfolgenden internationalen Meßstellen sowie der französischen Meßstelle Kembs liegen und eher mit den Konzentrationen am Mittel- und Niederrhein vergleichbar sind.

Zwischen Augst-Wyhlen und Iffezheim liegen die Indeno(1,2,3-cd)pyren-Gehalte bei 0,15 mg/kg und steigen auf 0,37 mg/kg in Koblenz bzw. 0,29 mg/kg in Königswinter. Linksrheinisch ab Oberwinter und rechtsrheinisch ab Köln erreichen die Gehalte Werte um 0,5 mg/kg und verbleiben bis oberhalb der deutsch-niederländischen Grenze auf diesem Niveau, wobei das rechte Ufer geringfügig höher belastet ist. Am Grenzübertritt liegen mit 0,68 mg/kg in Keeken-Bimmen sowie 0,89 mg/kg in Lobith schließlich die Höchstwerte vor. Im Delta gehen die Gehalte wieder auf 0,56 mg/kg an der Haringvlietsluis bzw. 0,3 mg/kg in Hagestein an der Lek zurück.

Abb. 3.6.23a: Indeno(1,2,3-cd)pyren im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz



\* Ausreißer

Abb. 3.6.23b: Indeno(1,2,3-cd)pyren im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

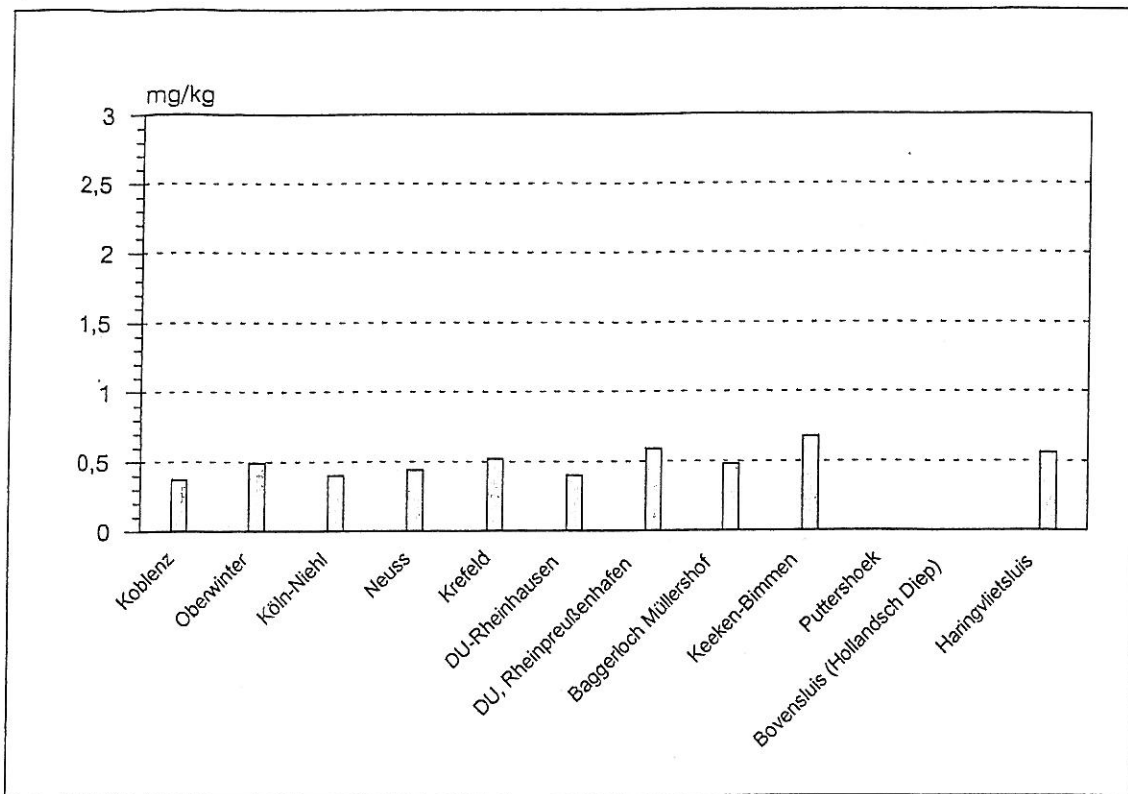
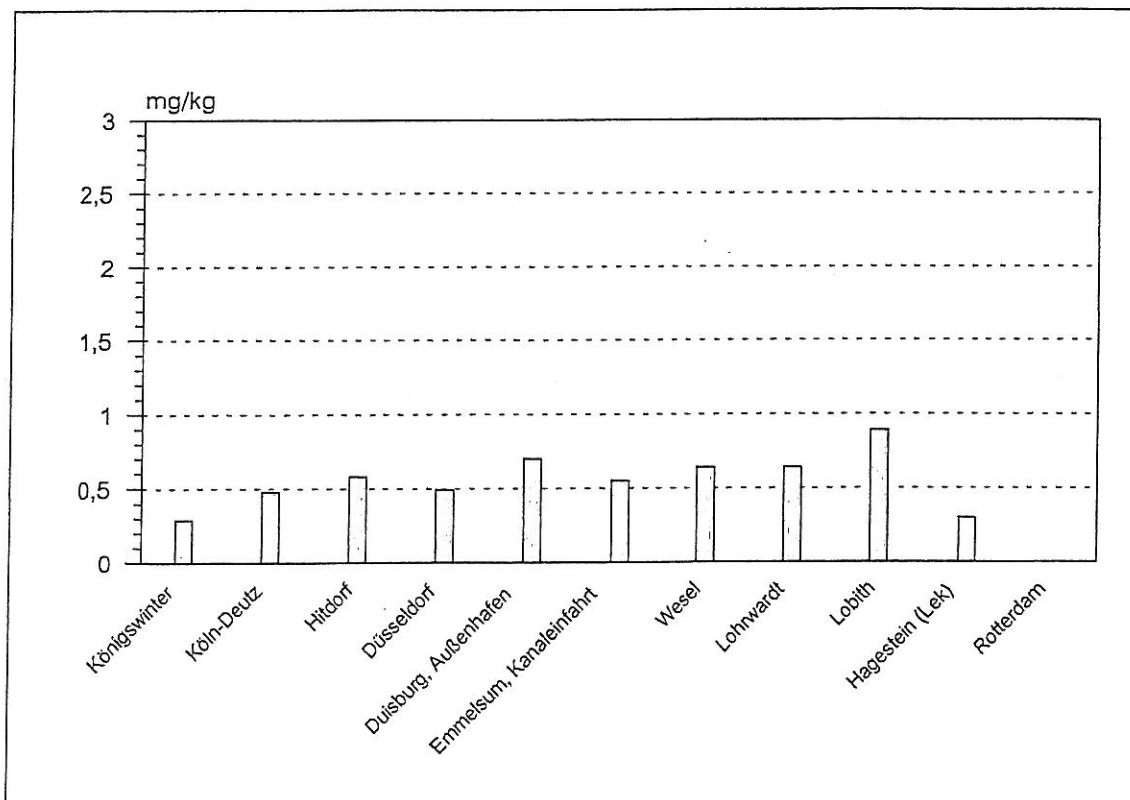


Abb. 3.6.23c: Indeno(1,2,3-cd)pyren im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



Pyren liegt an den Meßstellen Kadelburg und Laufenburg zwar unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze von 0,05 mg/kg, im weiteren Verlauf weist es jedoch nach Fluoranthen die höchsten Gehalte der 15 untersuchten EPA-PAK auf. So schwanken die Gehalte zwischen Augst-Wyhlen und Kembs um 0,25 mg/kg und steigen über Iffezheim mit 0,47 mg/kg und Koblenz mit 0,59 mg/kg auf 1,0 mg/kg in Oberwinter ausgangs des Mittelrheins deutlich. Dieses Niveau wird entlang des gesamten linken Niederrheinufers im Wesentlichen beibehalten, wobei der Pyrengelalt von 1,4 mg/kg am Duisburger Rheinpreußenhafen etwas herausragt.

Am rechten Ufer erfolgt der Anstieg auf 1 mg/kg erst ab Köln. Unter stärkeren Schwankungen wird schließlich in Wesel mit 2,2 mg/kg der Höchstwert erreicht. Ähnlich hoch ist die Belastung auch in Lobith. Im Delta sinken die Pyrengelalte wieder deutlich auf 0,66 mg/kg an der Haringvlietsluis und 0,3 mg/kg in Hagestein.

Abb. 3.6.24a: Pyren im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

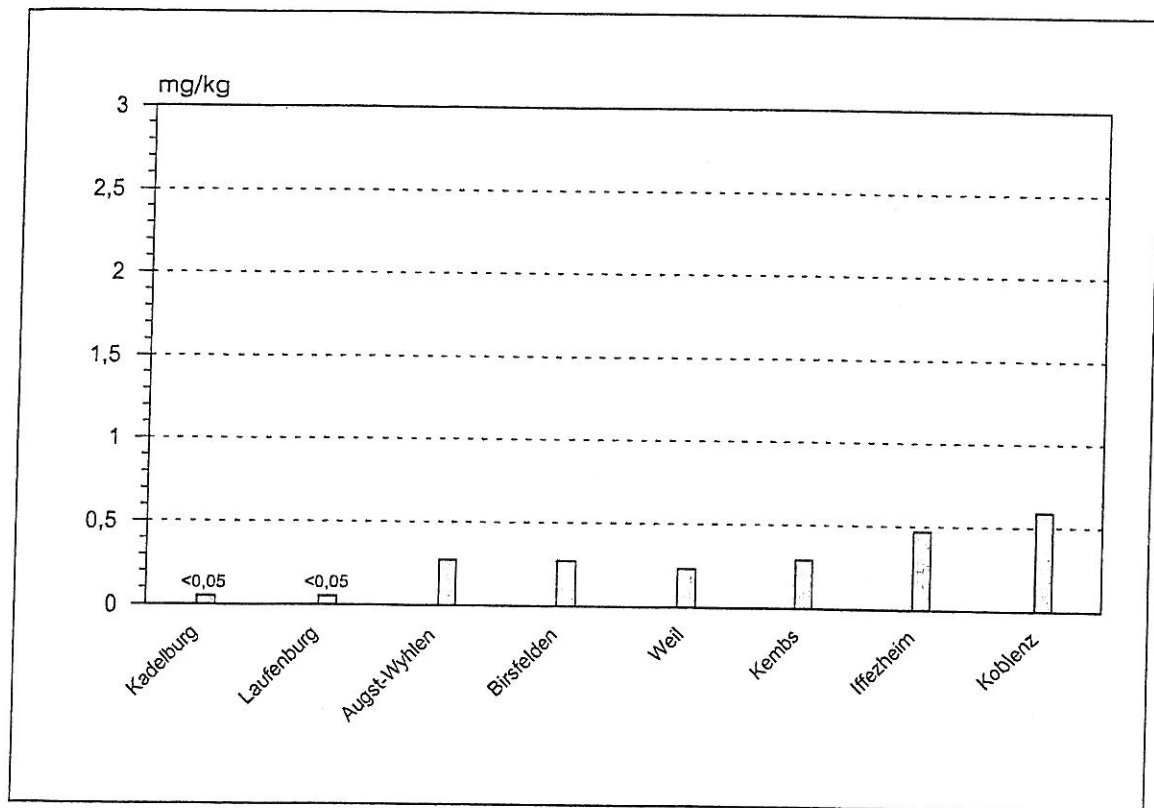


Abb. 3.6.24b: Pyren im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

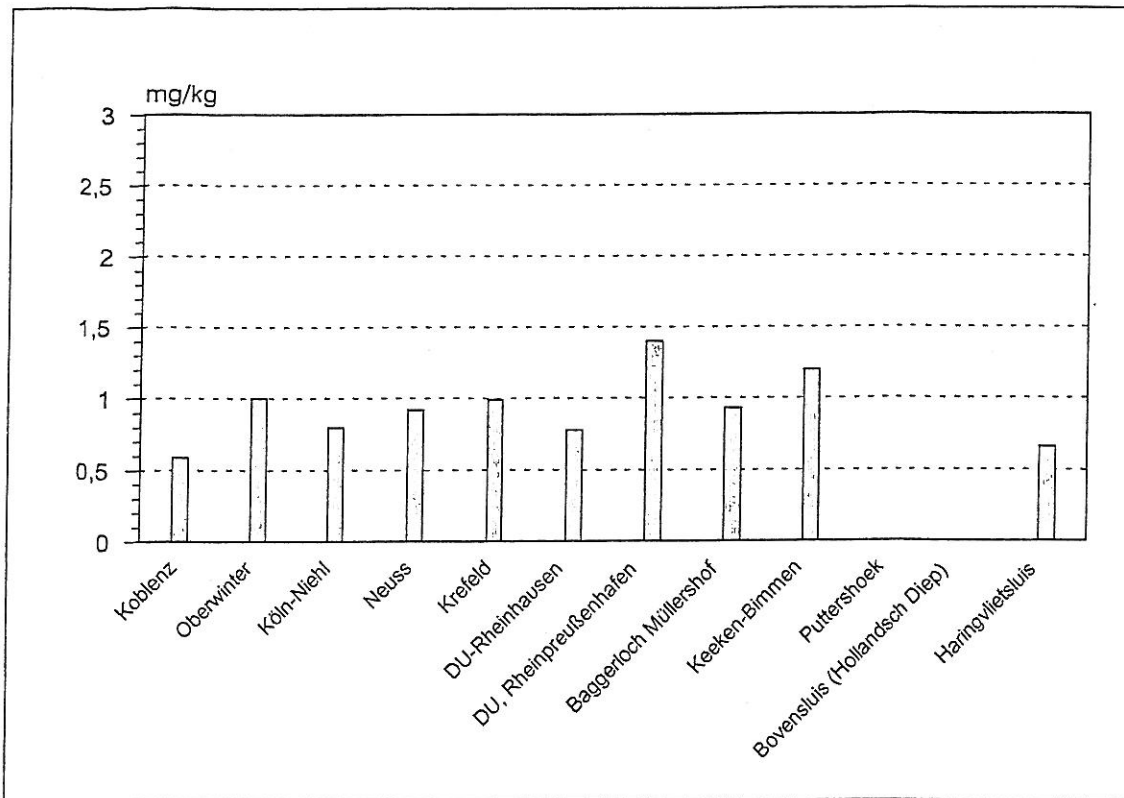
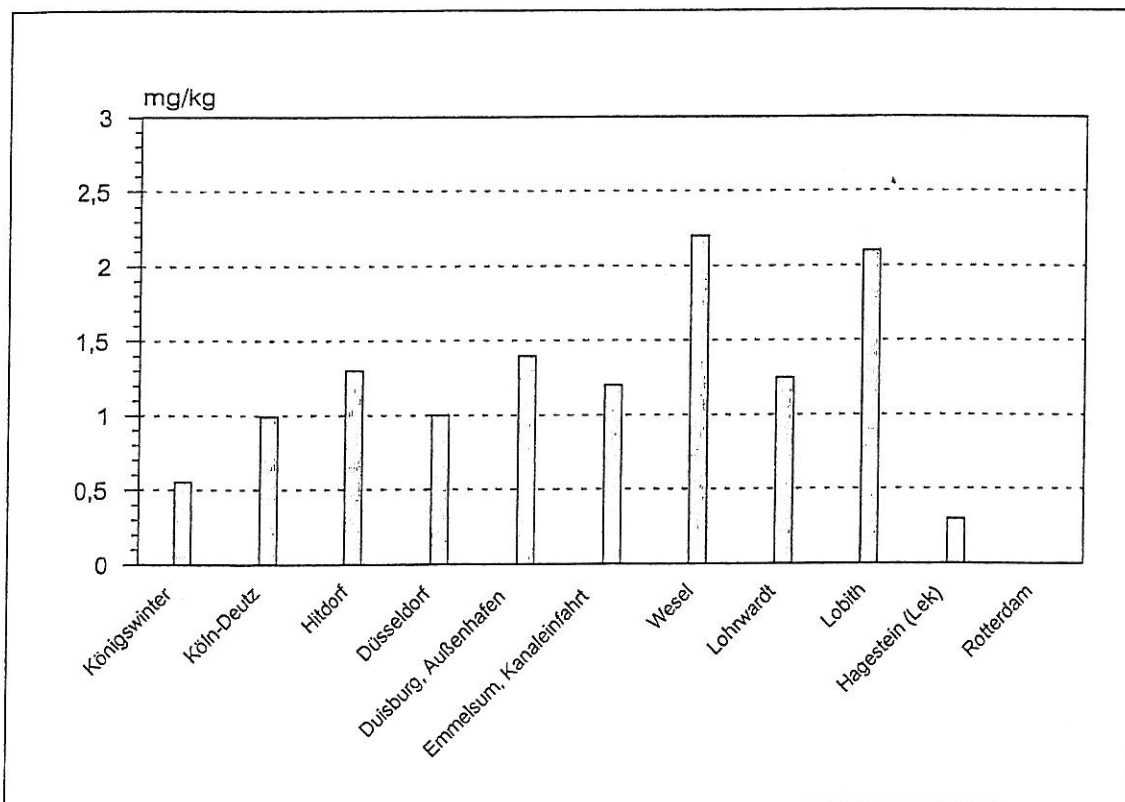


Abb. 3.6.24c: Pyren im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer





Beim Chrysen liegt der Gehalt in Kadelburg ebenfalls unter der analytischen Bestimmungsgrenze von 0,05 mg/kg, steigt jedoch in Laufenburg auf 0,43 mg/kg an. Dieser Wert ist sicherlich als Ausreißer anzusehen, da Gehalte dieser Größenordnung eher für den linken Niederrhein typisch sind. Zwischen Augst-Wyhlen und Iffezheim schwanken die Chrysengehalte um 0,2 mg/kg und nehmen im weiteren Verlauf allmählich auf Werte um 0,4 bis 0,5 mg/kg am linken Niederrheinufer zu. An den Meßstellen am Duisburger Rheinpreußenhafen und in Keeken-Bimmen liegen sie etwas darüber.

Am rechten Ufer bewegen sich die Chrysenkonzentrationen mehr oder weniger deutlich oberhalb von 0,5 mg/kg und erreichen mit 1,1 mg/kg in Lobith ihr Maximum. Der Deltabereich ist wie bei den anderen PAK deutlich geringer belastet.

Abb. 3.6.25a: Chrysen im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

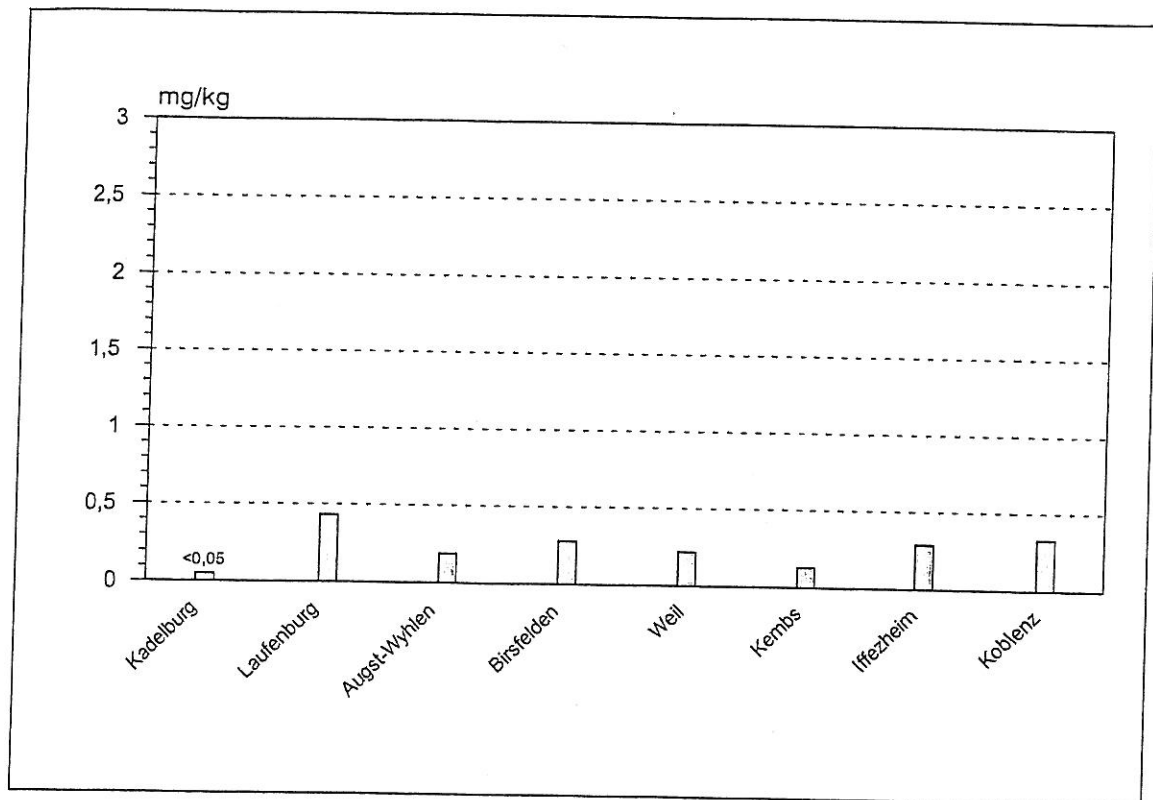


Abb. 3.6.25b: Chrysen im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

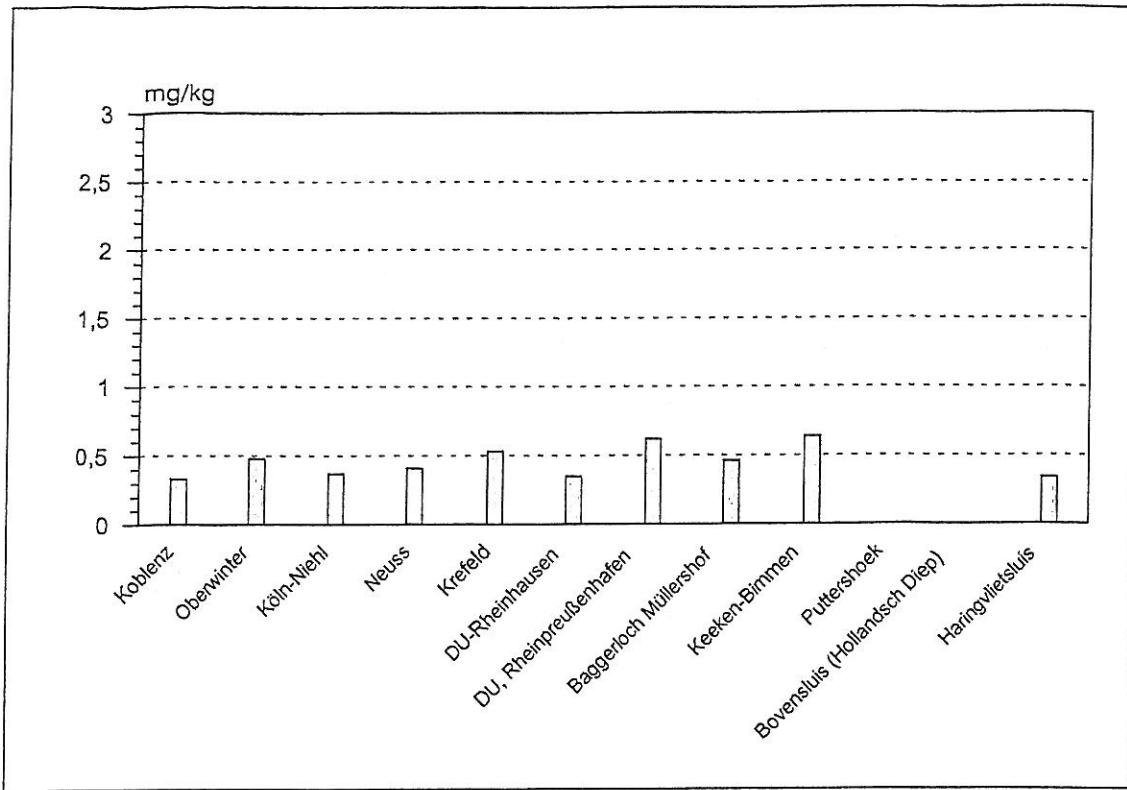
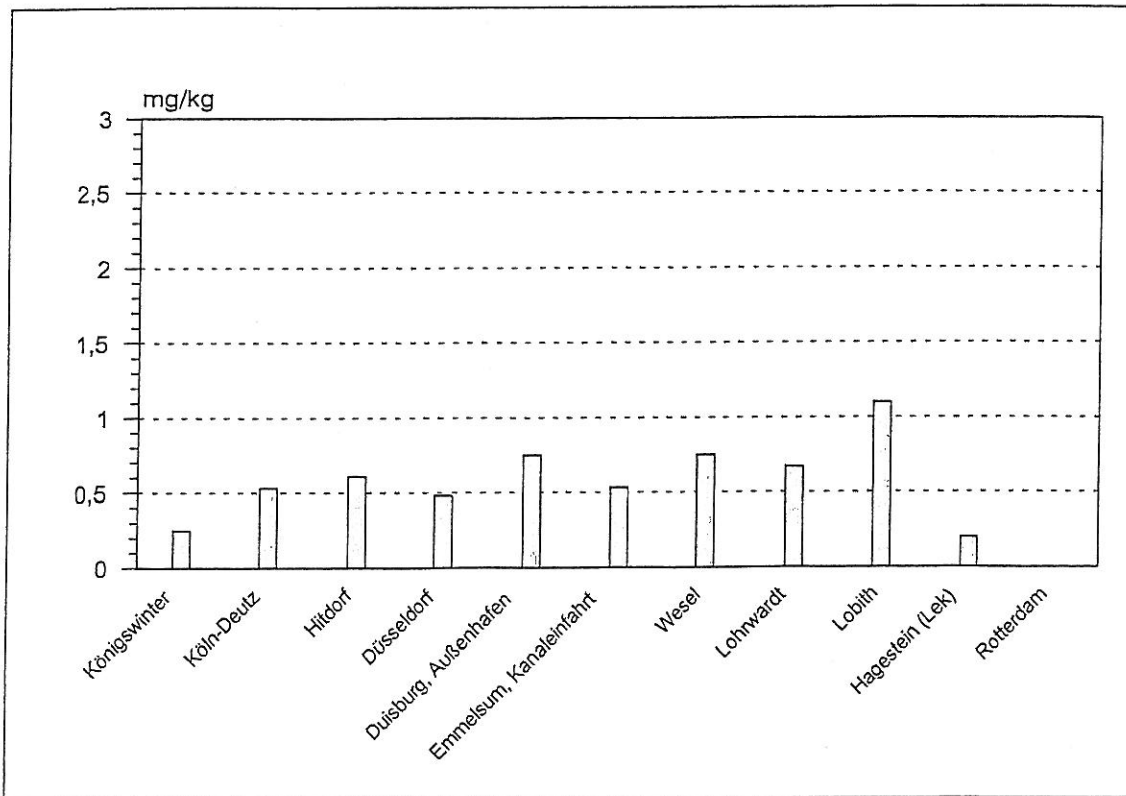


Abb. 3.6.25c: Chrysen im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



Am Hoch- und Oberrhein liegen die Anthracengehalte meist unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze von 0,05 mg/kg oder geringfügig darüber. Auch die mittlrheinischen Meßstellen Koblenz und Königswinter weisen mit Gehalten um 0,1 mg/kg eine geringe Belastung auf. Am linken Niederrheinufer bewegen sich die Anthracengehalte bis Duisburg-Rheinhausen zunächst um 0,2 mg/kg, erreichen mit 0,45 mg/kg am Duisburger Rheinpreußenhafen ihr Maximum, bevor sie auf 0,31 mg/kg am Müllershof bzw. 0,34 mg/kg in Keeken-Bimmen zurückgehen. Im südlichen Delta erfolgt ein weiterer Rückgang auf 0,24 mg/kg an der Haringvlietsluis.

Das rechte Niederrheinufer weist an der Meßstelle Hitdorf mit 0,84 mg/kg einen Belastungsschwerpunkt auf. An den weiteren Meßstellen schwanken die Anthracengehalte zwischen 0,28 mg/kg in Köln, Düsseldorf und Lohrwardt und 0,43 mg/kg an der Einfahrt zum Wesel-Datteln-Kanal bei Emmelsum, bevor in Lobith ein Anstieg auf 0,55 mg/kg erfolgt. Die Meßstelle Hagestein im nördlichen Delta ist dagegen mit 0,1 mg/kg gering belastet.

Abb. 3.6.26a: Anthracen im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

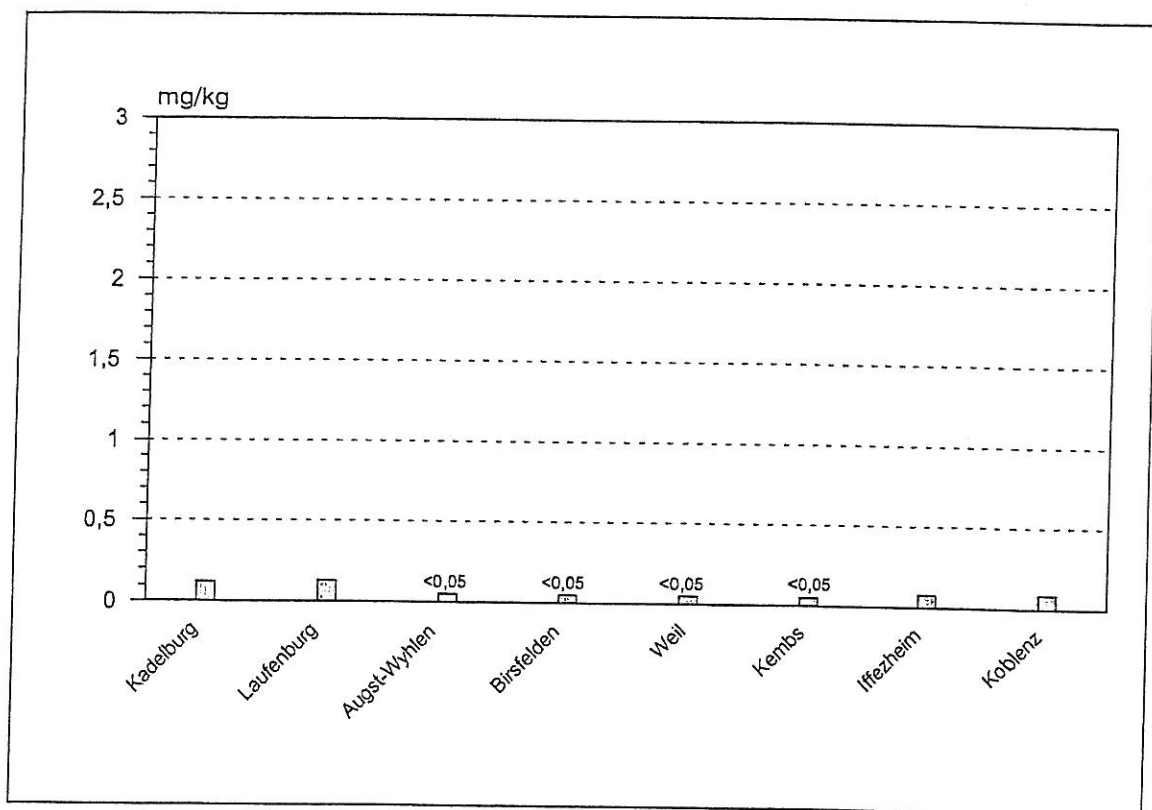


Abb. 3.6.26b: Anthracen im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

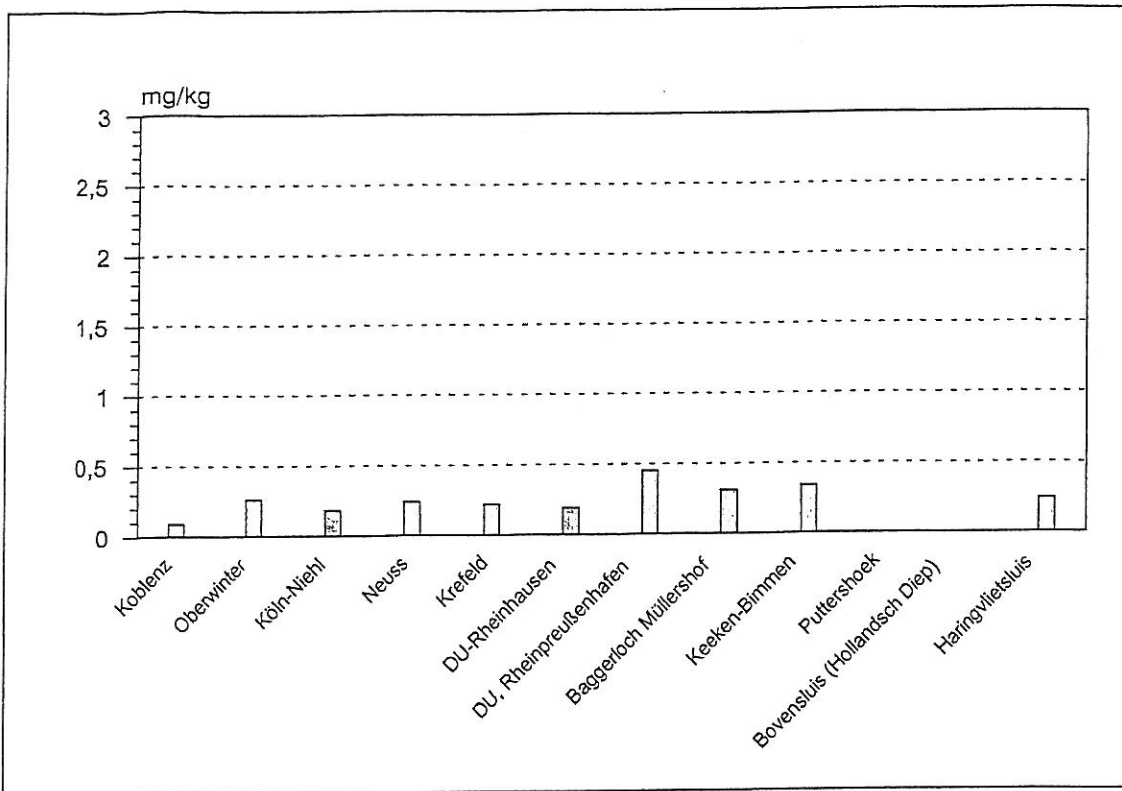
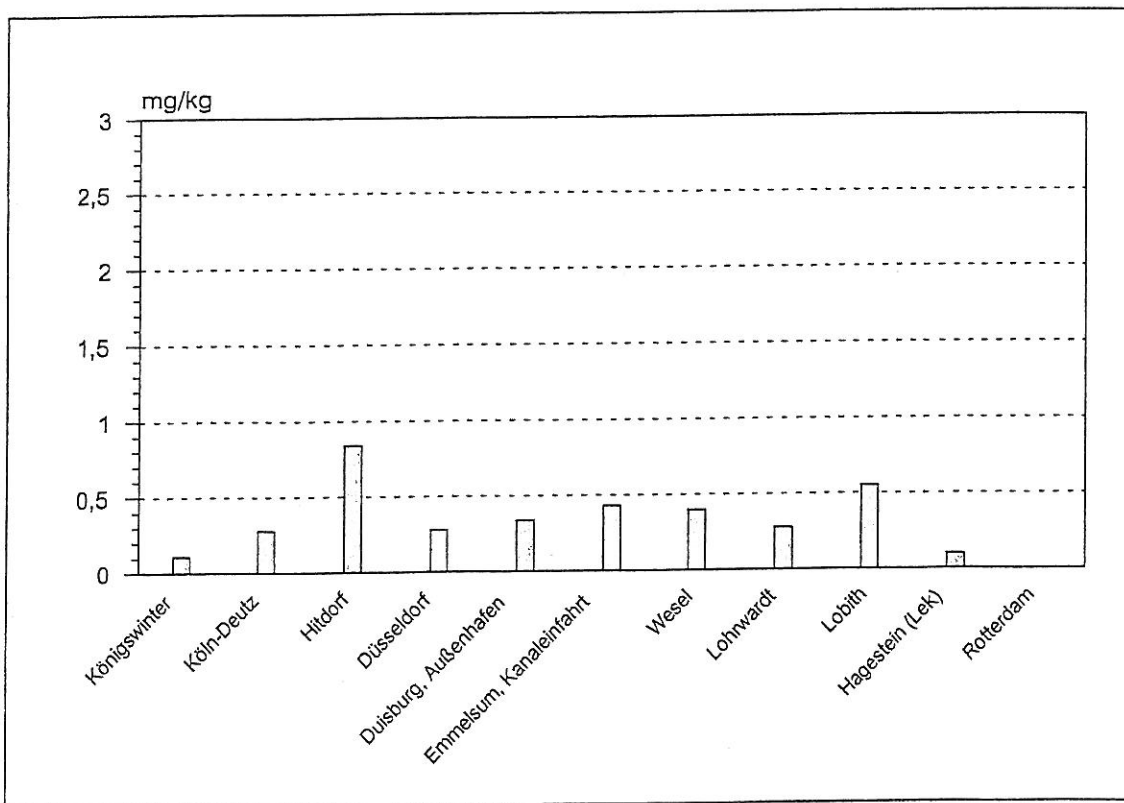


Abb. 3.6.26c: Anthracen im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



Die Benzo(a)anthracen-Gehalte bewegen sich am Hoch- und Oberrhein um 0,2 mg/kg und steigen über Koblenz mit 0,30 mg/kg auf Werte um 0,55 mg/kg am linken Niederrheinufer, wobei die Meßstellen am Duisburger Rheinpreußenhafen mit 0,88 mg/kg und in Keeken-Bimmen mit 0,86 mg/kg höher belastet sind. Im südlichen Delta ist mit 0,40 mg/kg an der Haringvlietsluis wiederum eine deutlich geringere Belastung festzustellen.

Am rechten Ufer nehmen die Benzo(a)anthracen-Gehalte ausgehend von 0,33 mg/kg in Königswinter dagegen bei geringer Schwankungsbreite kontinuierlich auf 1,3 mg/kg in Lobith zu. Das nördliche Delta bei Hagestein ist mit 0,2 mg/kg gering belastet.

Abb. 3.6.27a: Benzo(a)anthracen im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

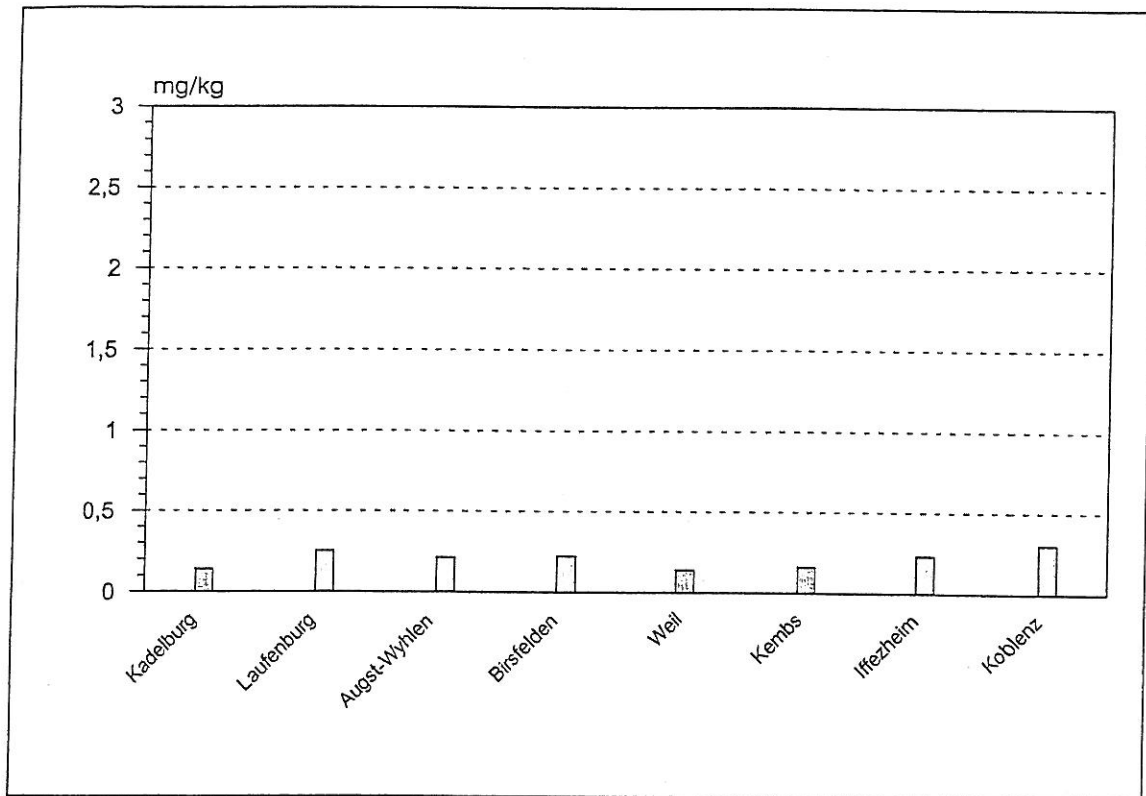


Abb. 3.6.27b: Benzo(a)anthracen im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

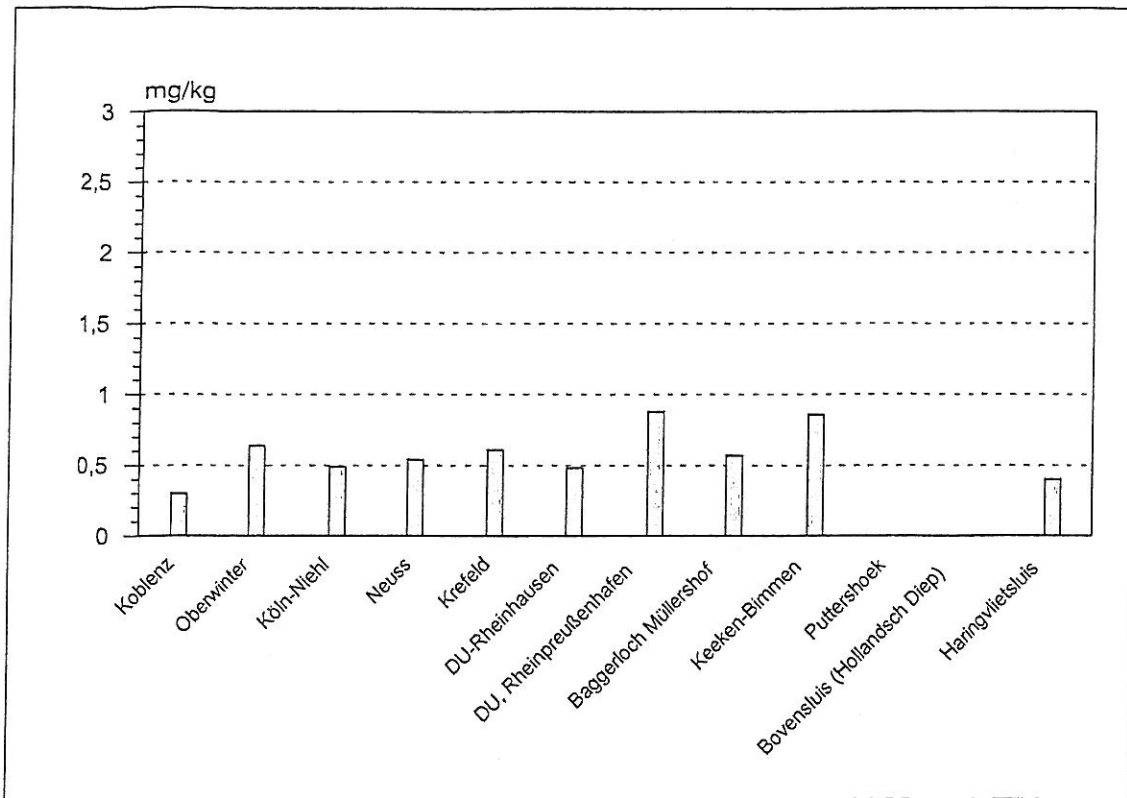
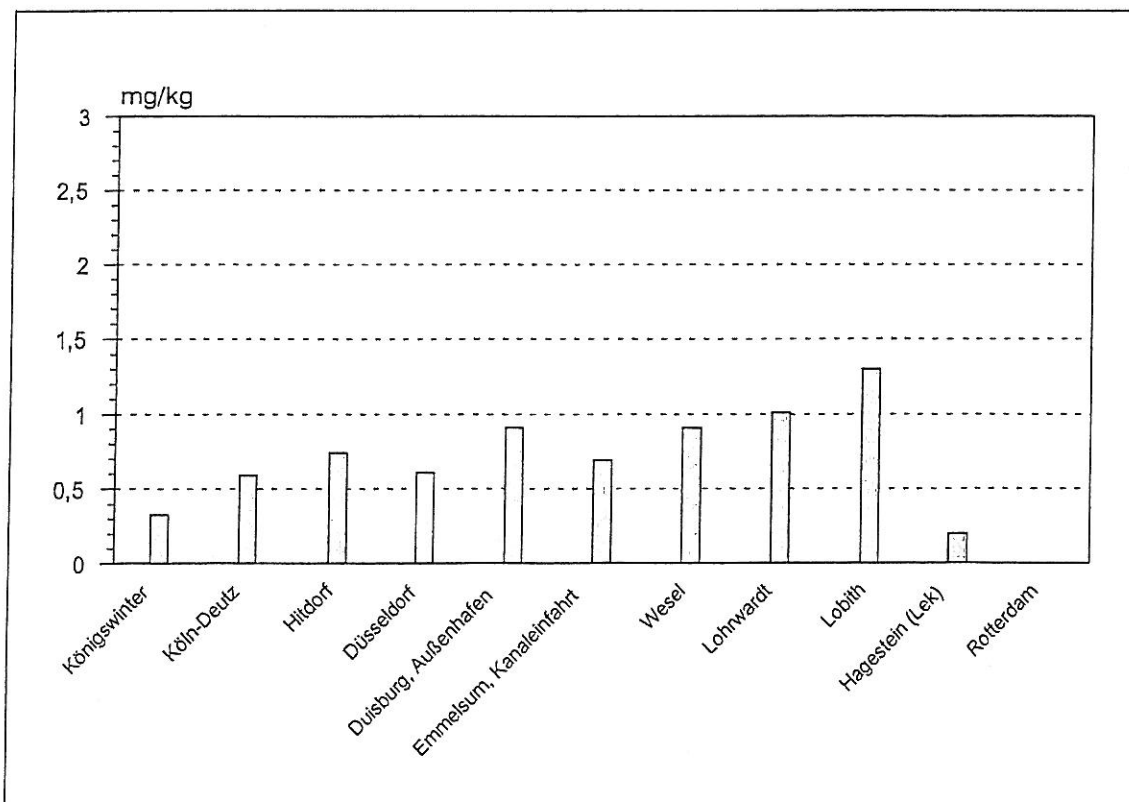


Abb. 3.6.27c: Benzo(a)anthracen im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



Ausgehend von 0,06 mg/kg in Kadelburg steigen die Phenanthrengelhalte über 0,10 mg/kg in Laufenburg auf Werte um 0,2 mg/kg zwischen Augst-Wyhlen und Kembs. Ab Iffezheim nehmen die Gehalte weiter zu auf 0,31 mg/kg in Koblenz und Werte um 0,5 mg/kg am linken Niederrheinufer. Dabei weisen die Meßstellen am Duisburger Rheinpreußenhafen mit 0,88 mg/kg und Keeken-Bimmen mit 0,91 mg/kg wiederum eine höhere Belastung auf. Im südlichen Delta geht der Phenanthrengelhalt schließlich auf 0,44 mg/kg zurück.

Ganz ähnlich ist der Verlauf am rechten Niederrheinufer, wobei die Werte bis zur Kanaleinfahrt bei Emmelsum um 0,7 mg/kg schwanken. Die Meßstellen Wesel und Lobith zeigen mit je 1,4 mg/kg die höchste Belastung, in Lohrwardt beträgt der Phenanthrengelhalt dagegen nur 0,92 mg/kg.

Abb. 3.6.28a: Phenanthren im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

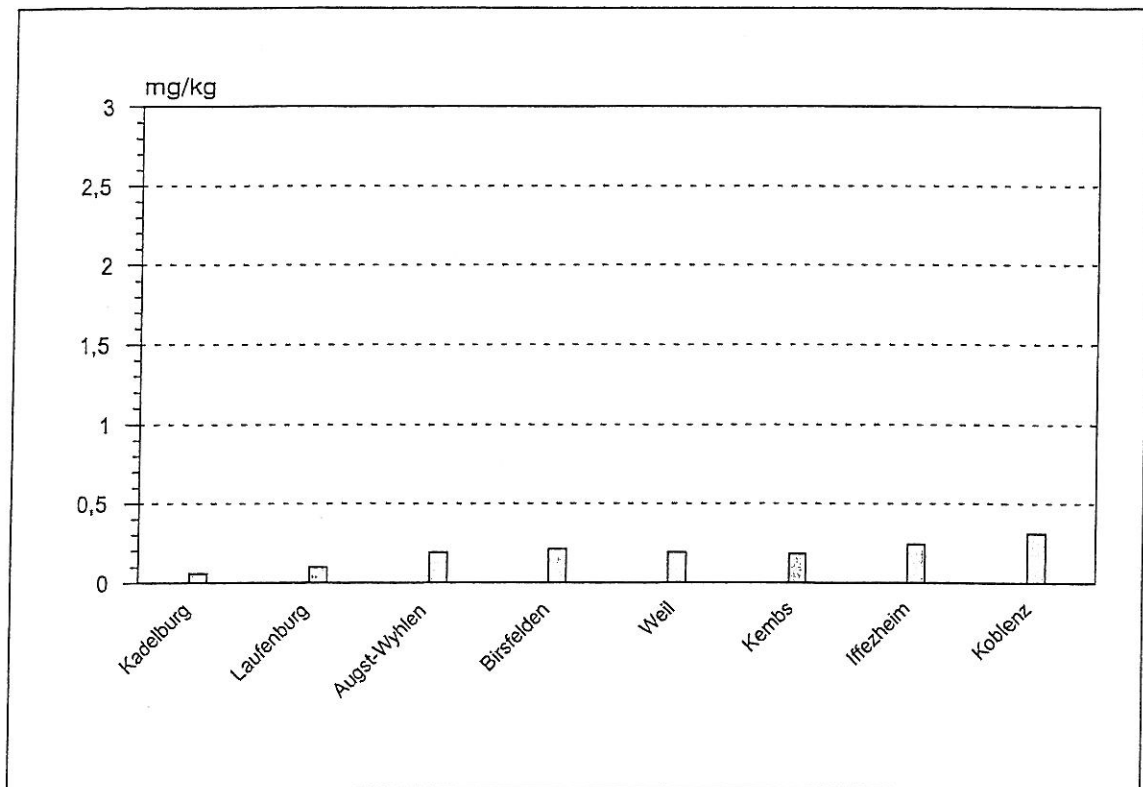


Abb. 3.6.28b: Phenanthren im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

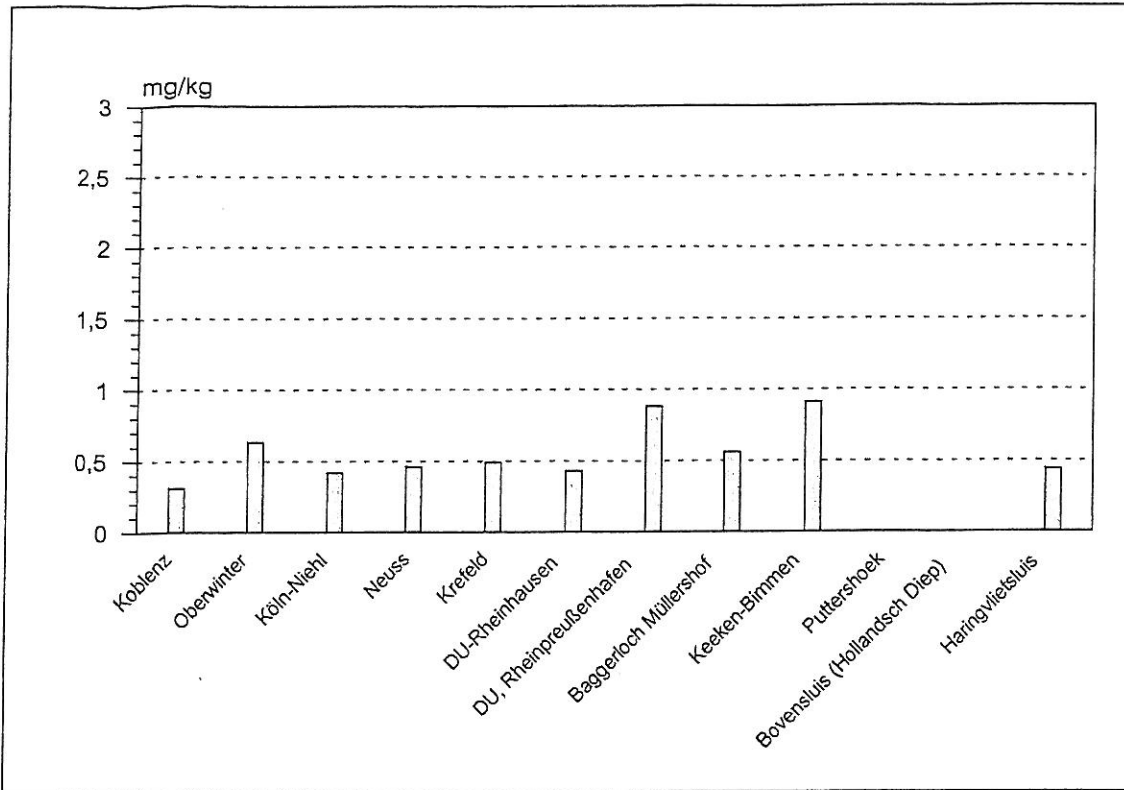
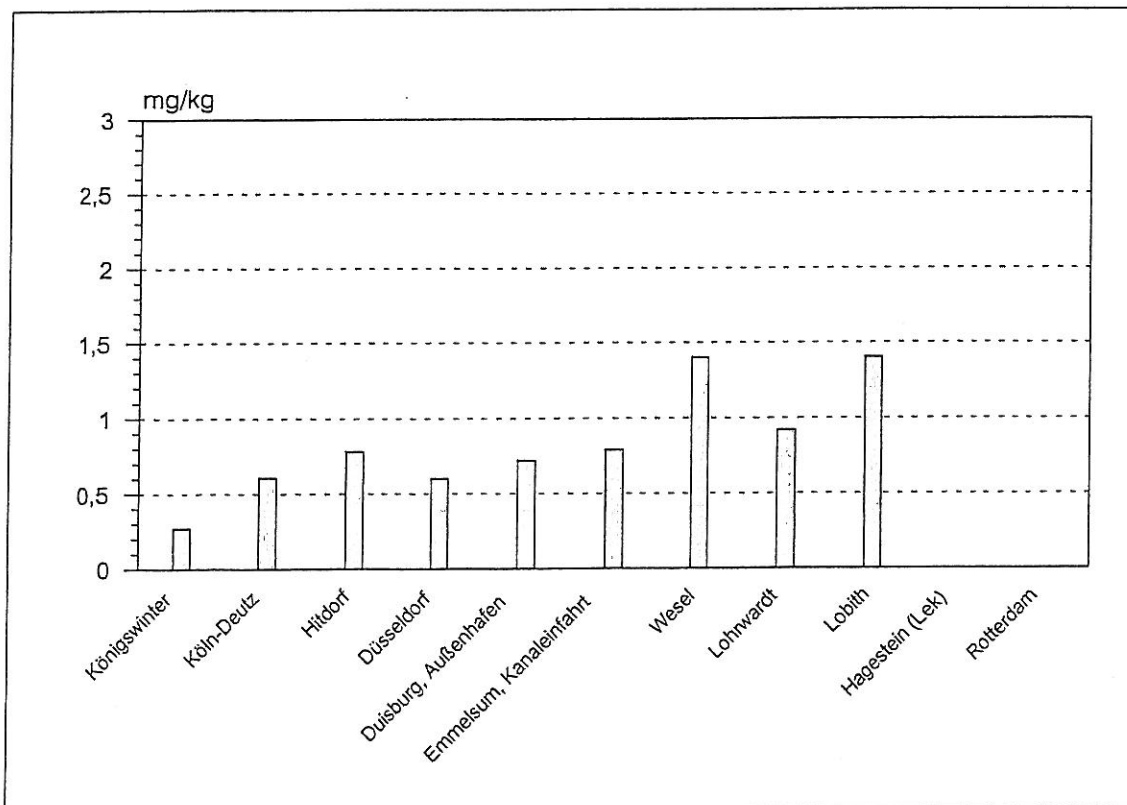


Abb. 3.6.28c: Phenanthren im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer





Die Summe der 6 Borneff-PAK Fluoranthen, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen, Benzo(a)pyren, Benzo(ghi)perylen und Indeno(1,2,3-cd)pyren beträgt am Hochrhein und Oberrhein bis Kembs etwa 1,25 mg/kg. Dabei ist zu berücksichtigen, daß an den Meßstellen Kadelburg und Laufenburg am Hochrhein die Werte für Indeno(1,2,3-cd)pyren als Ausreißer einzustufen sind und somit die Summe der Borneff-PAK erhöht ist. Ab Iffezheim steigen die Gehalte der Borneff-PAK und erreichen am linken Niederrhein zwischen 3 und 4 mg/kg. Wie schon bei den meisten Einzelstoffen sind auch bei der Summe der 6 Borneff-PAK die Meßstellen am Duisburger Rheinpreußenhafen und bei Keeken-Bimmen mit 4,94 mg/kg bzw. 5,19 mg/kg höher belastet. An der Haringvlietsluis im südlichen Delta liegt wieder das durchschnittliche Niveau des linken Niederrheins vor.

Das rechte Niederrheinufer ist an einigen Meßstellen deutlich höher belastet. So beträgt die Summe der 6 Borneff-PAK am Duisburger Außenhafen 5,62 mg/kg, in Wesel 5,95 mg/kg und bei Lohrwardt 5,46 mg/kg. In Lobith wird mit 8,94 mg/kg schließlich das Maximum erreicht. Das nördliche Delta in Hagestein an der Lek ist mit 1,6 mg/kg dagegen wie Iffezheim vergleichsweise gering belastet.

Abb. 3.6.29a: Summe der Borneff-PAK im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

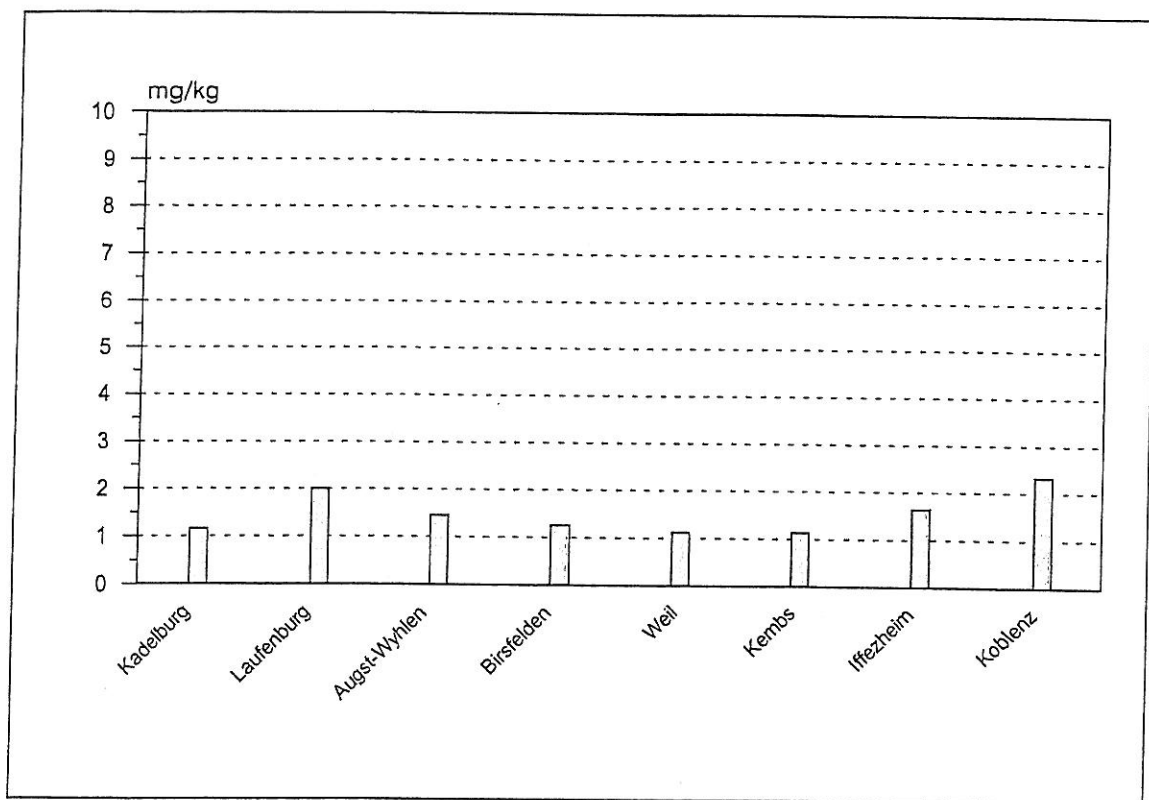


Abb. 3.6.29b: Summe der Borneff-PAK im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

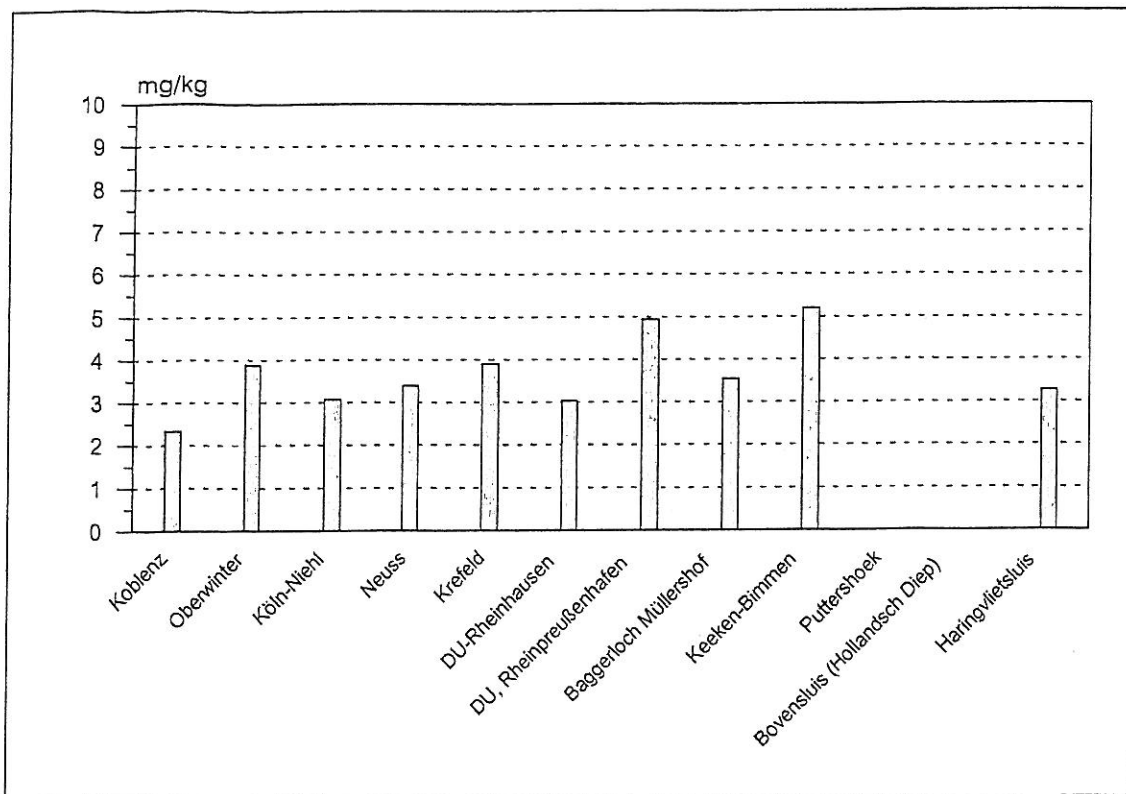
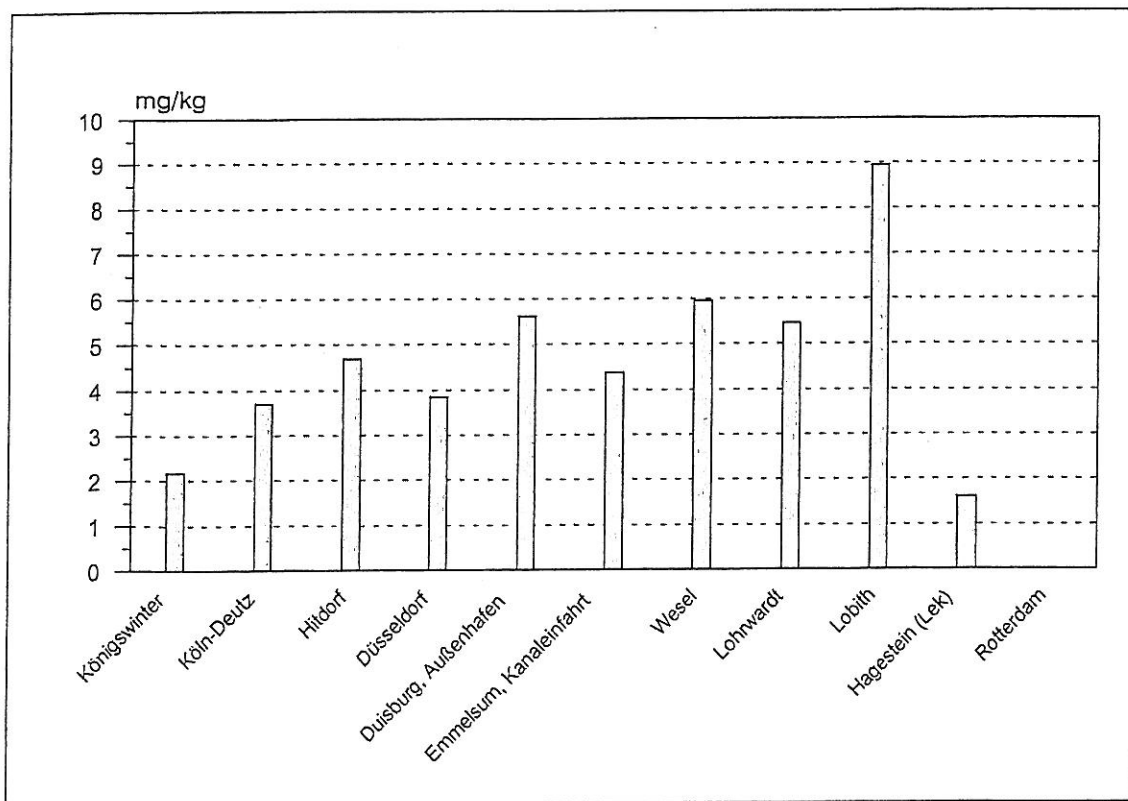


Abb. 3.6.29c: Summe der Borneff-PAK im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



Bei den EPA-PAK wurden die Meßstellen Kadelburg und Laufenburg nicht berücksichtigt, da Acenaphthen nicht gemessen wurde und bei Fluoren die analytische Bestimmungsgrenze zu hoch lag. An den anderen Meßstellen am Hochrhein liegt die Summe der 15 untersuchten EPA-PAK bei 2,5 mg/kg, eingangs des Oberrheins bei 2,15 mg/kg. Im weiteren Verlauf steigen die EPA-PAK über 3,21 mg/kg in Iffezheim auf 4,28 mg/kg in Koblenz. Während das rechte Ufer ausgangs des Mittelrheins ein ähnliches Niveau aufweist, erhöht sich die Summe der EPA-PAK am linken Ufer in Oberwinter auf 7,42 mg/kg. Unter geringen Schwankungen wird dieser Belastungszustand an den meisten Meßstellen des linken Niederrheins beibehalten. Eine Ausnahme bilden die höher belasteten Meßstellen am Duisburger Rheinpreußenhafen und bei Keeken-Bimmen mit Werten um 10 mg/kg.

Das rechte Niederrheinufer weist lediglich in Köln und Düsseldorf eine mit dem linken Ufer vergleichbare Belastung auf. EPA-PAK-Gehalte um 10 mg/kg liegen an den Meßstellen Hitdorf, Duisburg (Außenhafen), Emmelsum und Lohrwardt vor. Die höchsten Belastungen sind in Wesel mit 12,8 mg/kg und insbesondere Lobith mit 17,3 mg/kg festzustellen.

Aus dem Deltagebiet konnte nur an der Haringvlietsluis die Summe der EPA-PAK gebildet werden. Mit 6,3 mg/kg ist die Belastung deutlich geringer als am unteren Niederrhein.

Abb. 3.6.30a: Summe der EPA-PAK im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

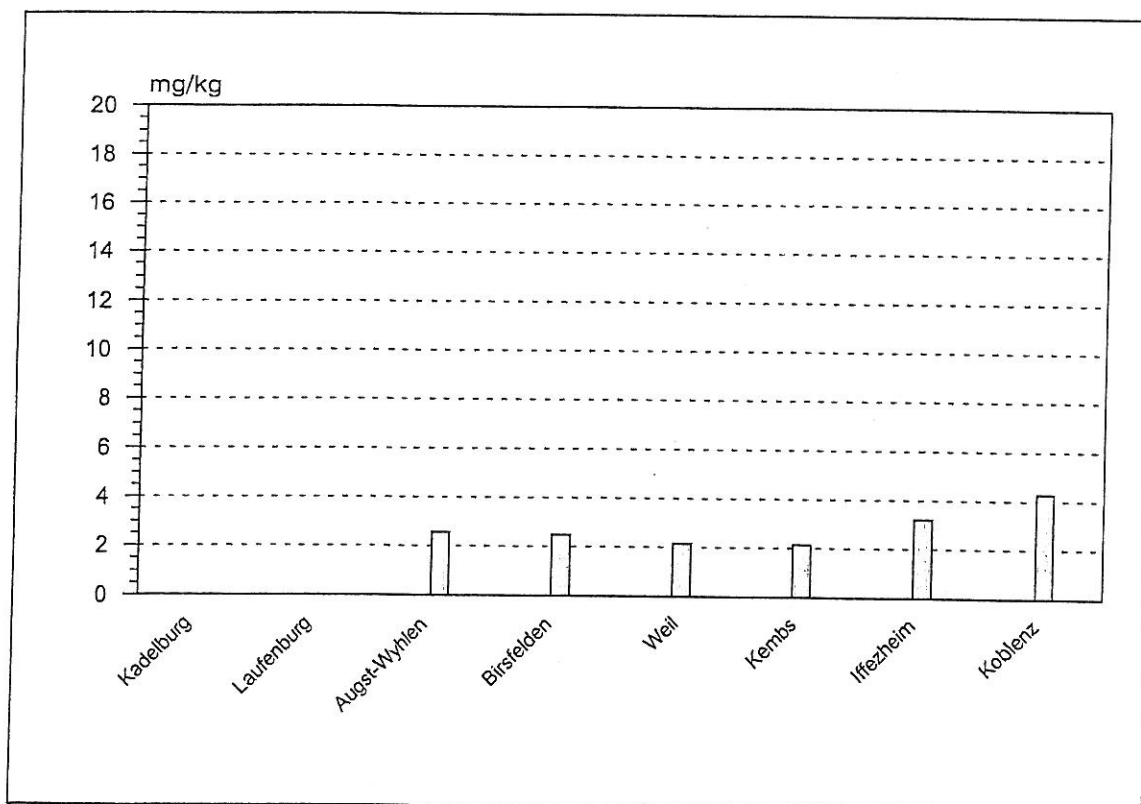


Abb. 3.6.30b: Summe der EPA-PAK im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

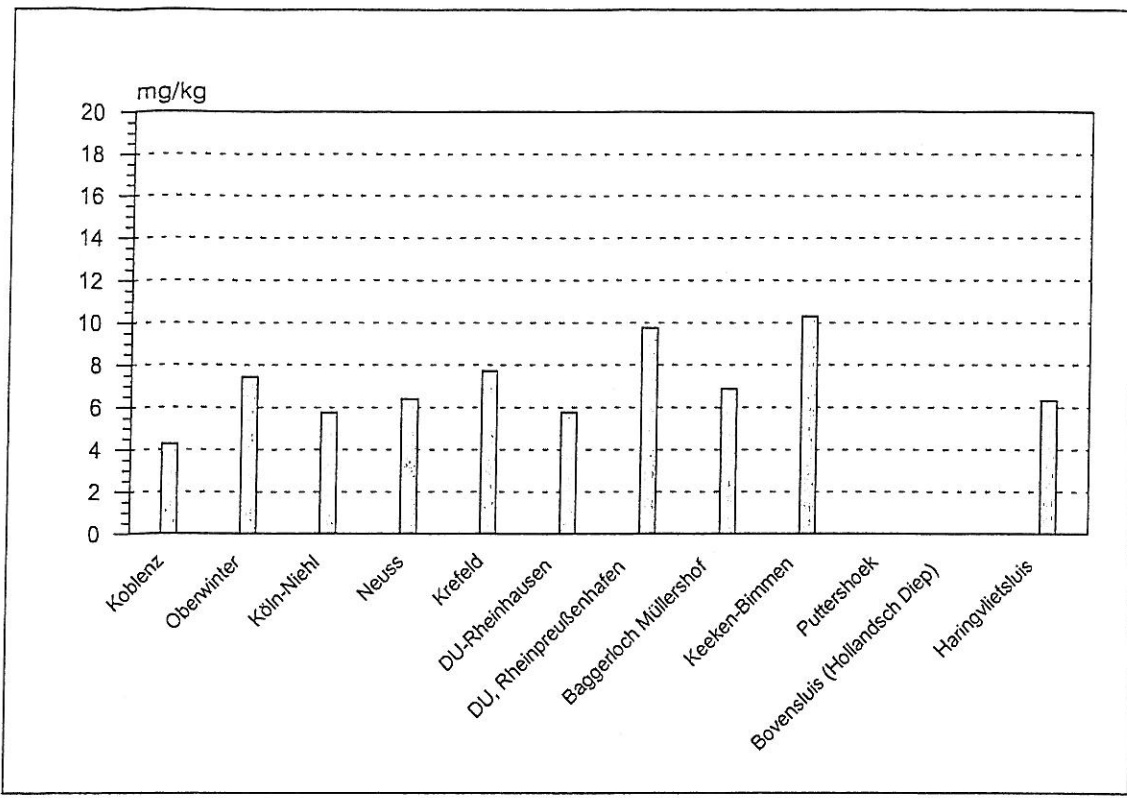
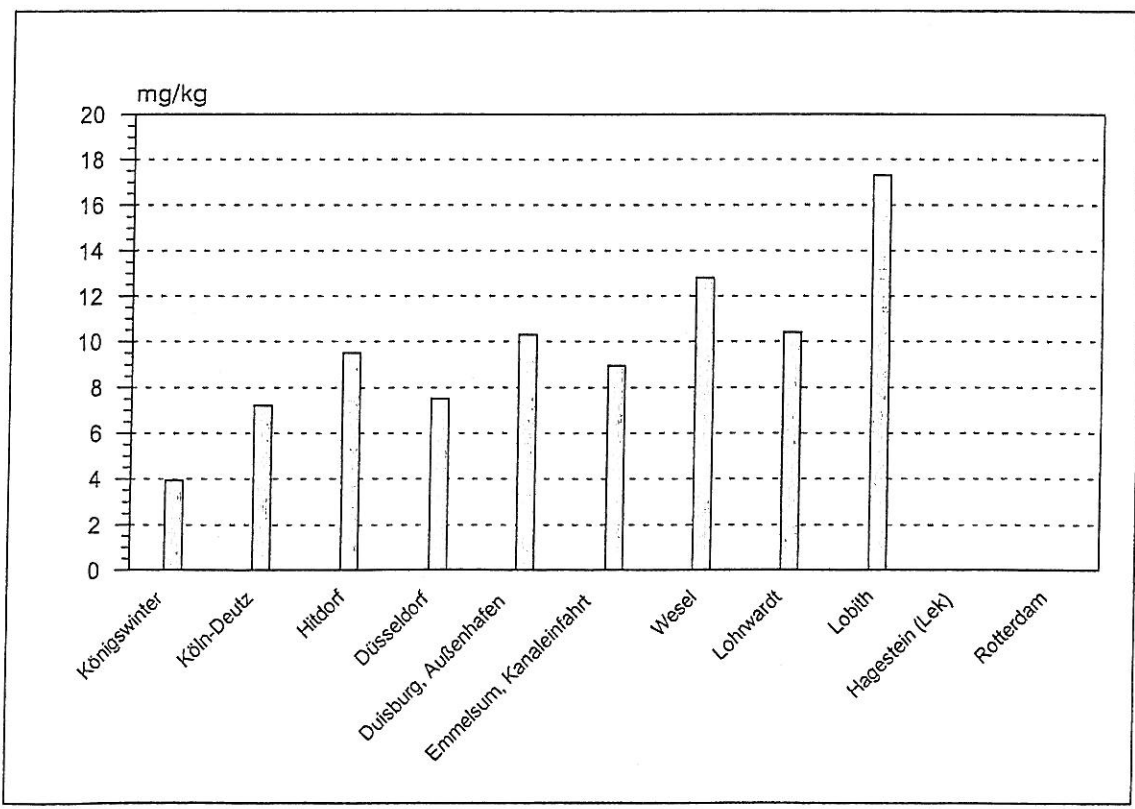


Abb. 3.6.30c: Summe der EPA-PAK im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



### 3.6.5 Organische Zinnverbindungen

Von Kadelburg am Hochrhein bis zu den Meßstellen Köln-Niehl bzw. Hitdorf am Niederrhein sind die Sedimente des Rheins unbelastet mit Dibutylzinnverbindungen. Mit Ausnahme des Belastungsschwerpunktes am Duisburger Rheinpreußenhafen (13 µg/kg bezogen auf Zinn) steigen die Dibutylzinngelhalte ab Neuss von 2,4 µg/kg auf 6,6 µg/kg in Keeken-Bimmen. Das südliche Delta ist mit Werten um 2,5 µg/kg im Hollandsch Diep und an der Haringvlietsluis vergleichsweise gering belastet.

Rechtsrheinisch ist dagegen der gesamte Bereich oberhalb der Ruhrmündung am Duisburger Außenhafen bis unterhalb der Lippemündung in Wesel mit 12 bzw. 10 µg/kg höher belastet. Im weiteren Verlauf bis ins nördliche Delta bei Rotterdam liegen die Dibutylzinngelhalte bei 6 µg/kg.

Abb. 3.6.31a: Dibutylzinn im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

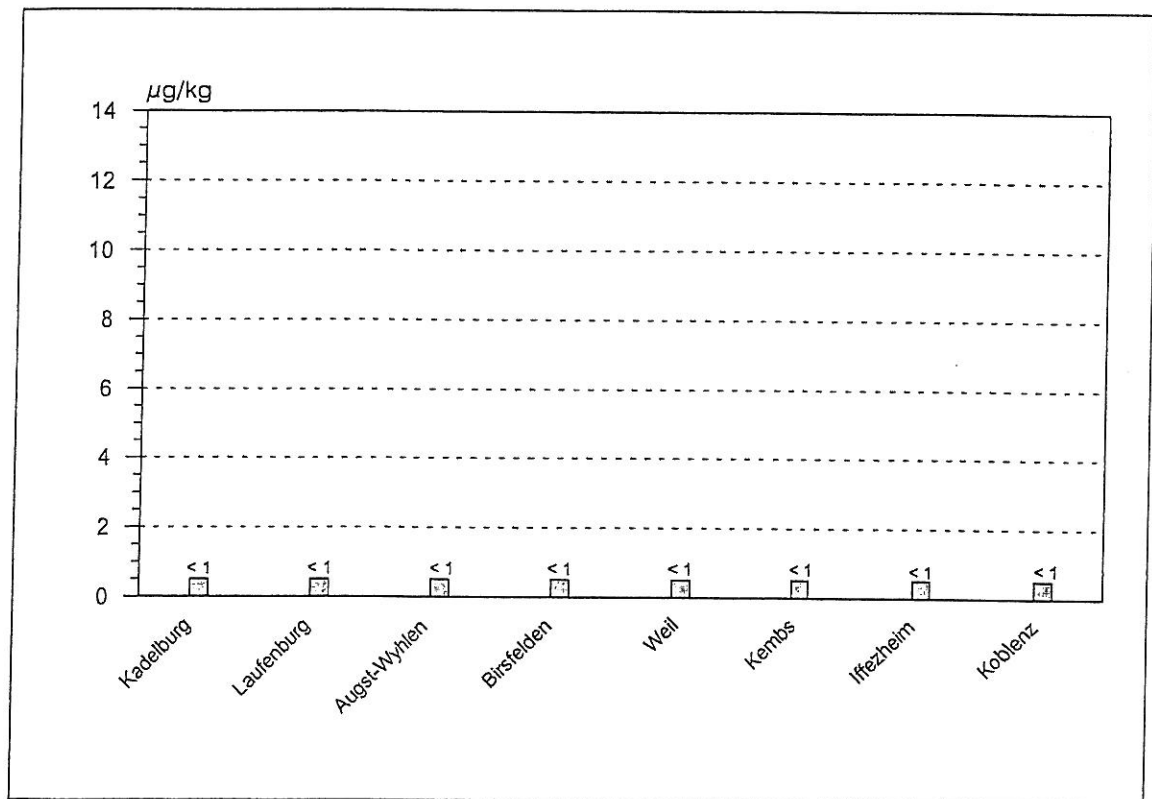


Abb. 3.6.31b: Dibutylzinn im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

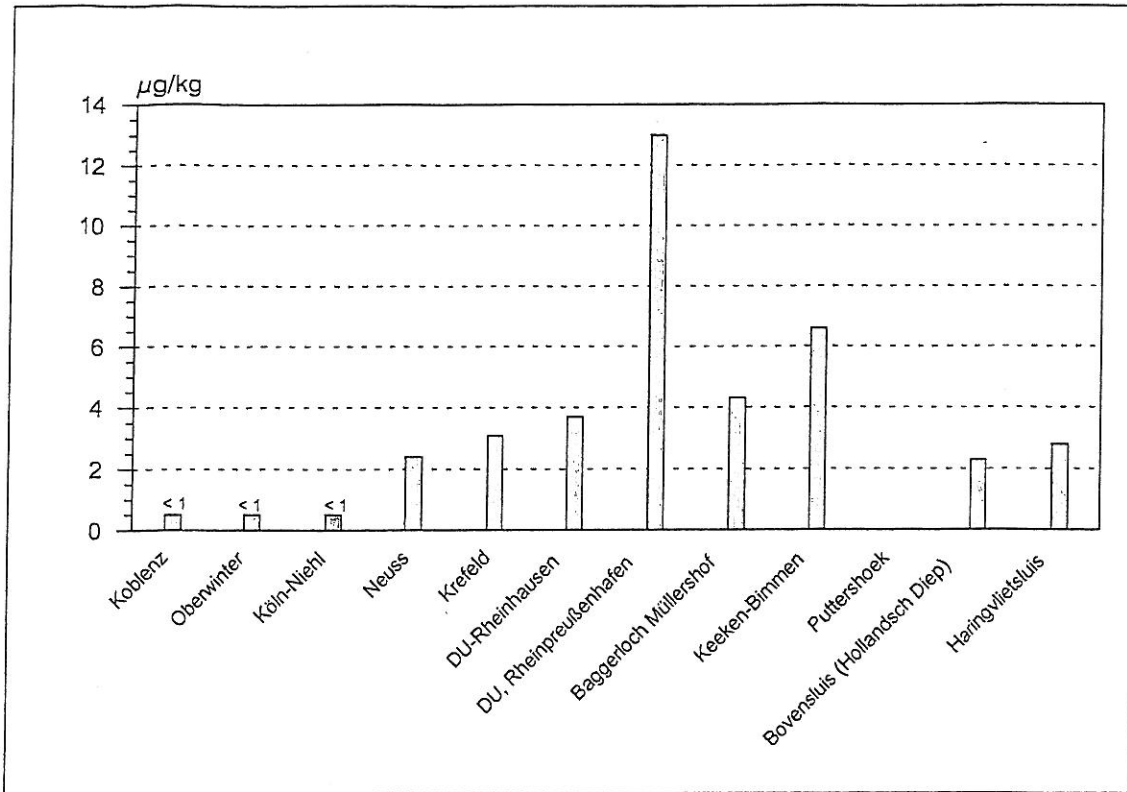
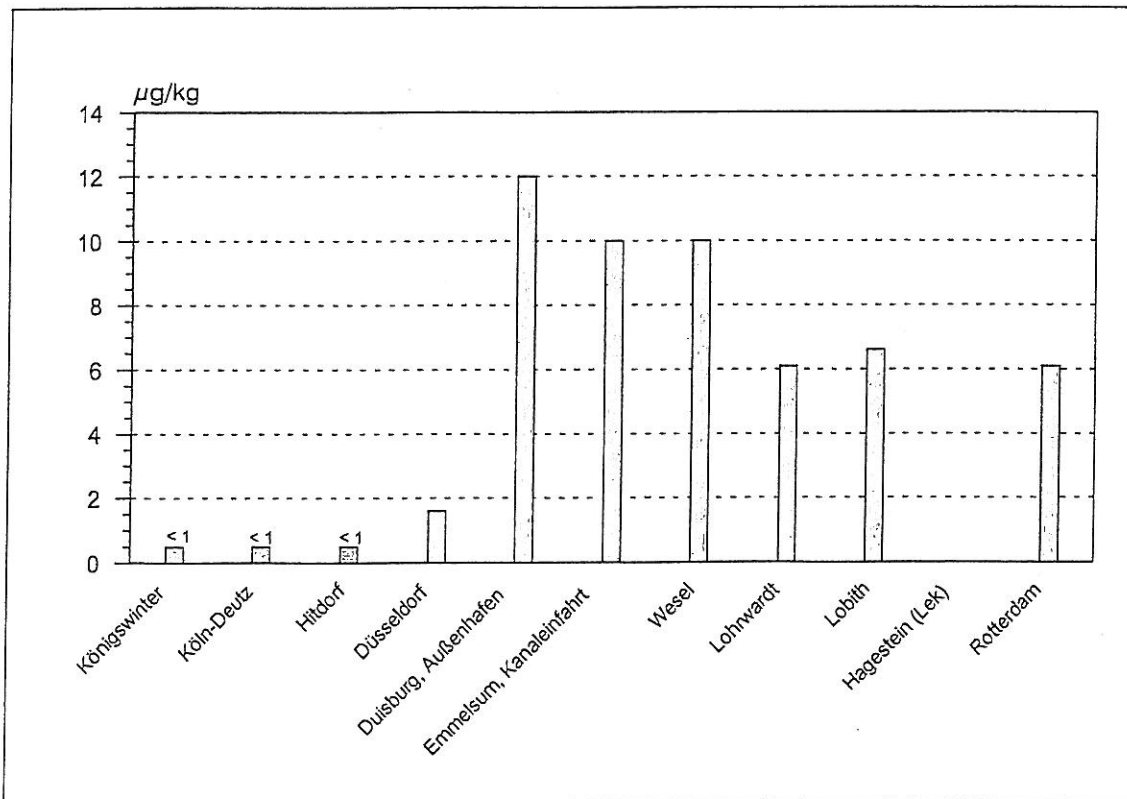


Abb. 3.6.31c: Dibutylzinn im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



Bereits in Kadelburg ist der Rhein bedingt durch Einträge aus dem Bodensee - wenn auch gering - mit den in Antifouling-Farben verwendeten Tributylzinnverbindungen belastet. Im weiteren Verlauf steigen die Tributylzinngehalte kontinuierlich an und erreichen in Koblenz mit 41  $\mu\text{g}/\text{kg}$  einen ersten Belastungsschwerpunkt. Bis Köln tritt an beiden Ufern ein Rückgang der Belastung auf 13  $\mu\text{g}/\text{kg}$  ein. Am Sporthafen in Neuss folgt linksrheinisch ein weiterer Belastungsschwerpunkt mit einem Tributylzinngehalt von 65  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . Über Krefeld mit 38  $\mu\text{g}/\text{kg}$  nimmt die Belastung auf Werte unter 10  $\mu\text{g}/\text{kg}$  am unteren Niederrhein ab, bevor im südlichen Delta mit 68  $\mu\text{g}/\text{kg}$  an der Haringvlietsluis das Maximum der Tributylzinnbelastung erreicht wird.

Am rechten Niederrheinufer treten im Bereich Hitdorf (28  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) bis zum Duisburger Außenhafen (45  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) sowie in Wesel mit 25  $\mu\text{g}/\text{kg}$  erhöhte Tributylzinngehalte auf, an den übrigen Meßstellen liegen die Gehalte bei etwa 10  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . Die Meßstelle Rotterdam im nördlichen Delta weist mit 50  $\mu\text{g}/\text{kg}$  ebenso wie die Haringvlietsluis im südlichen Delta die höchste Tributylzinnbelastung auf.

Abb. 3.6.32a: Tributylzinn im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

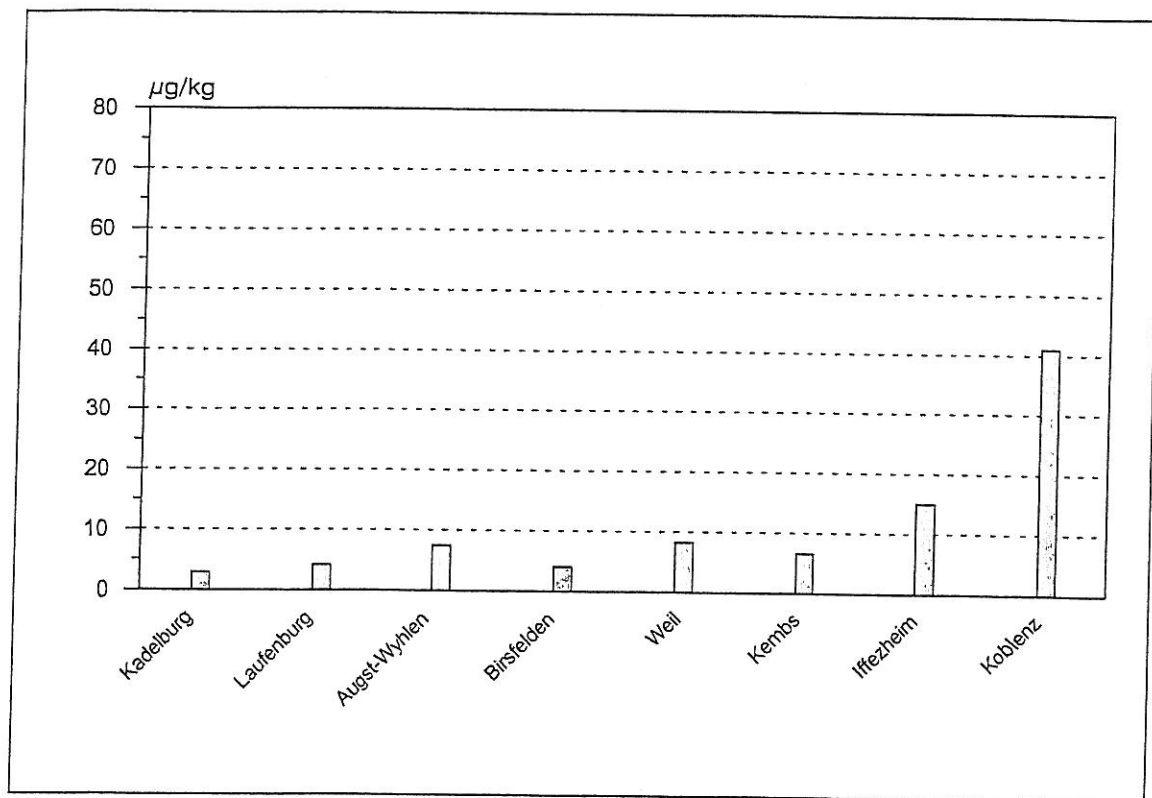


Abb. 3.6.32b: Tributylzinn im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

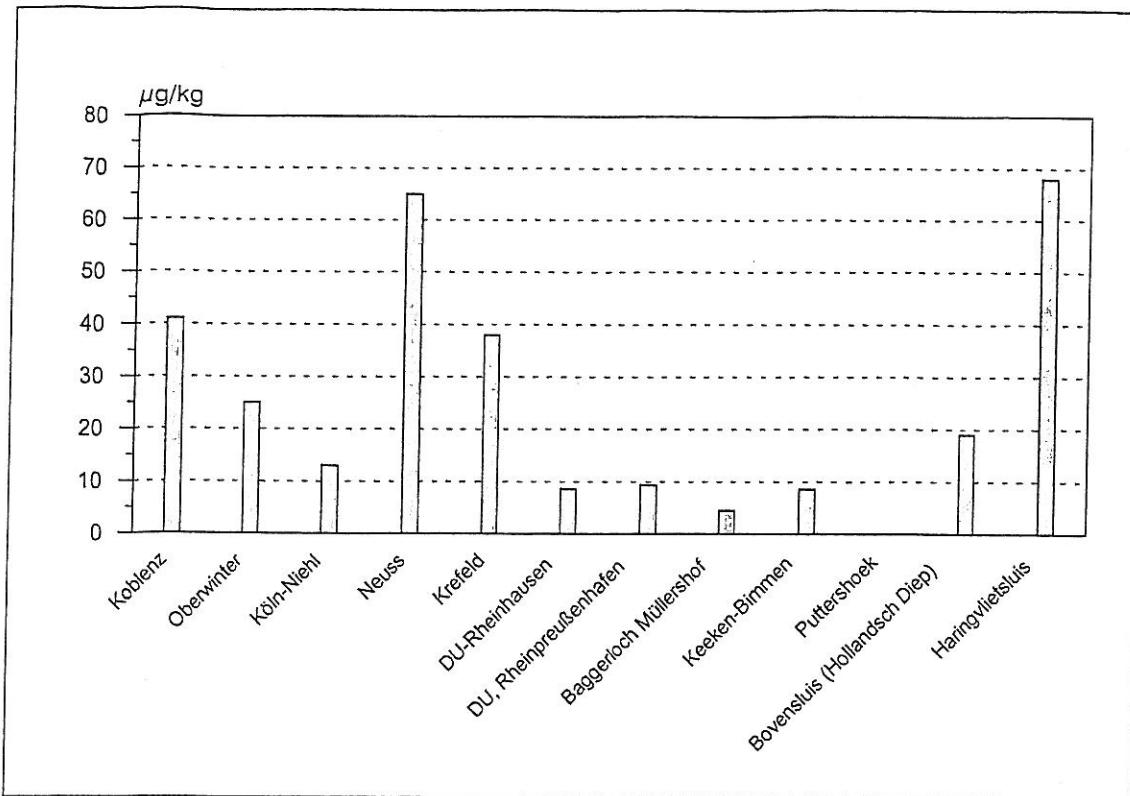
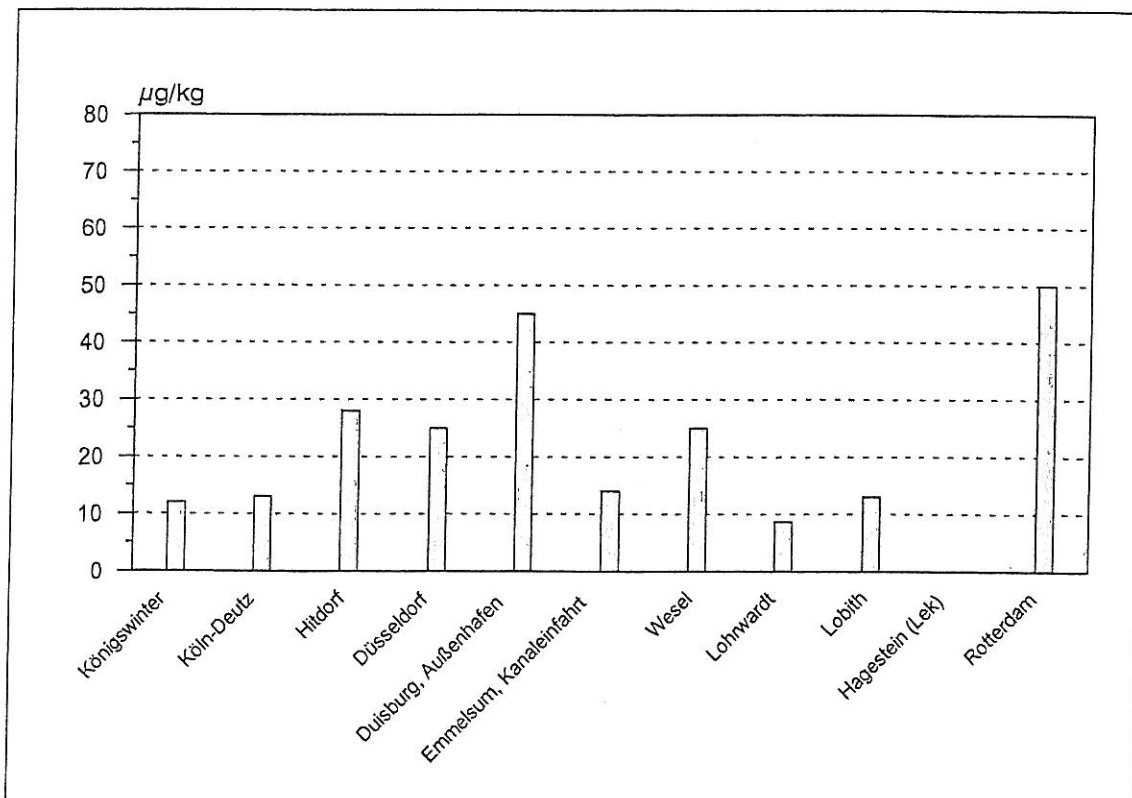


Abb. 3.6.32c: Tributylzinn im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer





Bei den Diocetylzinnverbindungen sind die Meßstellen von Kadelburg am Hochrhein bis Kembs am Oberrhein ebenso unbelastet wie die Meßstelle Oberwinter am rechten Mittelrheinufer. Die Ersten meßbaren Konzentrationen mit über 3 µg/kg treten in Iffezheim und Koblenz auf. Während am linken Ufer nur in Köln ein erhöhter Diocetylzinngehalt vorzufinden ist, erstreckt sich der Bereich erhöhter Belastung am rechten Ufer von Königswinter bis Düsseldorf, wo auch mit 10 µg/kg das Maximum erreicht wird. Mit Ausnahme der Meßstelle Wesel geht die Belastung im weiteren Verlauf des Niederrheins an beiden Ufern wieder auf das Niveau des Abschnitts Iffezheim bis Koblenz zurück.

Im Gegensatz zum nördlichen Delta bei Rotterdam mit 2,7 µg/kg steigt der Diocetylzinngehalt im südlichen Delta auf 5,8 µg/kg an der Haringvlietsluis an.

Abb. 3.6.33a: Diocetylzinn im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

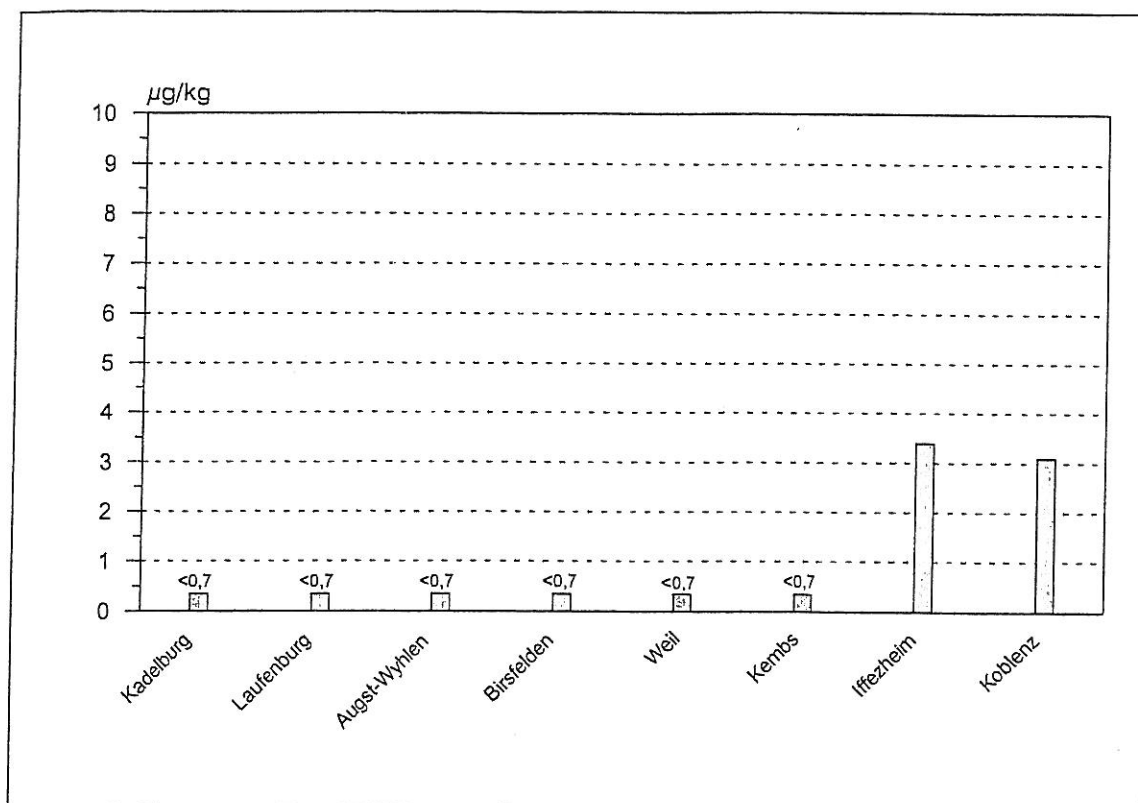


Abb. 3.6.33b: Dioctylzinn im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

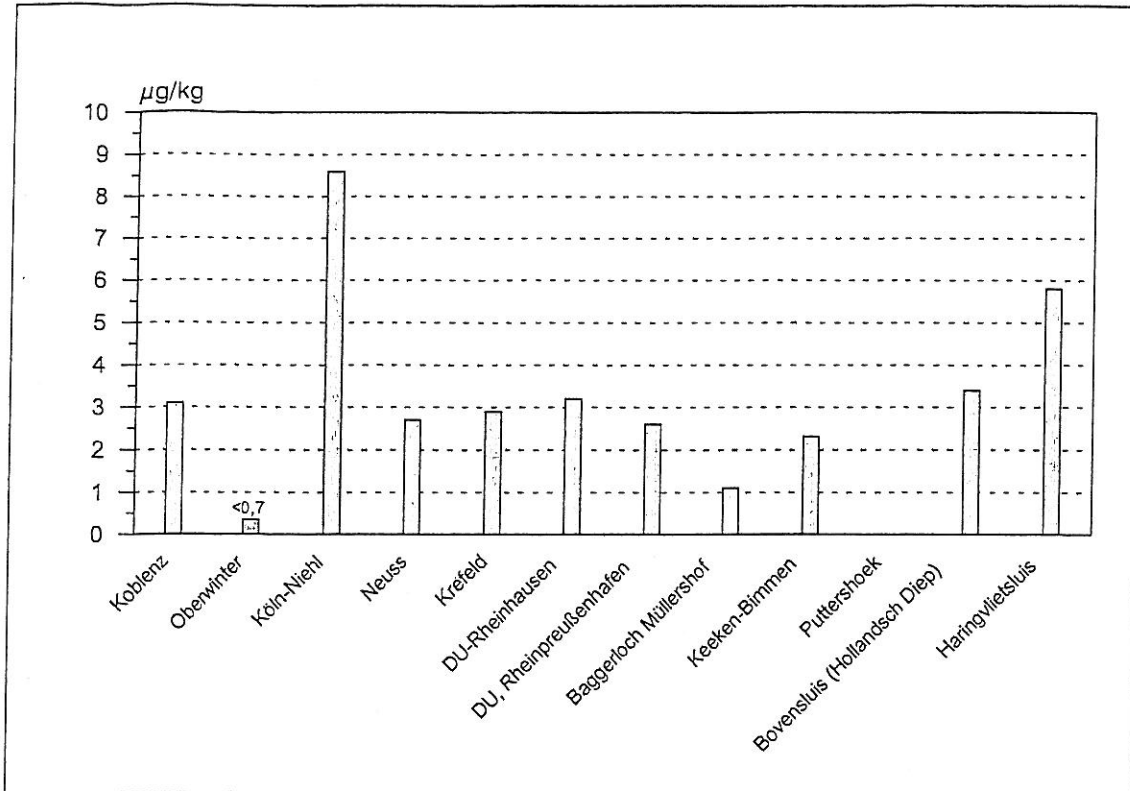
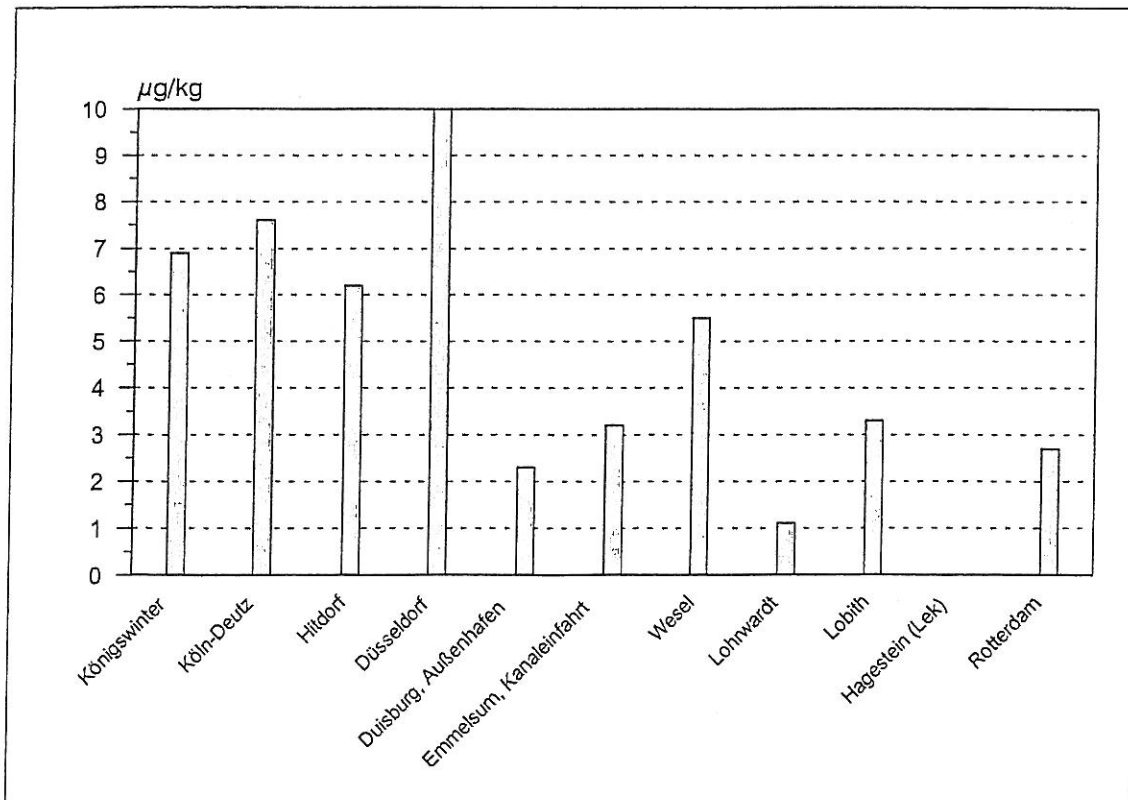


Abb. 3.6.33c: Dioctylzinn im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



Einen völlig anderen Verlauf als die bisher betrachteten organischen Zinnverbindungen zeigen die Triphenylzinnverbindungen. Hier treten bereits - ausgehend von Kadelburg mit  $0,8 \mu\text{g/kg}$  - am Hochrhein Konzentrationen um  $3 \mu\text{g/kg}$  auf, die sich über den Oberrhein und Koblenz bis Köln erstrecken, wobei in Weil mit  $4,7 \mu\text{g/kg}$  und Königwinter mit  $5,8 \mu\text{g/kg}$  etwas höhere Werte vorliegen. Nachdem unterhalb von Köln mit  $14 \mu\text{g/kg}$  in Hitdorf und  $17 \mu\text{g/kg}$  in Neuss ein erster Belastungsschwerpunkt vorzufinden ist, kann der gesamte untere Niederrheinabschnitt als unbelastet angesehen werden.

Während die Meßstellen Bovensluis im südlichen und Rotterdam im nördlichen Delta nur eine geringe Belastung aufweisen, muß an der Haringvlietsluis mit  $18 \mu\text{g/kg}$  die höchste Konzentration an Triphenylzinnverbindungen registriert werden.

Abb. 3.6.34a: Triphenylzinn im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

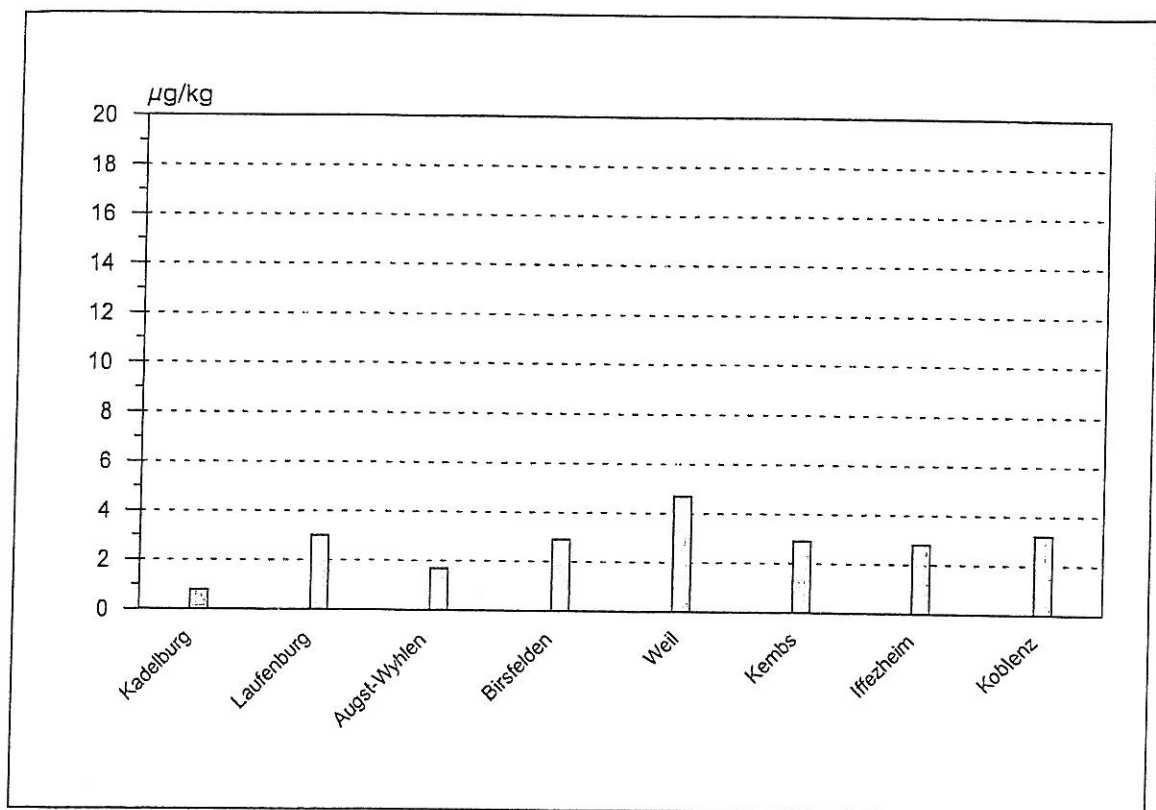


Abb. 3.6.34b: Triphenylzinn im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

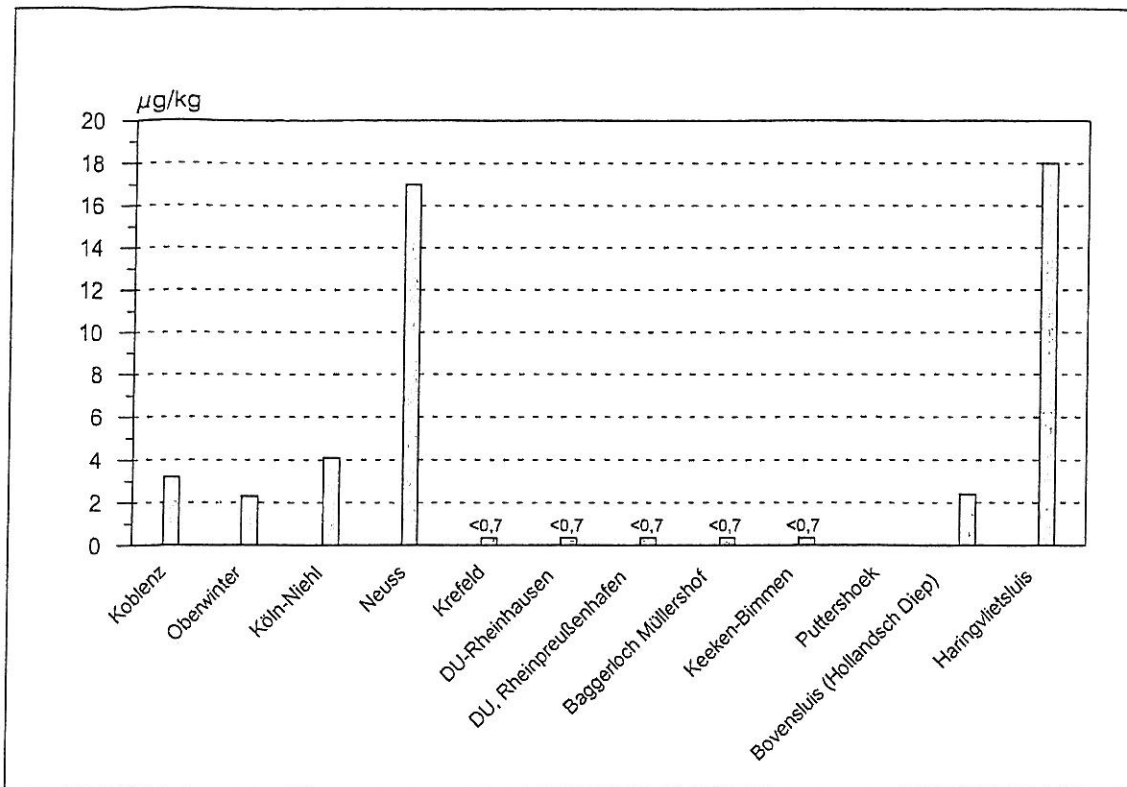
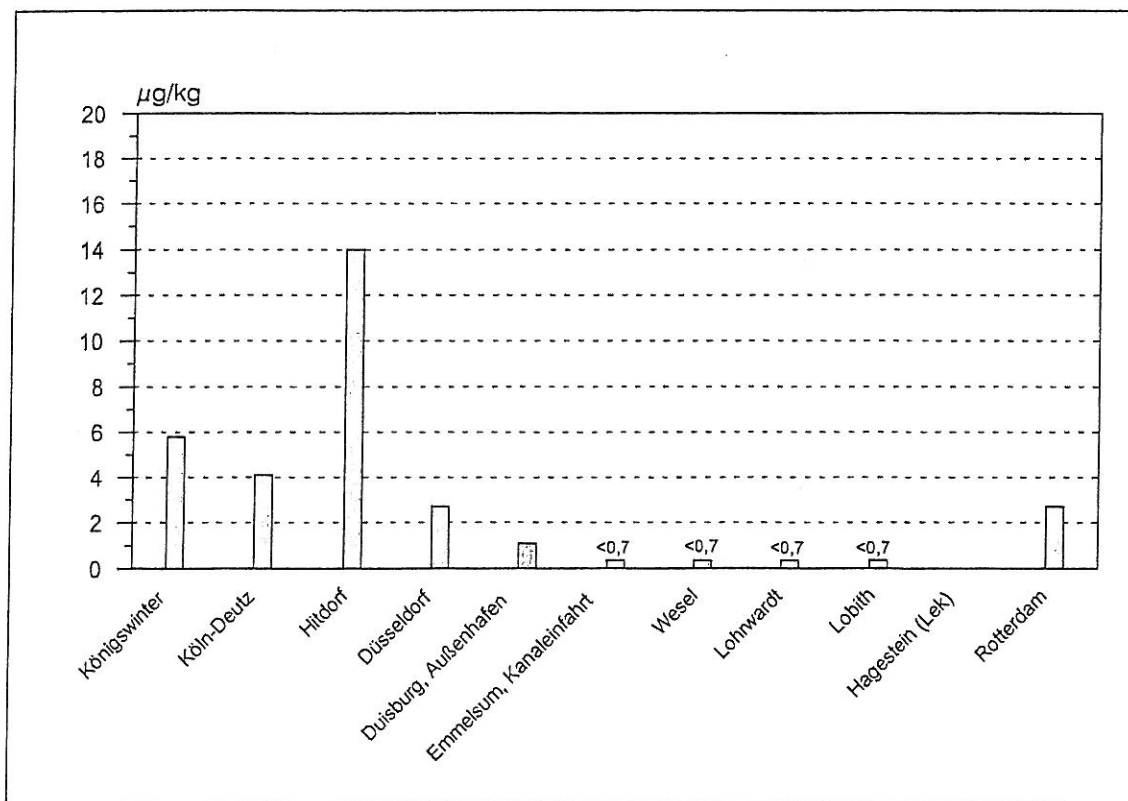


Abb. 3.6.34c: Triphenylzinn im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



### 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 analytischen Bestimmungsgrenze oder geringfügig darüber liegen.

Die Komponenten der DDT-Gruppe wurden außer an den internationalen Meßstellen nur noch in Kadelburg, Laufenburg und Kembs untersucht. Diese Meßstellen können als praktisch unbelastet angesehen werden.

Von den Hexachlorcyclohexan-Isomeren (HCH) wurde  $\alpha$ -HCH nur in Lobith mit 2  $\mu\text{g}/\text{kg}$  nachgewiesen, an allen anderen Meßstellen lagen die Konzentrationen unter der analytischen Bestimmungsgrenze von 1  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . Beim  $\beta$ -HCH wiesen zwei Meßstellen am linken Niederrheinufer erhöhte Gehalte auf, und zwar Köln-Niehl mit 35  $\mu\text{g}/\text{kg}$  und Duisburg-Rheinhausen mit 20  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . Geringe Konzentrationen waren auch in Iffezheim, Koblenz, Oberwinter, Königswinter, Hitdorf und Lohrwardt festzustellen, alle anderen Meßstellen waren unbelastet.  $\gamma$ -HCH (Lindan) konnte nur in Düsseldorf mit 1  $\mu\text{g}/\text{kg}$  nachgewiesen werden. Ähnliches gilt für  $\delta$ -HCH, das nur an den Meßstellen Köln-Niehl, Neuss und Krefeld in geringen Konzentrationen auftrat. Neben den internationalen Meßstellen wurde  $\epsilon$ -HCH nur noch in Kadelburg und Laufenburg untersucht, wo keine Belastung festgestellt werden konnte.

Die Palette der Drine und weiterer hochchlorierter Biozide kam nur an den Meßstellen Laufenburg, Lobith und Keeken-Bimmen vor. Dabei lagen die Gehalte der nachgewiesenen Stoffe Dieldrin, Isodrin, Endrin und Telodrin nur geringfügig über der analytischen Bestimmungsgrenze von 1  $\mu\text{g}/\text{kg}$ .

Die in den 80er Jahren als PCB-Ersatzstoff im Steinkohlebergbau eingesetzten Tetrachlorbenzyltoluole (TCBT) wurden an den meisten Meßstellen in geringen Konzentrationen nachgewiesen. Etwas höhere Gehalte von 15 bis 35  $\mu\text{g}/\text{kg}$  als Summe der 6 untersuchten Isomere ergaben sich vor allem an den durch Sumpfungswasser beeinflussten niederrheinischen Meßstellen Emmelsum, Wesel und Lobith, aber auch in Laufenburg am Hochrhein sowie im südlichen Delta an der Haringvlietsluis. Die Meßstellen Kadelburg, Augst-Wyhlen, Kembs, Königswinter und Baggerloch am Müllershof waren dagegen unbelastet.

Octachlorstyrol war in Laufenburg am Hochrhein sowie an den meisten Meßstellen ab Iffezheim in geringen Konzentrationen nachzuweisen. Der höchste Gehalt wurde mit 3,6  $\mu\text{g}/\text{kg}$  in Hitdorf festgestellt.

An den Meßstellen des Hoch- und Oberrheins wird 2,4-Dichlortoluol nur in Laufenburg und Weil mit Gehalten um 3 µg/kg nachgewiesen. Während der 2,4-Dichlortoluolgehalt in Koblenz 4,6 µg/kg beträgt, schwanken die Gehalte im weiteren Verlauf bis Keeken-Bimmen zwischen 1,2 und 3,4 µg/kg. Am rechten Ufer zeigen sich dagegen zwei Belastungsschwerpunkte mit einem Maximalgehalt von 18 µg/kg in Hitdorf und 15 µg/kg in Lobith. Mit Ausnahme der Kanaleinfahrt bei Emmelsum (5,7 µg/kg) bewegen sich die Gehalte an den anderen Meßstellen des rechten Mittel- und Niederrheinufer um 2 µg/kg. Ein weiterer Belastungsschwerpunkt ist mit 12 µg/kg an der Haringvlietsluis im südlichen Delta gegeben.

Abb. 3.6.35a: 2,4-Dichlortoluol im Rheinabschnitt Hochrhein bis Koblenz

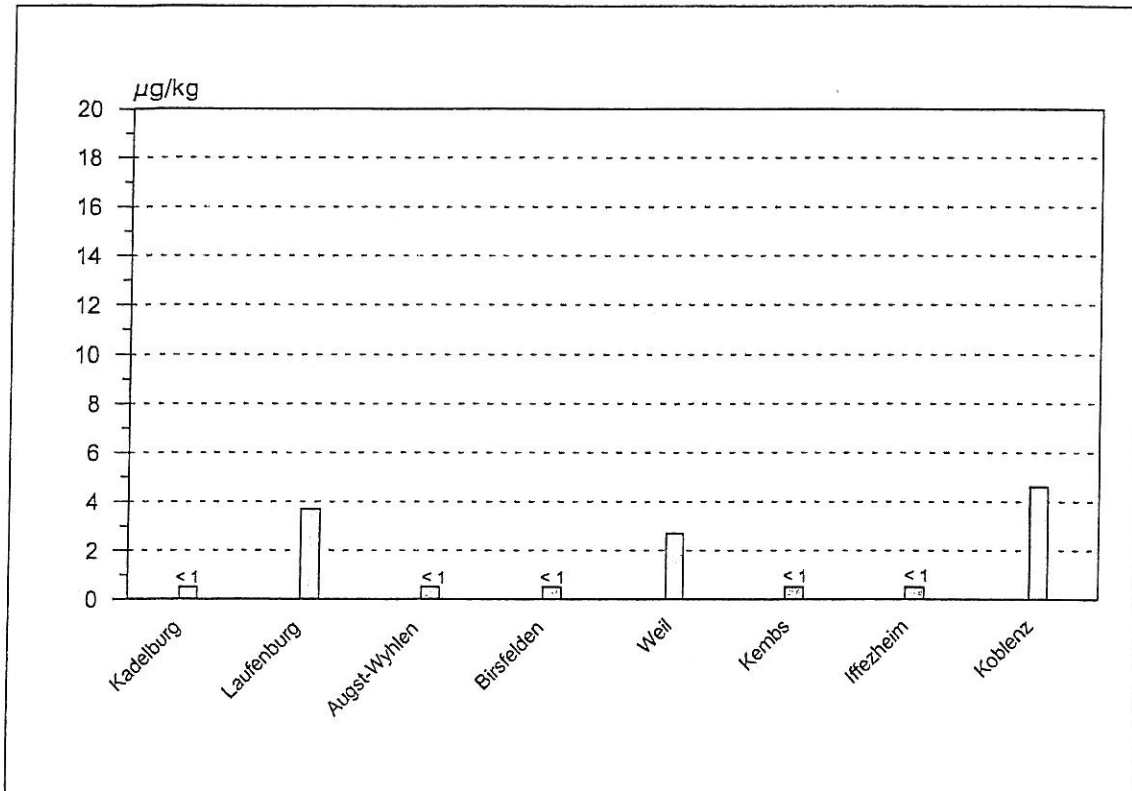


Abb. 3.6.35b: 2,4-Dichlortoluol im Rheinabschnitt Koblenz bis Delta, linkes Ufer

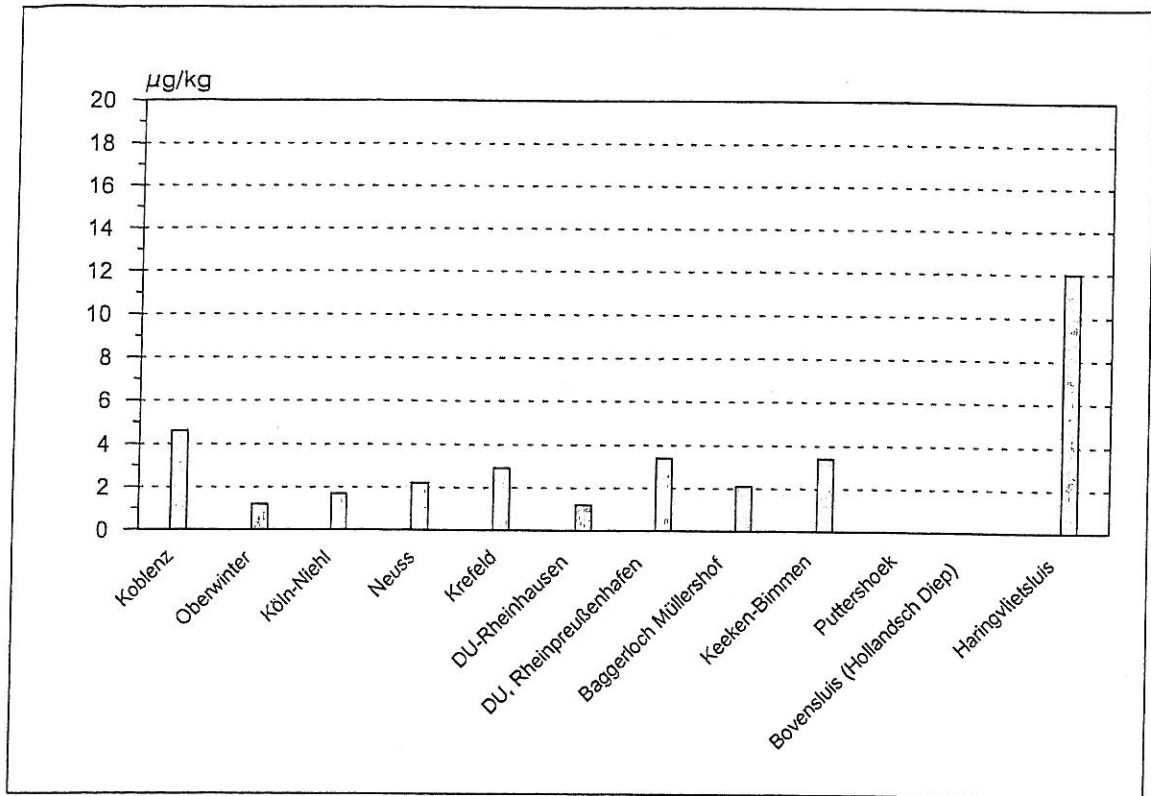
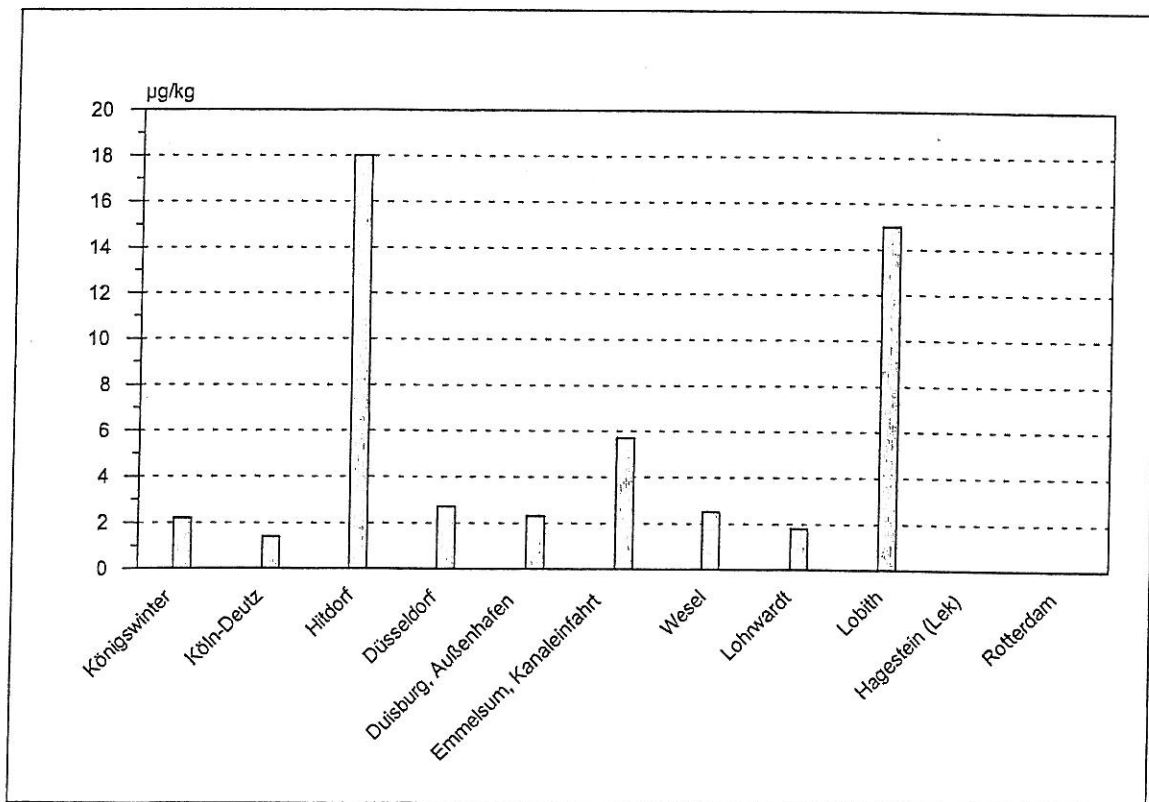


Abb. 3.6.35c: 2,4-Dichlortoluol im Rheinabschnitt Königswinter bis Rotterdam, rechtes Ufer



#### 4. Zusammenfassung

Dieses Kapitel enthält die wichtigsten Ergebnisse des nationalen Sedimentmeßprogramms 1995, wobei zur besseren Übersicht auch die Ergebnisse des internationalen Untersuchungsprogramms mit eingebunden sind. Die Schwermetalle und Arsen wurden in der  $< 20 \mu\text{m}$ -Fraktion untersucht, um mögliche Belastungen auch bei hohem Anteil an grobkörnigem Material erkennen zu können, alle anderen Untersuchungen erfolgten in der Gesamtprobe ( $< 2000 \mu\text{m}$ ).

Im Gegensatz zur Bestandsaufnahme 1990 wurden die Probenahmen an den nationalen Meßstellen zeitgleich mit dem internationalen Sedimentmeßprogramm durchgeführt, so daß die Ergebnisse sehr gut miteinander verglichen werden können. Zusätzlich haben die deutschen Bundesländer Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz die Ergebnisse ihrer Sedimentuntersuchungen zur Verfügung gestellt.

#### Hydrologie

An den Probenahmetagen im September 1995 lag der Abfluß am Pegel Lobith bei  $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ ; 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. Abstriche müssen lediglich bei den baden-württembergischen Proben gemacht werden, die im November 1995 bei ansteigenden Wasserständen entnommen wurden und somit erhöhte ältere Anteile aufweisen können.

#### *Altersabschätzung und Qualitätssicherung*

Fast alle Proben der nationalen Meßstellen enthielten frisches Sediment mit geringen Gewässerbodenanteilen und sind daher gut mit den internationalen Untersuchungen vergleichbar. Lediglich die Meßstellen Hagestein und Puttershoek im Delta wiesen hohe Gewässerbodenanteile auf, während die Meßstelle Rotterdamse Hoek im IJsselmeer aufgrund des hohen Cäsium-137-Gehaltes dem Rheinsediment Ende der 80er Jahre zuzuordnen ist.

#### *Korngrößenverteilung*

Die Korngrößenverteilung zeigt an den meisten Meßstellen einen sehr gleichförmigen Verlauf, mit  $< 20 \mu\text{m}$ -Anteilen von 40 bis 50% im Abschnitt Hochrhein bis Koblenz sowie am linken Niederrheinufer und 50 bis 60 % am rechten Niederrheinufer. An den Meßstellen Kadelburg am Hochrhein und Kembs am Oberrhein beträgt der Anteil der  $< 20 \mu\text{m}$ -Fraktion nur 30 %, die Meßstellen Köln-Niehl und Krefeld mit 60 % und Haringvlietsluis mit 72 % weisen dagegen den höchsten Feinschluffanteil auf.

An den meisten Meßstellen lag mit 70 bis 80 % Anteil der  $< 63 \mu\text{m}$ -Fraktion ein hoher Feinkornanteil vor. Bei einigen Meßstellen betrug dieser Anteil sogar 85 - 95 %. Lediglich die Meßstellen Kadelburg, Kembs, Lohrwardt und Keeken-Bimmen hatten einen Feinkornanteil von unter 70 %. Die letztgenannte Meßstelle wies mit 23 % auch den höchsten Grobsandanteil ( $> 630 \mu\text{m}$ ) auf, während dieser bei allen anderen Meßstellen deutlich unter 10 % lag.



## Allgemeine Meßgrößen

Die TOC-Gehalte liegen an den obersten Meßstellen des Hochrheins, Kadelburg und Laufenburg unter 2 %, bewegen sich im weiteren Verlauf bis Koblenz um 2,5 % und im nordrhein-westfälischen Rheinabschnitt um 3 %. Ausnahmen bilden die von der Lippe beeinflussten Meßstellen Wesel und Lobith an der deutsch-niederländischen Grenze mit TOC-Gehalten von deutlich über 4%. Im Delta liegen mit 1,3 % bei Puttershoek und etwa 2 % in Hagestein an der Lek sehr niedrige TOC-Gehalte vor, die weiteren Meßstellen im Delta weisen Gehalte um 3,5 % auf.

Die EOX-Gehalte zeigen im Verlauf des Rheins starke Schwankungen. Der Hochrhein weist Gehalte zwischen 0,2 und 0,5 mg/kg auf, im Oberrhein bewegen sie sich zwischen < 0,1 mg/kg in Weil und 0,8 mg/kg in Iffezheim, am linken Niederrheinufer von 0,2 bis 0,8 mg/kg, während am rechten Ufer mit 1,5 mg/kg in Hitdorf ein ausgesprochener Belastungsschwerpunkt vorliegt. Untersuchungen des LUA ergaben mit 0,8 mg/kg im Jahr 1993 an dieser Meßstelle noch eine deutlich niedrigere Belastung, an den Meßstellen Düsseldorf und Duisburg Außenhafen mit 1,3 bzw. 1,4 mg/kg höhere EOX-Gehalte als 1995.

## Stickstoff und Phosphor

Die Stickstoffgehalte (gesamt) verändern sich im Längsprofil nur wenig. Am Hochrhein liegen sie bei 2 g/kg, am Niederrhein bei 3 g/kg. Ausnahme ist die Meßstelle Wesel mit einem Stickstoffgehalt von 4 g/kg.

Beim Phosphor liegen die Gehalte am Hoch- und Oberrhein unter 1 g/kg und bewegen sich ab Koblenz um 1,5 g/kg. Einige Meßstellen weisen jedoch auch Phosphorgehalte von über 2 g/kg auf. Hierzu zählen die Meßstellen Neuss und Lobith am Niederrhein sowie Bovensluis und Haringvlietsluis im südlichen Delta.

## Schwermetalle und Arsen

Während die Schwermetallgehalte am Hochrhein meist im Backgroundbereich liegen, gibt es am Niederrhein vorwiegend an der rechten Uferseite und im Deltagebiet einige Belastungsschwerpunkte mit deutlichen Zielvorgabenüberschreitungen. Beim Cadmium betrifft dies den Duisburger Außenhafen und Lobith am rechten Niederrheinufer, im Delta vor allem die im Süden gelegenen Meßstellen Bovensluis im Hollandsch Diep und Haringvlietsluis. Chrom überschreitet nur am Duisburger Außenhafen die Zielvorgabe deutlich, für Kupfer ist dies zusätzlich in Lobith der Fall. Die Nickelgehalte liegen bei geringen Schwankungen an allen Meßstellen im Bereich der Zielvorgabe. An den Meßstellen Hitdorf und Lobith am rechten Niederrhein sowie im gesamten Deltagebiet liegt eine deutliche Quecksilberbelastung vor. Zink ist das Schwermetall mit den meisten Zielvorgabenüberschreitungen. Bereits an der Meßstelle Brohl am Mittelrhein ist die erste Überschreitung zu verzeichnen. Des Weiteren ist dies an vielen Meßstellen des Niederrheins - an beiden Ufern - der Fall und erstreckt sich in den gesamten Deltabereich, wobei wie bei Cadmium, Chrom und Kupfer der Duisburger Außenhafen die höchste Belastung aufweist. Aufgrund des starken Rückgangs in den letzten Jahren liegen die Bleigehalte an allen Meßstellen des Mittel- und Niederrheins sowie im Delta im Bereich der Zielvorgabe. Die Arsengehalte unterliegen im Längsprofil des Rheins nur geringen Schwankungen. Sie steigen von etwa 10 mg/kg am Hochrhein über 15 mg/kg am Ober- und Mittelrhein auf Werte um 20 mg/kg am Niederrhein. An der deutsch-niederländischen Grenze sowie im Delta liegen die Arsengehalte zwischen 20 und 30 mg/kg und damit im Bereich der Zielvorgabe.

## 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. Organochlorpestizide und deren Begleitstoffe bzw. Metabolite konnten dagegen nur ganz vereinzelt an wenigen Meßstellen in nennenswerten Konzentrationen nachgewiesen werden.

Die Meßstelle Kadelburg am Hochrhein, oberhalb der Aare-Einmündung gelegen, weist praktisch keine Belastung mit organischen Chlorverbindungen auf. Im weiteren Verlauf des Hochrheins zeigen sich bereits wenn auch geringe Belastungen mit Dichlorbenzolen, die im Oberrhein deutlich zunehmen. Am linken Ufer verbleiben die Gehalte bis zur deutsch-niederländischen Grenze auf diesem Niveau, während am rechten Niederrheinufer einige Belastungsschwerpunkte auftreten. Betroffen hiervon sind die Meßstellen Hitdorf, Emmelsum Kanaleinfahrt und insbesondere Lobith, wo die Dichlorbenzolgehhalte weit über 100 µg/kg liegen. Ebenfalls deutlich höher belastet als der linke Niederrhein ist das Delta mit Gehalten bis zu 100 µg/kg (1,4-Dichlorbenzol) an der Haringvlietsluis.

Ganz ähnlich ist der Verlauf bei den 1,2,4- und 1,3,5-Isomeren des Trichlorbenzols. Die höchsten Gehalte sind wiederum in Hitdorf, bei Emmelsum, im Delta sowie das Maximum mit einem 1,2,4-Trichlorbenzol-Gehalt von 80 µg/kg in Lobith zu finden. Das 1,2,3-Isomere spielt dagegen nur eine untergeordnete Rolle.

Während bei den 1,2,3,4- und 1,2,3,5-Isomeren des Tetrachlorbenzols die Gehalte im gesamten Längsprofil des Rheins im Bereich der analytischen Bestimmungsgrenze von 1 µg/kg oder darunter liegen, tritt beim 1,2,4,5-Tetrachlorbenzol an der Meßstelle Kembs am Oberrhein mit einem Gehalt von 50 µg/kg eine Belastungsspitze auf. Mit Ausnahme von Lobith (16 µg/kg) weisen alle anderen Meßstellen Konzentrationen von deutlich unter 10 µg/kg auf.

Beim Hexachlorbenzol (HCB) liegt bereits in Augst-Wyhlen unterhalb von Rheinfeldern eine relativ hohe Belastung vor, die sich abgesehen von Birsfelden zunächst bis Weil erstreckt, um an den oberrheinischen Staustufen zwischen Kembs und Iffezheim mit Gehalten um 300 µg/kg ihre Höchstwerte zu erreichen. Unterhalb des Oberrheingrabens schwanken die Gehalte bis zur deutsch-niederländischen Grenze mehr oder weniger stark um 50 µg/kg, im Delta ist die Belastung bei Werten um 10 µg/kg dagegen eher als gering anzusehen.

Die polychlorierten Biphenyle (PCB) zeigen am Hochrhein und am Oberrhein bis Kembs eine geringe Belastung. Ab Iffezheim steigen die Gehalte als Summe der 6 Kongenere PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180 auf Werte um 50 µg/kg am linken Niederrheinufer und mit Ausnahme der mit 100 µg/kg höher belasteten Haringvlietsluis im Delta. Das rechte Niederrheinufer erweist sich hingegen wieder als Belastungsschwerpunkt, wobei die Maximalgehalte wie bei den meisten Schwermetallen am Duisburger Außenhafen (370 µg/kg) zu finden sind. Die Belastung ist an dieser Meßstelle hauptsächlich auf die hochchlorierten Kongenere zurückzuführen, während die beiden anderen hoch belasteten Meßstellen Hitdorf (205 µg/kg) und Lobith (155 µg/kg) ein relativ homogenes Verteilungsmuster aufweisen.

Am Hochrhein ist die Dioxinbelastung berechnet als internationale Toxizitätsäquivalente (ITEQ) gering. Der gesamte Abschnitt des Ober- und Mittelrheins weist Werte um 25 ng/kg auf, mit Ausnahme der geringer belasteten Meßstelle Oberwinter. Während dieses Niveau am linken Niederrheinufer bis oberhalb der Staatsgrenze erhalten bleibt, steigen die Dioxingehalte am rechten Ufer kontinuierlich auf einen Spitzenwert von 73 ng/kg in Lobith. In Keeken-Bimmen erreicht die Belastung mit 63 ng/kg eine ähnliche Größenordnung, die sich bis ins Delta erstreckt. Für Dioxine sind als einzige prioritären Stoffe keine Zielvorgaben abgeleitet worden. Der zur Orientierung herangezogene, in der Schweiz und in Deutschland für Sand auf Kinderspielflächen geltende, Grenzwert von 100 ng/kg wird jedoch an keiner der untersuchten Meßstellen überschritten.

Beim toxischsten Vertreter der Dioxine, dem 2,3,7,8-TCDD, liegen die Gehalte am Hochrhein durchweg unterhalb der jeweiligen analytischen Bestimmungsgrenze. Am Oberrhein nimmt die Belastung geringfügig auf 2 ng/kg zu und verbleibt bis Köln auf diesem Niveau. Während die Gehalte am linken Niederrheinufer nur leicht auf 4,6 ng/kg in Keeken Bimmen ansteigen, zeigen sich rechtsrheinisch mit knapp 10 ng/kg in Emmelsum und vor allem in Lobith mit 24 ng/kg zwei Belastungsspitzen. Im Delta erfolgt eine weitere Zunahme der 2,3,7,8-TCDD-Konzentrationen auf über 10 ng/kg im südlichen Bereich und 28 ng/kg in Rotterdam. Dort liegt die höchste Belastung im gesamten Rheineinzugsgebiet vor, die zum großen Teil aus der bereits in Lobith messbaren Vorbelastung resultiert.

Die Summe der 6 Borneff-PAK ergibt mit Werten zwischen 1 und 2 mg/kg am Hoch- und Oberrhein eine geringe Belastung. In Koblenz und Königswinter übersteigen die Gehalte erstmals 2 mg/kg und im weiteren Verlauf erfolgt unter mehr oder weniger starken Schwankungen eine deutliche Zunahme der Belastung auf 5,19 mg/kg in Keeken-Bimmen am linken Niederrhein bzw. 8,94 mg/kg in Lobith am rechten Ufer. Im Deltagebiet liegt dagegen eine wesentlich geringere Belastung vor.

Ein ähnlicher Verlauf ist auch bei den 15 untersuchten EPA-PAK zu beobachten. Hoch- und Oberrhein bis Kembs weisen Gehalte um 2 mg/kg auf, über Iffezheim bis Koblenz und Königswinter steigen sie auf 4 mg/kg. Am rechten Niederrhein nehmen die PAK-Gehalte anschließend wesentlich stärker zu als linksrheinisch, wo in Keeken-Bimmen ca. 10 mg/kg zu verzeichnen sind, während der PAK-Gehalt in Lobith 17,3 mg/kg beträgt. Vom Delta liegen nur an der Haringvlietsluis genügend Daten zur Bildung der Summe der EPA-PAK vor. Die Belastung ist hier deutlich niedriger als an der deutsch-niederländischen Grenze. Hauptkomponenten bei den EPA-PAK sind Fluoranthen und Pyren, deren Gehalte an den am höchsten belasteten Meßstellen weit über 2 mg/kg liegen.

Anders als bei den meisten organischen Mikroverunreinigungen ist bei den erstmals untersuchten organischen Zinnverbindungen die Meßstelle Haringvlietsluis im südlichen Delta die am stärksten belastete Meßstelle. Aber auch die an Yachthäfen gelegenen Meßstellen wie Koblenz, Hitdorf und Neuss sowie der Duisburger Außenhafen zeigen hohe Belastungen vor allem mit den in Antifoulingfarben verwendeten Tributylzinnverbindungen. Während Tributylzinnverbindungen an allen Meßstellen nachgewiesen werden, liegt der Schwerpunkt der Belastung bei Dibutyl- und Dioctylzinnverbindungen am Niederrhein, bei den in der Landwirtschaft verwendeten Triphenylzinnverbindungen hingegen lediglich an den Meßstellen Hitdorf, Neuss und Haringvlietsluis.

