



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

---

## **Qualitative Auswirkungen von Hochwasser**

## 1. Zusammenhänge zwischen Schwebstoffen, Sedimenten und Böden

### a. Schwebstoffe

Schwebstoffe sind zu ca. 80-90 % anorganischen und zu ca. 10-20 % organischen Ursprungs. Sie werden durch Flächenerosion, Abspülung oder Abrieb sowie Abwassereinführungen von außen eingetragen oder entstehen durch Abrieb auf der Gewässersohle sowie durch chemische und biologische Prozesse (Algenbildung, tierische Ausscheidungen, usw.) im Gewässer.

Am Niederrhein (Rees) liegt die jährliche Schwebstofffracht bei ca. 3-4 Mio. Tonnen (Statusbericht Rhein 1990).

### b. Sedimente

Obwohl sich die Sedimente überwiegend aus Schwebstoffen bilden, können sie sich in ihrer spezifischen Zusammensetzung unterscheiden. Während Schwebstoffe - mit Ausnahme bei Hochwasserwellen - fast ausschließlich aus Ton und Schluff bestehen, können Sedimentablagerungen das ganze Korngrößenspektrum umfassen. Je nach Fließgeschwindigkeit im Ablagerungsbereich bilden sich:

- bei geringer Fließgeschwindigkeit überwiegend feinkörnige Ablagerungen (Ton und Schluff) aus dem Schwebstoff oder
- bei höherer Fließgeschwindigkeit überwiegend grobkörnige Ablagerungen bei einer Hochwasserwelle oder aus dem am Gewässergrund transportierten Sandanteilen

So bilden sich in staugeregelten Gewässern, in Häfen, zwischen Buhnen und in allen Rückstaubereichen feinkörnige bis schlammige Ablagerungen. Häufig sind auf eng begrenztem Raum alle Übergänge zwischen Sand-, Ton- und Schluff-Fraktion zu finden.

### c. Resuspension von Sedimenten

Die von einem Fluß transportierten Feststoffmengen und damit die Trübung nehmen schneller zu als die Wasserführung. So werden bedeutende Schwebstoffmengen insbesondere durch Hochwasserwellen im Rhein transportiert.

Die Resuspension abgelagerter Sedimente ist bisher nur unzureichend erforscht. Junge, frische (rezente) Ablagerungen werden bei höheren Fließgeschwindigkeiten leicht weiterbewegt. Sobald allerdings erste oder größere Verfestigungsphasen (Konsolidierungsphasen) eingetreten sind, sind die Erkenntnisse sehr heterogen. Erfolgen regelrechte Spülstöße, z. B. durch Ziehen der Wehre bei Hochwasser, so wird im unmittelbaren Umfeld ein Krater erzeugt, dessen Reichweite stromaufwärts sehr begrenzt ist. Größere Flächen sind ohne mechanische Hilfsmittel nicht in Bewegung zu setzen. Im Vorland findet nur eine unerhebliche Resuspension statt.

Wirklich alte Sedimente (älter als 10 Jahre) sind in der Regel durch verschiedene Prozesse so stark verfestigt (konsolidiert), daß eine nennenswerte Resuspension durch Hochwasserwellen nicht erfolgt. Untersuchungen hierzu liegen besonders für die Staustufe Iffezheim und für den Neckar vor (BfG, 1996; Literaturverzeichnis Anlage I).

#### **d. Ablagerungen in Überflutungsflächen**

Erst die Überflutungen bei Hochwasser tragen größere Mengen von Schwebstoffen in die Wald-, Wiesen- und Ackerflächen. Hochwasser bringen überwiegend einen weiteren Sedimenteintrag in Altarme, Häfen, Staubereiche, Bühnenfelder und Auengebiete. Obwohl bei einlaufender Hochwasserwelle loses Material resuspendiert werden kann, entsteht in der Regel ein Nettoeintrag in die Fläche. Der Bodenaufwuchs durch solche Ereignisse kann bis zu 1 cm ausmachen. (Korngrößen zwischen 1  $\mu\text{m}$  und 1000  $\mu\text{m}$ ; Ton ca. 10 %, Schluff ca. 70 % und Sand ca. 20 %).

## **2. Langfristige Entwicklung der Qualität und Frachten der remobilisierbaren Flußsedimente**

### **2.1 Allgemeines**

#### **a. Schwebstoffmengen**

Insgesamt ist die Schwebstoffmenge im Rhein und in seinen Nebenflüssen seit den siebziger Jahren zurückgegangen. Die Einleitungen haben sowohl durch den Ausbau der kommunalen und industriellen Kläranlagen, als auch durch die Rückhaltung von Sedimenten in Rückhaltebecken abgenommen. Somit steht weniger suspendierfähiges Material zur Verfügung. Resuspendierte Flußsedimente sind in der Regel rezente Ablagerungen (jünger als 10 Jahre), bei denen noch keine Verfestigung (Konsolidierung) eingesetzt hat (BfG, 1996).

Nach der Konsolidierung können Sedimente nur durch Baggerarbeiten wieder resuspendiert werden.

#### **b. Schadstoffgehalte in Schwebstoffen, Sedimenten und Böden**

Schwerlösliche Schadstoffe werden vorwiegend an Tonmineralen und organischen Substanzen angelagert. Die Schadstoffanreicherungen in Schwebstoffen, Sedimenten und Böden sinken daher Korngrößenbedingt in der Reihenfolge Ton (Lehm) > Löß >> Sand (Korngrößeneffekt). Bei gleicher Schadstoffbelastung weist die Sandfraktion die geringste und die Tonfraktion die höchste Adsorptionskapazität auf.

Die Schwermetallkonzentrationen in Schwebstoffen, Sedimenten und Böden setzen sich aus einem natürlich vorhandenen (geogenen, s. Anlage II, Tabelle 1) und einem durch den Menschen hinzugefügten (anthropogenen) Anteil zusammen. Natürliche Quellen sind die verwitterten Gesteine. Der zusätzliche anthropogene Anteil kann durch industrielle Verarbeitung von Erzen und Metallen, Verwendung von Metallen und metallhaltigen Produkten, Verbrennung von fossilen Brennstoffen, Verwitterung und Auslaugung von Müll und anderen

festen Abfallstoffen sowie durch das Aufbringen von Kunstdünger und Klärschlamm in die Böden gelangen.

Auf einen Vergleich der Belastungen der verschiedenen untersuchten Teilbereiche (Schwebstoffe, Sedimente, Böden) und Probenahmepunkte muß mangels Kenntnisse über die Korngrößen der Proben verzichtet werden.

## **2.2 Untersuchungsergebnisse**

### **a. Schwermetalle**

Nach einem Anstieg der Schwermetallkonzentrationen seit dem Beginn dieses Jahrhunderts erreichten sie in den 70er Jahren ihren Höhepunkt. Seit dieser Zeit haben die Konzentrationen stark abgenommen. Da sich die schwer löslichen Schadstoffe in den Schwebstoffen/Sedimenten ansammeln, nehmen die Konzentrationen für die meisten dieser Stoffe stromabwärts (mit wachsendem Stromeinzugsgebiet) zu.

Die Qualität der resuspendierbaren Sedimente entspricht in der Regel der Qualität der Schwebstoffe bei normalen Abflüssen (Anlage III, Tabelle 4 und Anlage VI, Tabelle 11).

### **b. Hexachlorbenzen (HCB)**

HCB wird als Ausgangsstoff für die Herstellung von Kautschukhilfsmitteln verwendet und fällt als Nebenprodukt bei der Herstellung von Perchlorethen und Pentachlorphenol an. Fast alle industriellen HCB-Einleitungen im Rheineinzugsgebiet sind unterbunden (Bestandsaufnahme der punktuellen Einleitungen 1992). Die verbleibenden sehr hohen HCB-Gehalte der Schwebstoffe und Sedimente des Rheins resultieren aus der Produktion von Pentachlorphenol bis 1986 bei Rheinfeldern und der anschließenden Chlorsilanherstellung. Die HCB-Gehalte der rezenten Sedimente nehmen im Gegensatz zu den anderen Schadstoffen im Längsprofil des Rheins stark ab. Der Belastungsschwerpunkt hat sich von der Staustufe Birsfelden (1988) in die Staustufe Iffezheim (1990) verlagert (Statusbericht Rhein 1990).

### **c. Polychlorierte Biphenyle (PCB)**

Die PCB wurden aufgrund ihrer außergewöhnlichen thermischen und chemischen Stabilität in großen Mengen in Transformatoren, Kondensatoren, Wärmeübertragungsanlagen und als Hydraulikflüssigkeiten eingesetzt. Die punktuellen PCB-Einleitungen im Rheineinzugsgebiet konnten bis 1992 bereits um 92 % reduziert werden (Bestandsaufnahme der punktuellen Einleitungen prioritärer Stoffe 1992). Aufgrund extremer Langlebigkeit werden die restlichen diffusen PCB-Einträge nur sehr langsam abnehmen.

Vom Oberrhein zum Niederrhein zeigen alle Sedimentgehalte der 6 untersuchten Kongenere (PCB-28, -52, -101, -138, -153, -180) eine deutliche Zunahme. Die niedrig chlorierten Biphenyle PCB-28 und PCB-52 haben auch die im Mittel relativ niedrigsten Gehalte. Im Gegensatz zu HCB treten bei den PCB-Gehalten in den Schwebstoffen keine großen Schwankungen auf. Die Sedimentuntersuchungen 1990 im Längsprofil des Rheins zeigten, daß die PCB-Bela-

stung der rezenten Sedimente im gleichen Bereich liegt wie die der Schwebstoffe. Dies alles deutet auf eine gleichmäßige (ubiquitäre) Verteilung dieser Stoffklasse im Rhein hin (Statusbericht Rhein 1990).

#### **d. DDT-Gruppe**

Das früher im Rheineinzugsgebiet eingesetzte Insektizid ist sehr langlebig und reichert sich zudem stark im Fettgewebe von Lebewesen an. DDT wird im Rheineinzugsgebiet seit Anfang der 70er Jahre nicht mehr hergestellt oder eingesetzt. Die Zielvorgaben für DDT sind an allen internationalen Meßstationen erreicht. Damit ist für die DDT-Gruppe ein ausreichender Schutz aller im Rahmen der Zielvorgaben festgelegten Schutzgüter gewährleistet (Ist-/Sollvergleich 1990-1994).

#### **e. Weitere synthetische akkumulierbare Substanzen**

Wie für die DDT-Gruppe sind für die Stoffgruppen Chlornitrobenzene (1,2-, 1,3- und 1,4-CNB), Trichlorbenzene (1,2,3-, 1,2,4-, 1,3,5-TCB) und die Chlortoluene (2- und 4-Chlortoluen) sowie für die Einzelstoffe  $\alpha$ - und  $\beta$ -Hexachlorhexan, Pentachlorphenol (PCP), Hexachlorbutadien (HCBD) und 3-Chloranilin die Zielvorgaben erreicht. Damit ist für diese Stoffgruppen und Stoffe ein ausreichender Schutz aller im Rahmen der Zielvorgaben festgelegten Schutzgüter gewährleistet (Ist-/Sollvergleich 1990-1994).

#### **f. Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK-Gruppe)**

Die PAK gehören, wie die PCB, zu den am weitest verbreiteten synthetisch-organischen Verbindungen in der Umwelt. Sie entstehen bei unvollständiger Verbrennung fossiler Brennstoffe, was dazu führt, daß z. B. die Böden an Straßenrändern sehr stark mit diesen Stoffen belastet sind.

Im Längsprofil des Rheins nimmt die Summe der 6 Borneff-PAK vor allem an den rechtsrheinischen internationalen Meßstellen stromabwärts stark zu (Augst 1,8 mg/kg, Lobith 5,1 mg/kg, 1990). Linksrheinisch nehmen die PAK zwar auch zu (Koblenz 3,0 mg/kg), am linken Niederrhein sind sie jedoch wieder stagnierend bis leicht rückläufig (Keeken-Bimmen 2,5 mg/kg) (Statusbericht Rhein 1990).

### **3. Schadstoffe in Überflutungsflächen**

#### **3.1 Allgemeines**

Schwebstoffe, Sedimente und Böden wirken gegenüber verschiedenen Schadstoffen, vor allem gegenüber den schwerlöslichen, als Puffer. Sie filtern Schadstoffe aus dem Wasser, werden dabei aber selbst belastet. Ist ihre Fähigkeit, Schadstoffe zu binden erschöpft, oder ändern sich die physikalisch-chemischen Randbedingungen, so besteht die Möglichkeit, daß Schadstoffe ins Grundwasser oder über Pflanzen in die Nahrungskette gelangen und eine Gefahr für Mensch und Tier darstellen.

Neben einer Vielzahl von organischen Schadstoffen tragen vor allem die Schwermetalle zur Belastung der Böden bei.

Die ökologische Bedeutung von Schwermetallen in Böden wird vor allem durch die löslichen, mobilen Anteile bestimmt. Die Mobilität im Boden hängt vom pH-Wert, dem Karbonatgehalt, Gehalt und Art der organischen Substanz sowie von der Bodenart ab. Die Löslichkeit und Mobilität nimmt mit fallendem pH-Wert zu. Das Kalziumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) fängt freie Wasserstoff-Ionen ab und hält so den pH-Wert im Karbonatpufferbereich (6,2 - 8,6), in dem die Schwermetalle schwer löslich und damit wenig mobil sind.

Schwermetallanreicherungen im Boden können zu erhöhter Anreicherung (Akkumulation) in den Pflanzen führen. Quecksilber, Blei und Chrom werden nur in geringem Maße von Pflanzen aufgenommen (niedriger Transfer), bei Cadmium und Zink dagegen findet ein erhöhter Transfer statt, wobei die Anreicherung in Blattpflanzen am stärksten ist. Die Aufnahme von Nickel und Kupfer wird von Experten verschieden beurteilt.

Über die Belastung der Schwebstoffe, Sedimente und Böden mit synthetischen organischen Substanzen liegt wesentlich weniger Datenmaterial vor, als für die Schwermetalle. Aufgrund ihrer Toxizität, Persistenz und ihres Akkumulationsvermögens sind folgende Substanzen oder Substanzgruppen relevant:

- Gruppe der Chlorpestizide (DDT-Gruppe,  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -HCH; prioritäre Stoffe)
- Gruppe der polychlorierten Biphenyle (PCB-Gruppe; prioritäre Stoffe)
- Gruppe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK-Gruppe; Kandidat für die neue Liste prioritärer Stoffe)
- Hexachlorbenzen (HCB; prioritärer Stoff)

Diese Stoffe werden fast vollständig an Schwebstoff gebunden (partikulär) im Rhein transportiert.

Bei Hochwasser mit stärkeren Überschwemmungen sind die Schadstoffbelastungen der Schwebstoffe im allgemeinen niedriger als bei normalem Abfluß.

## 3.2 Untersuchungsergebnisse

### a. Schwermetalle

In einer Studie des Landes Rheinland-Pfalz (Müller und Yahya, 1992) wurde die Schadstoffbelastung in Böden von Überschwemmungsgebieten mit der selten, bzw. nicht überschwemmter Flächen verglichen (Anlage III).

Die Ergebnisse der Bodenuntersuchungen, die zwischen 1983 und 1991 durchgeführt wurden, zeigen höhere Schwermetallkonzentrationen in Böden von Überschwemmungsflächen als in selten bzw. nicht überschwemmten Flächen (Müller und Yahya, 1992).

Die Erhöhung ist jedoch geringfügig. Überschreitungen der Bodengrenzwerte (Anlage II, Tabelle 2) der Klärschlammverordnungen der Rheinanliegerstaaten kommen in den Überschwemmungsgebieten nur punktuell vor. Die Konzentrationen von Cadmium, Quecksilber,

Nickel, Kupfer und Chrom liegen im Mittel deutlich unter den jeweiligen Bodengrenzwerten der Klärschlammverordnungen.

Da die Schwermetallgehalte der Schwebstoffe/Sedimente mit wachsendem Stromeinzugsgebiet steigen, gilt diese Aussage im allgemeinen auch für den gesamten Hoch- und Oberrhein.

In Nordrhein-Westfalen wurde die Boden- und Pflanzenbelastung an insgesamt 10 Überflutungsflächen des Rheins und seiner Nebenflüsse ermittelt (König & Krämer, 1985).

Die Höchstbelastungen zwischen dem Siegmündungsgebiet bis zum Bereich Wesel/Bislich (Anlage V, Tabelle 9) mit z. T. deutlichen Überschreitungen der Bodengrenzwerte der Klärschlammverordnungen der Rheinanliegerstaaten (Anlage II, Tabelle 2) liegen in den Bereichen der Flußkilometer 720 (Monheim-Baumberg/Düsseldorf-Urdenbach) und 729 (Düsseldorf-Himmelgeist) sowie Flußkilometer 770/777 (Duisburg) und teilweise 824 (Wesel) (König und Krämer, 1985).

Die Mittelwerte für Cadmium (2,67 mg/kg) (Bodengrenzwerte der Klärschlammverordnungen 0,8-2 mg/kg), Blei (154 mg/kg) (Bodengrenzwerte der Klärschlammverordnungen 50-100 mg/kg), Quecksilber (1,1 mg/kg) (Bodengrenzwerte der Klärschlammverordnungen 0,3-1 mg/kg) und Zink (480 mg/kg) (Bodengrenzwerte der Klärschlammverordnungen 140-300 mg/kg) liegen über, für Kupfer (74 mg/kg) (Bodengrenzwerte der Klärschlammverordnungen 36-100 mg/kg) im Bereich und für Chrom (61 mg/kg) (75-150 mg/kg) und Nickel (39 mg/kg) (Bodengrenzwerte der Klärschlammverordnungen 35-50 mg/kg) unter den Bodengrenzwerten der Klärschlammverordnungen der Rheinanliegerstaaten (Anlage V, Tabelle 9 und Anlage II, Tabelle 2).

Die höchsten Cadmium-, Blei-, Kupfer- und Quecksilber-Bodenbelastungen wurden im Wupper-Überschwemmungsgebiet und die höchsten Chrom- und Nickelwerte im Rhein-Überschwemmungsgebiet festgestellt. Die Sedimente von Wupper, Ruhr und Lippe sind an den Flußmündungen höher belastet, als die Rhein-Sedimente selbst (König et al 1985).

Von frisch abgelagerten Sedimenten der Überschwemmungsgebiete des niederländischen Niederrheins sind in den letzten 30 Jahren regelmäßig Proben entnommen, konserviert und auf die Gehalte an Zink, Kupfer, Chrom, Blei, Nickel, Quecksilber und Arsen sowie PAK, PCB, DDT und -Metabolite untersucht worden. In 13 Flächen, die z. T. durch Sommerdeiche geschützt sind sowie in ungeschützten Überschwemmungsgebieten wurden Bodenproben entnommen und auf ihren Schwermetallgehalt untersucht. Nach 1970/72 weisen alle Schwermetallgehalte mit Ausnahme von Nickel einen starken Rückgang auf. Die Nickelgehalte (ca. 54 mg/kg) bleiben während der ganzen Untersuchungsperiode konstant, was höchstwahrscheinlich auf eine geogene Ursache deutet. Die mit Sommerdeichen geschützten Flächen weisen die geringsten Belastungen auf (Japenga et al. 1990) (Anlage VI, Tabelle 10).

Die in den Überflutungsflächen beobachteten Langzeittrends stimmen mit denen in Ketelmeer-Sedimenten gemessenen Trends (Beurskens et al 1992) überein.

Die Mittelwerte (1981) von Zink (656 mg/kg) (Bodengrenzwerte der Klärschlammverordnungen 140-300 mg/kg), Kupfer (104 mg/kg) (Bodengrenzwerte der Klärschlammverordnungen 36-100 mg/kg), Chrom (214 mg/kg) (Bodengrenzwerte der Klärschlammverordnungen 75-150 mg/kg), Blei (173 mg/kg) (Bodengrenzwerte der Klärschlammverordnungen 50-100 mg/kg), Cadmium (7,5 mg/kg) (Bodengrenzwerte der Klärschlammverordnungen 0,8-2 mg/kg), Nickel (53 mg/kg) (Bodengrenzwerte der Klärschlammverordnungen 35-50 mg/kg), Quecksilber (1,2 mg/kg) (Bodengrenzwerte der Klärschlammverordnungen 0,3-1 mg/kg) liegen über den Bodengrenzwerten der Klärschlammverordnung der Rhein-Anliegerstaaten, die Arsenmittelwerte (24 mg/kg) (Bodengrenzwerte der Klärschlammverordnungen 29 mg/kg) liegen darunter (Anlage VI, Tabelle 10 und Anlage II, Tabelle 2).

## **b. Synthetische organische Schadstoffe**

Generell ergibt sich für die Belastung der Böden der Überschwemmungsgebiete des Rheins in Rheinland-Pfalz ein uneinheitliches Bild, das von den speziellen Voraussetzungen (Klärschlamm-, Pflanzenschutzmittelaufbringung, etc.) des Standortes abhängt. Bei allen Standorten (außer Boppard) enthielten die Proben weniger als 100 µg/kg an Organochlorpestiziden und polychlorierten Biphenylen. Alle Proben aus Überschwemmungsflächen der rheinland-pfälzischen Rheinstrecke wiesen, außer für Boppard, PCB-Gehalte unter 100 µg/kg auf. Die Gehalte in den Überflutungsflächen liegen z. T. über denen der Kontrollflächen. Die höchsten Konzentrationen von DDT und seinen Abbauprodukten wurden in den Kontrollflächen nachgewiesen. Nur vereinzelt lagen die Konzentrationen dieser Stoffgruppe in den Überschwemmungsgebieten höher als in den Kontrollbereichen (Müller & Yahya 1992; Anlage IV, Tabelle 8).

Die PAK-Konzentrationen der Sedimente niederländischer Überschwemmungsgebiete des Rheins zeigen eine Abnahme der Konzentrationen von 16,8 mg/kg im Jahre 1958, über 12,0 mg/kg 1972 auf 7,2 mg/kg im Jahre 1981 (Japenga et al 1990).

Die Abnahme der HCB-Konzentrationen im Längsprofil des Rheins spiegelt sich auch in den Rhein-Überschwemmungsgebieten wieder.

HCB war in den Proben aus den Überschwemmungsgebieten höher (bis Eich) als in den Kontrollgebieten. Mit 488 µg/kg Ts wurde 1988 im Überschwemmungsgebiet bei Wörth eine auffällige HCB-Erhöhung festgestellt. 1987 waren am gleichen Punkt nur 16 µg/kg gemessen worden (Müller & Yahya 1992; Anlage IV, Tabelle 8).

## **4. Hochflutablagerungen der Hochwasserwelle 1993/94 und 1995**

### **4.1 Allgemeines**

Die Schwebstoffqualität einer Hochwasserwelle hängt unter anderem davon ab, in welchem Abflußgebiet (Oberrhein oder Bereich der hochindustrialisierten Einzugsgebiete von Neckar, Main und Wupper) die Hochwasserwelle überwiegend ihren Ursprung hat (Schleichert 1975).



Während des mittleren Hochwassers im April 1994 wurden an einigen internationalen Meßstellen täglich Schwebstoffproben auf Schadstoffe untersucht. Dabei zeigte sich, daß bei hoher Wasserführung die spezifische Belastung der Schwebstoffe aufgrund der Verdünnung mit weniger belastetem Material (größere Korngrößen) im allgemeinen zurückgeht, daß aber an Tagen hoher Abflüsse auch große Schwebstofffrachten transportiert werden. Im Vergleich zu Frachten bei Normalabflüssen läßt sich dieser zusätzliche Frachteintrag zumindest für organische Spurenstoffe wie HCB oder die PCB-Gruppe nur durch die Resuspension belasteter Sedimente erklären (Expertenkreis Monitoring, unveröffentlicht).

## 4.2 Untersuchungsergebnisse

Bei dem Hochwasser zur Jahreswende 1993/94 wurden von der BfG insgesamt 26 Hochflutablagerungen (Anlage III, Tabelle 3) an verschiedenen Stellen von Rhein (2 Probenahmeorte), Mosel (2 Probenahmeorte), Saar (3 Probenahmeorte) und Main (11 Probenahmeorte) entnommen und analysiert.

Als Ergebnis ist festzuhalten:

Die Quecksilberbelastung (alle Proben unter 0,5 mg/kg, Höchstwert im Main 0,49 mg/kg) und die Chrombelastung (Höchstwert 91 mg/kg in der Saar) ist im Vergleich zu den Zielvorgaben unproblematisch.

Es folgen in der Abstufung Nickel mit maximal 64 mg/kg (Saar) und Kupfer mit maximal 102 mg/kg (Main).

Höhere Belastungen wurden bei Blei mit max. 180 mg/kg (Saar), Zink mit max. 695 mg/kg (Saar) und Cadmium mit 3,8 mg/kg (Saar) gefunden.

Erhöhte PCB-Gehalte waren ebenfalls in Saarproben gefunden, während in den Proben anderer Flußgebiete niedrige bis sehr niedrige PCB-Gehalte gemessen wurden. HCB wurde nur in den Ablagerungen am Rhein in leicht erhöhten Konzentrationen (30 - 60 µg/kg) gefunden. Die Aussagen zu den organischen Mikroverunreinigungen beziehen sich jedoch auf weniger Analysedaten als bei den Schwermetallen (BfG 1996).

Außer für HCB liegen die Belastungsschwerpunkte somit an den Nebenflüssen Saar, Main und Mosel.

In den Niederlanden wurde die Zusammensetzung des durch das Hochwasser 1995 abgelagerten Materials untersucht und festgestellt, daß die Qualität des abgelagerten Materials mit älteren Bodenschichten vergleichbar, in manchen Fällen sogar besser ist. Die Studie geht deshalb davon aus, daß die Qualität pflanzlicher und tierischer Produkte im Durchschnitt durch das Hochwasser nicht zusätzlich beeinträchtigt wurde und die aktuellen ökotoxikologischen Risiken für Flora und Fauna sich im Hochwasserflußbett nur unerheblich oder gar nicht geändert haben. Die Menge abgelagerter Sedimente wird auf 100 000 - 200 000 Tonnen geschätzt (RIVM & RIZA 1995).

## 5. Schlußfolgerungen und Empfehlungen

Die Schadstoffbelastung der Schwebstoffe, der rezenten Sedimente und der Böden der Überflutungsflächen hat im gesamten Rheineinzugsgebiet seit Mitte der 70er Jahre stark abgenommen.

Die höher belasteten älteren Sedimente (älter als 10 Jahre) der Staustufen, Altarme, Häfen und Bühnenfelder werden durch Hochwasser nicht mehr resuspendiert und können die Qualität der Überflutungsflächen somit nicht mehr beeinflussen. Ältere verschmutzte Sedimente können noch durch Baggeraktivitäten remobilisiert werden. Baggergut sollte deshalb auf Schadstoffbelastung geprüft und bei zu hoher Belastung nicht mehr in den Fluß umgelagert werden.

Die Schadstoffgehalte dieser Teilbereiche nehmen für alle besprochenen Substanzen außer für HCB und die DDT-Gruppe stromabwärts zu. Die verbleibenden HCB-Kontaminationen stammen aus noch nicht konsolidierten Altlasten, die sich ständig stromabwärts bewegen. Da die Zielvorgabe für DDT und Abbauprodukte erreicht ist, ist die verbleibende DDT-Belastung der Rheinsedimente unkritisch.

Wie für die DDT-Gruppe sind für die Stoffgruppen Chlornitrobenzene (1,2-, 1,3- und 1,4-CNB), Trichlorbenzene (1,2,3-, 1,2,4-, 1,3,5-TCB) und die Chlortoluene (2- und 4-Chlortoluen) sowie für die Einzelstoffe  $\alpha$ - und  $\beta$ -Hexachlorhexan, Pentachlorphenol (PCP), Hexachlorbutadien (HCBD) und 3-Chloranilin die Zielvorgaben erreicht. Damit ist für diese Stoffgruppen und Stoffe ein ausreichender Schutz aller im Rahmen der Zielvorgaben festgelegten Schutzgüter gewährleistet (Ist-/Sollvergleich 1990-1994).

Da einerseits die Schadstoffgehalte der rezenten Sedimente und der aktuellen Schwebstoffe vergleichbar sind und andererseits die Hochflutablagerungen gröbere, nicht belastete Sandanteile enthalten, ist die Belastung der Hochflutablagerungen geringer als die der aktuellen Schwebstoffbelastung. Die maximal zu erwartende Belastung zukünftiger Hochwasserablagerungen kann somit anhand der aktuellen Schadstoffbelastung der Schwebstoffe der nächsten stromaufwärts gelegenen Meßstation abgeschätzt werden.

Aufgrund der heutigen Belastungssituation und der (außer für HCB) zu erwartenden Verbesserung der Situation im Rhein ist für Böden und Pflanzen in neuen, künftig ggf. häufiger überschwemmten Flächen des Ober- und Mittelrheins mit einer höheren Belastung als in selten bzw. nicht überfluteten Flächen zu rechnen. Diese Belastung überschreitet aber das in den bereits vorhandenen Überflutungsflächen festgestellte Maß nicht und liegt unter den Grenz- und Richtwerten. In selten überfluteten Flächen ist keine signifikante Veränderung der Bodenbelastung gegenüber nicht überfluteten Flächen festzustellen. Deutliche Belastungen zeigen bei allen Schadstoffen (außer HCB) die Bereiche unterhalb der Mündungen der Zuflüsse.

## Literaturverzeichnis

- 1 BEURSKENS, I.E.M., MOL GE.A.I., BARREVELD, H.L., MUNSTER VAN, B (1992) Geochronology of priority pollutants in a sedimentation area of the Rhine river; Environ. Toxicol & Chem., November 1992
- 2 IKSR (1993); Statusbericht Rhein Chemisch-physikalische und biologische Untersuchungen bis 1991, Vergleich Istzustand 1990 - Zielvorgaben
- 3 IKSR (1994); Bestandsaufnahme der punktuellen Einleitungen prioritärer Substanzen 1992
- 4 IKSR (1995); Vergleich des Istzustandes des Rheins 1990 bis 1993 mit den Zielvorgaben
- 5 JAPENGA, K.H., ZSCHUPPE, A.J., DE GROOT & SALOMONS W. (1990); Heavy metals and organic micropollutants in floodplains of the river Waal, a tributary of the river Rhine 1958-1981. Netherlands journal of agricultural science 38, 381-397
- 6 KÖNIG, W & KRÄMER, F (1985): Schwermetallbelastung von Böden und Kulturpflanzen in Nordrhein-Westfalen, Schriftenreihe LÖLF NRW, 10, 160 S., 34 Abb., 63 Tab., 20 Fotos, 1 Karte
- 7 KÖNIG, W., HEMBROCK-HEGER, A., WILKENS, M. (1991); Persistente organische Chemikalien im Boden, UWSE-2. Umweltchem. Ökotox. 3 (1), 33-30
- 8 MÜLLER G. & YAHYA A. (1992); Schadstoffbelastung in Böden von Hochwasserüberflutungsflächen des Rheins, Literaturstudie und Zusammenstellung vorhandener Untersuchungen; Institut für Sedimentforschung der Universität Heidelberg
- 9 RIVM & RIZA (1995); Rapport nr. 609021006, Hoogwater januari en februari 1995: Kwaliteit en risico's van het door Rijn en Maas aangevoerde rivierslib
- 10 BFG (1996); Fragen zur Schwebstoff- und Sedimentqualität im Zusammenhang mit der Hochwasserproblematik, Bundesanstalt für Gewässerkunde
- 11 SCHLEICHERT (1975); Schwermetallgehalte der Schwebstoffe des Rheins bei Koblenz im Jahresverlauf - Eine gewässerkundliche Interpretation, Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen (1975), H-6, S. 150-157

## Festlegung von konkreten Werten für die Hintergrundbelastung der Schwebstoffe mit Schwermetallen

Die natürliche Belastung der Schwebstoffe mit Schwermetallen wird konventionell wie folgt festgelegt (<20 µm Fraktion):

Tabelle 1: Konventionelle geogene Schwermetallgehalte der Rheinschwebstoffe (<20 µm Fraktion)

| Substanz    | Gehalt    |
|-------------|-----------|
| Blei        | 25 mg/kg  |
| Cadmium     | 0,3 mg/kg |
| Chrom       | 80 mg/kg  |
| Kupfer      | 20 mg/kg  |
| Nickel      | 30 mg/kg  |
| Quecksilber | 0,2 mg/kg |
| Zink        | 100 mg/kg |

**Bemerkung:** Die natürliche Hintergrundbelastung schwankt stark in Abhängigkeit der Herkunft der Schwebstoffe; zudem hängen die in der Literatur angegebenen Analysenergebnisse stark von der angewandten Analysenmethode ab. Für die Bewertung der Meßergebnisse, die Planung der Maßnahmen und die Beurteilung des geogenen Anteils von Schwermetallen ist jedoch eine Festlegung von konkreten Werten notwendig. Für die Festlegung dieser Werte wurden alle zur Zeit verfügbaren Informationen über die geogenen Stoffgehalte von Sedimenten und Schwebstoffen ausgewertet. Da der Schwankungsbereich der geogenen Gehalte für den Rhein nicht genügend dokumentiert ist, wurden diese Angaben weggelassen.

## Nationale Grenzwerte für die Aufbringung von Klärschlämmen auf Land

**Tabelle 2: Nationale Grenzwerte für die Aufbringung von Klärschlämmen auf Land und Zielvorgaben der IKSR in mg/kg**

| Substanz | CH <sup>1)</sup> | D <sup>2)</sup> | F   | NL <sup>3)</sup> | IKSR-Zielvorgaben |
|----------|------------------|-----------------|-----|------------------|-------------------|
| Hg       | 0,8              | 1               | 1   | 0,3              | 0,5               |
| Ni       | 50               | 50              | 50  | 35               | 50                |
| Zn       | 200              | 200             | 300 | 140              | 200               |
| Cu       | 50               | 60              | 100 | 36               | 50                |
| Cr       | 75               | 100             | 150 | 100              | 100               |
| Pb       | 50               | 100             | 100 | 85               | 100               |
| Cd       | 0,8              | 1,5             | 2   | 0,8              | 1,0               |
| As       | -                | -               | -   | 29               | 40                |

<sup>1)</sup> Richtwerte für Schadstoffgehalte des Bodens (Verordnung über Schadstoffe im Boden)

<sup>2)</sup> Bodenwerte der Klärschlammverordnung

<sup>3)</sup> Normierte Bodengrenzwerte für die Aufbringung von Klärschlämmen auf Land

### Untersuchungen der BfG

**Tabelle 3: Hochwasserablagerungen (Dezember 1993/Januar 1994) an den Ufern von Rhein, Mosel, Saar und Main (Gesamtgehalte in der Fraktion <2000 µm) (BfG 1996)**

| Strom | km                | Ort                    | Datum    | Cd<br>(mg/kg) | Hg<br>(mg/kg) | Pb<br>(mg/kg) | Zn<br>(mg/kg) | Cu<br>(mg/kg) | Ni<br>(mg/kg) | Cr<br>(mg/kg) |
|-------|-------------------|------------------------|----------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Rhein | 595,5             | Niederwerth            | 28.12.93 | 1.20          | 0.33          | 49            | 161           | 45            | 26            | 105           |
| Rhein | 595,5             | Niederwerth            | 28.12.93 | 1.79          | 0.38          | 63            | 243           | 66            | 46            | 133           |
| Rhein | 780,60;<br>links  | Abz. Duis-<br>burg     | 30.12.93 | 1.99          | 0.47          | 168           | 385           | 74            | 51            | 163           |
| Rhein | 788,50;<br>rechts | Abz. Duis-<br>burg     | 30.12.93 | 2.00          | 0.23          | 80            | 258           | 46            | 37            | 134           |
| Mosel | 124,0;<br>links   | Zeltlingen             | 30.12.93 | 1.85          | 0.28          | 137           | 497           | 67            | 53            | 122           |
| Mosel | 124,0;<br>rechts  | Zeltlingen             | 30.12.93 | 2.53          | 0.24          | 138           | 528           | 74            | 53            | 280           |
| Mosel | 1,0;<br>links     | Schleuse<br>Koblenz    | 28.12.93 | 1.21          | 0.17          | 107           | 345           | 47            | 50            | 120           |
| Mosel | 1,0;<br>mitte     | Schleuse<br>Koblenz    | 28.12.93 | 2.12          | 0.20          | 115           | 362           | 54            | 53            | 110           |
| Mosel | 1,0;<br>rechts    | Schleuse<br>Koblenz    | 28.12.93 | 1.29          | 0.19          | 132           | 396           | 57            | 45            | 119           |
| Saar  | links             | Schleuse<br>Völklingen | 20.1.94  | 1.62          | 0.21          | 101           | 323           | 49            | 30            | 127           |
| Saar  | rechts            | Schleuse<br>Völklingen | 20.1.94  | 3.80          | 0.30          | 143           | 416           | 74            | 48            | 107           |
| Saar  | 17                | Serrig                 | 30.12.93 | 0.47          | 0.07          | 44            | 163           | 33            | 22            | 71            |
| Saar  |                   | UW Kan-<br>zem         | 30.12.93 | 2.48          | 0.35          | 180           | 695           | 87            | 64            | 131           |
| Main  | 8,8;<br>links     |                        | 30.12.93 | 2.26          | 0.49          | 50            | 264           | 65            | 46            | 99            |
| Main  | 12,2;<br>links    |                        | 30.12.93 | 0.21          | 0.34          | 22            | 77            | 27            | 18            | 65            |
| Main  | 18,65;<br>links   |                        | 30.12.93 | 1.82          | 0.26          | 54            | 273           | 71            | 56            | 112           |
| Main  | 24,8;<br>links    |                        | 30.12.93 | 0.22          | 0.11          | 33            | 148           | 43            | 30            | 217           |

| Strom | km               | Ort                     | Datum    | Cd      | Hg      | Pb      | Zn      | Cu      | Ni      | Cr      |
|-------|------------------|-------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|       |                  |                         |          | (mg/kg) | (mg/kg) | (mg/kg) | (mg/kg) | (mg/kg) | (mg/kg) | (mg/kg) |
| Main  | 26,4;<br>links   |                         | 30.12.93 | 0,29    | 0,03    | 21      | 75      | 24      | 21      | 83      |
| Main  | 55,7;<br>rechts  |                         | 30.12.93 | 0,28    | 0,21    | 25      | 92      | 32      | 19      | 354     |
| Main  | 77,3;<br>links   |                         | 30.12.93 | 1,61    | 0,06    | 71      | 723     | 77      | 41      | 110     |
| Main  | 93,0;<br>rechts  | Obernau                 | 4.1.94   | 0,84    | 0,08    | 370     | 2336    | 41      | 18      | 103     |
| Main  | 112,9;<br>links  | Schleuse<br>Klingenberg |          | 0,09    | 0,02    | 4       | 32      | 21      | 5       | 114     |
| Main  | 113,2;<br>links  | Schleuse<br>Klingenberg |          | 1,66    | 0,18    | 88      | 298     | 76      | 44      | 57      |
| Main  | 121,9;<br>rechts | Schleuse<br>Heubach     | 4.1.94   | 0,49    | 0,04    | 26      | 66      | 27      | 12      | 173     |
| Main  | 151,0;<br>rechts | Abz. Haß-<br>loch       |          | 1,84    | 0,27    | 71      | 343     | 102     | 49      | 110     |
| Main  | 152,0;<br>links  | Abz. Haß-<br>loch       |          | 1,72    | 0,23    | 65      | 293     | 92      | 50      | 103     |

**Tabelle 4: Rückgang der Schwermetallbelastung des Rheins bei Koblenz**

| Parameter   | Einheit | Schwebstoff 1974<br>153 Proben BfG | Schwebstoff 1994<br>23 Proben IKSR | Sediment 1976<br>Rheinliche BfG | Sediment 1990<br>Rheinliche IKSR |
|-------------|---------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Arsen       | [mg/kg] |                                    | 15,5                               | 20,7                            | 15                               |
| Cadmium     | [mg/kg] | 8,4                                | 1,0                                | 9,7                             | 1,7                              |
| Chrom       | [mg/kg] | 599                                | 74                                 | 450                             | 71                               |
| Kupfer      | [mg/kg] | 371                                | 71                                 | 244                             | 79                               |
| Eisen       | [g/kg]  |                                    | 30,3                               | 28,9                            | 27,6                             |
| Quecksilber | [mg/kg] |                                    | 0,26                               | 4,4                             | 0,7                              |
| Mangan      | [mg/kg] |                                    | 1389                               | 704                             | 732                              |
| Nickel      | [mg/kg] | 84                                 | 50                                 | 79                              | 54                               |
| Blei        | [mg/kg] | 199                                | 56                                 | 170                             | 79                               |
| Zink        | [mg/kg] | 1086                               | 264                                | 950                             | 324                              |
| Phosphor    | [mg/kg] | 3943                               | 1691                               | 4000                            | 1690                             |

**Untersuchungen in Rheinland-Pfalz  
(Müller G. & YAHYA; 1992)**

**Tabelle 5: Mittel der Schwermetall-Konzentrationen (mg/kg) für Überschwemmungs- und für nicht bzw. selten überschwemmte Kontrollgebiete in Rheinland-Pfalz**

| Elemente    | Überschwemmungsgebiete |        | Kontrollgebiete |        |
|-------------|------------------------|--------|-----------------|--------|
|             | arith. Mittel          | Median | arith. Mittel   | Median |
| Cadmium     | 0,875                  | 0,650  | 0,637           | 0,510  |
| Quecksilber | 0,51                   | 0,29   | 0,22            | 0,13   |
| Nickel      | 24,3                   | 22,5   | 20,3            | 22,3   |
| Kupfer      | 35,7                   | 29,0   | 23,8            | 19,2   |
| Zink        | 529                    | 112    | 109             | 72,5   |
| Blei        | 254                    | 49,0   | 113             | 40,5   |
| Chrom       | 37,2                   | 29,5   | 33,1            | 27,7   |
| Arsen       | 9,1                    | 8,5    | 9,1             | 7,9    |

**Tabelle 6: Arithmetische Mittelwerte der Schwermetall-Konzentrationen (mg/kg) im Überschwemmungsgebiet (Ü-Bereich) und im nicht überschwemmten Kontrollgebiet (K-Bereich) der Probenahmestellen Speyer, Ingelheim und Boppard; Entnahmetiefe 0-35 cm (1987)**

|             | Speyer |     | Ingelheim |      | Boppard |      |
|-------------|--------|-----|-----------|------|---------|------|
|             | Ü      | K   | Ü         | K    | Ü       | K    |
| Arsen       | 7,9    | 7,4 | 8,9       | 7,8  | 9,9     | 12   |
| Blei        | 36     | 25  | 53        | 34   | 542     | 284  |
| Cadmium     | 0,5    | 0,3 | 0,7       | 0,5  | 1,2     | 1,2  |
| Chrom       | 32     | 22  | 41        | 27   | 41      | 46   |
| Kupfer      | 24     | 13  | 29        | 14   | 48      | 44   |
| Nickel      | 28     | 17  | 17,5      | 10,5 | 24,6    | 34,3 |
| Quecksilber | 0,3    | 0,1 | 0,4       | 0,2  | 0,8     | 0,4  |
| Zink        | 90     | 58  | 122       | 52   | 1105    | 218  |



**Tabelle 7: Arithmetische Mittel der pH-Werte und Schwermetall-Konzentrationen (mg/kg) der Probenahmestellen Wörth, Eich, Gaulsheim, Niederwerth und Sinzig im Überschwemmungsgebiet (Ü-Bereich) und im nicht bzw. selten überschwemmten Kontrollgebiet (K-Bereich); Entnahmetiefe 0-10 cm (1987/88/89).**

| Jahr Standort    |   | pH  | Pb | Cd   | Cr | Cu  | Ni | Hg   | Zn  | As  |
|------------------|---|-----|----|------|----|-----|----|------|-----|-----|
| 1987 Wörth       | Ü | 7,6 | 27 | <0,3 | 32 | 17  | 21 | 0,23 | 69  | 8,2 |
|                  | K | 7,6 | 20 | <0,3 | 27 | 13  | 19 | 0,07 | 49  | 6,7 |
| 1988             | Ü | 7,5 | 49 | 0,8  | 46 | 43  | 34 | 0,34 | 133 | 12  |
|                  | K | -   | 22 | 0,4  | 26 | 12  | 20 | 0,05 | -   | 7,3 |
| 1989             | Ü | 7,5 | 46 | 0,4  | 45 | 48  | 32 | 0,28 | 137 | -   |
|                  | K | 7,3 | 20 | 0,3  | 26 | 11  | 19 | 0,09 | 48  | -   |
| 1987 Eich        | Ü | 7,3 | 43 | 0,8  | 46 | 24  | 19 | 0,42 | 98  | 14  |
|                  | K | 7,5 | 35 | <0,3 | 26 | 10  | 19 | 0,05 | 46  | 7,6 |
| 1988             | Ü | -   | 43 | 1,5  | 54 | 37  | 25 | 0,45 | 120 | 14  |
|                  | K | -   | 13 | <0,3 | 23 | 9,1 | 19 | 0,03 | 32  | 6,8 |
| 1989             | Ü | 7,4 | 19 | <0,3 | 27 | 9,4 | 16 | 0,13 | 50  | -   |
|                  | K | 7,3 | 14 | <0,3 | 25 | 7   | 18 | 0,06 | 39  | -   |
| 1987 Gaulsheim   | Ü | 7,5 | 51 | 1,0  | 57 | 36  | 30 | 0,51 | 132 | 18  |
|                  | K | 7,0 | 17 | <0,3 | 26 | 12  | 19 | 0,05 | 45  | 6   |
| 1988             | Ü | -   | 56 | 1,1  | 56 | 38  | 30 | 0,47 | 124 | 18  |
|                  | K | -   | 20 | 0,3  | 30 | 11  | 22 | 0,05 | 50  | 7   |
| 1989             | Ü | 7,5 | 44 | 0,8  | 48 | 37  | 29 | 0,41 | 116 | -   |
|                  | K | 7,1 | 17 | <0,3 | 28 | 10  | 21 | 0,05 | 44  | -   |
| 1987 Niederwerth | Ü | 7,4 | 26 | 0,4  | 28 | 14  | 14 | 0,20 | 75  | 5   |
|                  | K | 7,4 | 49 | 0,8  | 36 | 24  | 18 | 0,44 | 144 | 8   |
| 1988             | Ü | -   | 48 | 0,6  | 30 | 20  | 18 | 0,28 | 110 | 8   |
|                  | K | -   | 43 | 0,4  | 19 | 14  | 15 | 0,17 | 72  | 6   |
| 1989             | Ü | 7,0 | 34 | 0,4  | 33 | 25  | 18 | 0,27 | 97  | -   |
|                  | K | 7,2 | 46 | 0,3  | 19 | 15  | 15 | 0,16 | 71  | -   |
| 1987 Sinzig      | Ü | 7,1 | 79 | 0,8  | 34 | 32  | 20 | 0,56 | 220 | 9   |
|                  | K | 5,7 | 79 | 0,6  | 56 | 45  | 44 | 0,22 | 130 | 5   |
| 1988             | U | -   | 42 | <0,3 | 25 | 15  | 19 | 0,18 | 121 | 5   |
|                  | K | -   | 74 | 0,6  | 47 | 40  | 46 | 0,17 | 129 | 13  |
| 1989             | Ü | 7,3 | 73 | 0,6  | 45 | 38  | 30 | 0,35 | 238 | -   |
|                  | K | 6,9 | 85 | 0,4  | 49 | 44  | 46 | 0,21 | 142 | -   |

**Tabelle 8: Arithmetische Mittelwerte der Konzentrationen von HCB,  $\Sigma$  DDT und  $\Sigma$  PCB (Ballschmitter Kongenere) in  $\mu\text{g}/\text{kg}$  für verschiedene Standorte in Rheinland-Pfalz, F = Frischmasse, T = Trockenmasse, n.N. = nicht nachweisbar, Ü = Überschwemmungsgebiet, K = selten bzw. nicht überschwemmtes Kontrollgebiet**

| 1987         |   | Speyer |      | Ingelheim |      | Boppard |      |
|--------------|---|--------|------|-----------|------|---------|------|
|              |   | F      | T    | F         | T    | F       | T    |
| HCB          | Ü | 3      | 4    | n.n.      | n.n. | 128     | 157  |
|              | K | 2      | 3    | n.n.      | n.n. | n.n.    | n.n. |
| $\Sigma$ DDT | Ü | 3      | 5    | 54        | 66   | 83      | 103  |
|              | K | 34     | 39   | 28        | 34   | 319     | 486  |
| $\Sigma$ PCB | Ü | 2      | 4    | 5         | 7    | 84      | 99   |
|              | K | n.n.   | n.n. | n.n.      | n.n. | 16      | 19   |

| 1987         |   | Wörth |     | Eich |      | Gaulsheim |      | Niederwerth |      | Linz |    |
|--------------|---|-------|-----|------|------|-----------|------|-------------|------|------|----|
|              |   | F     | T   | F    | T    | F         | T    | F           | T    | F    | T  |
| HCB          | Ü | 12    | 16  | 8    | 11   | 5         | 7    | 5           | 6    | 14   | 16 |
|              | K | 3     | 4   | n.n. | n.n. | n.n.      | n.n. | 18          | 23   | 7    | 10 |
| $\Sigma$ DDT | Ü | 3     | 4   | 14   | 19   | 11        | 16   | 10          | 12   | 29   | 34 |
|              | K | 23    | 30  | n.n. | n.n. | 181       | 207  | 20          | 25   | 11   | 15 |
| $\Sigma$ PCB | Ü | 10    | 14  | 14   | 20   | 20        | 28   | 14          | 17   | 92   | 94 |
|              | K | 2     | 2   | 2    | 2    | 2         | 2    | 32          | 41   | 24   | 34 |
| 1988         |   |       |     |      |      |           |      |             |      |      |    |
| HCB          | Ü | 353   | 488 | 36   | 37   | 4         | 7    | 7           | 8    | 12   | 15 |
|              | K | 2     | 2   | n.n. | n.n. | n.n.      | n.n. | n.n.        | n.n. | 6    | 8  |
| $\Sigma$ DDT | Ü | 14    | 19  | 9    | 12   | 10        | 17   | 19          | 23   | 16   | 21 |
|              | K | 28    | 35  | n.n. | n.n. | 132       | 151  | 1           | 1    | 2    | 3  |
| $\Sigma$ PCB | Ü | 31    | 43  | 18   | 24   | 17        | 30   | 19          | 24   | 47   | 59 |
|              | K | 2     | 2   | n.n. | n.n. | n.n.      | n.n. | 2           | 2    | 8    | 11 |



## 1. Japenga et al 1990

Tabelle 10: Durchschnittskonzentrationen von Schwermetallen in Sedimenten im Überschwemmungsgebiet des Flusses Waal, Angaben in mg/kg

| Probenahme | n   | Zn   | Cu  | Cr  | Pb  | Cd   | Ni | Hg  | As |
|------------|-----|------|-----|-----|-----|------|----|-----|----|
| 1958       | 11  | 1151 | 146 | 428 | 303 | 6,4  | 55 | 5,2 | 87 |
| 1970       | 122 | 870  | 157 | 373 | 259 | 11,8 | 54 | 6,3 | 51 |
| 1972       | 30  | 1147 | 185 | 404 | 336 | 14,9 | 54 | 6,5 | 35 |
| 1981       | 114 | 656  | 104 | 214 | 173 | 7,5  | 53 | 1,2 | 24 |

## 2. RIZA 1995, Rapport nr. 609021006 (Hochwasser Januar und Februar 1995)

Tabelle 11: Qualität der Schwebstoffe im Rhein bei Lobith

| Jahr                  | 1988-1990 | 1993      | Hochwasser 1993        | Hochwasser 1995            |
|-----------------------|-----------|-----------|------------------------|----------------------------|
| Substanz              | gemittelt | gemittelt | gemittelt<br>22/12+5/1 | gemittelt<br>31/12 1/2+2/2 |
| Arsen mg/kg           | 20        |           |                        | 15                         |
| Cadmium mg/kg         | 3.1       | 2.2       | 1.6                    | 1.1                        |
| Zink mg/kg            | 592       | 529       | 405                    | 330                        |
| Quecksilber mg/kg     | 1.0       | 1.0       | 0.4                    | 0.7                        |
| Kupfer mg/kg          | 112       | 77        | 64                     | 60                         |
| Blei mg/kg            | 138       | 112       | 90                     | 80                         |
| Chrom mg/kg           | 103       | 87        | 78                     | 72                         |
| Nickel mg/kg          | 53        | 46        | 54                     | 47                         |
| PAK(10) mg/kg         | 7.8       | 5.3       | 4.3                    | 5.6                        |
| PCB(7) mg/kg          | 104       | 70        | 44                     | 83                         |
| Hexachlorbenzen mg/kg | 30        | 18        | -                      | 14                         |
| Org. Stoff %          | 10.9      | 10.7      | 6.5                    | 8.3                        |
| Ton %                 | 30.1      | 27.6      | 38.6                   | 40.3                       |