

CONTAMINATED SEDIMENTS IN THE RHINE BASIN – RELEVANT POLLUTANTS AND RESUSPENSION RISK

Martin Keller

Federal Institute of Hydrology, Koblenz, Germany

CONTAMINATED SEDIMENTS IN THE RHINE BASIN – RELEVANT POLLUTANTS AND RESUSPENSION RISK

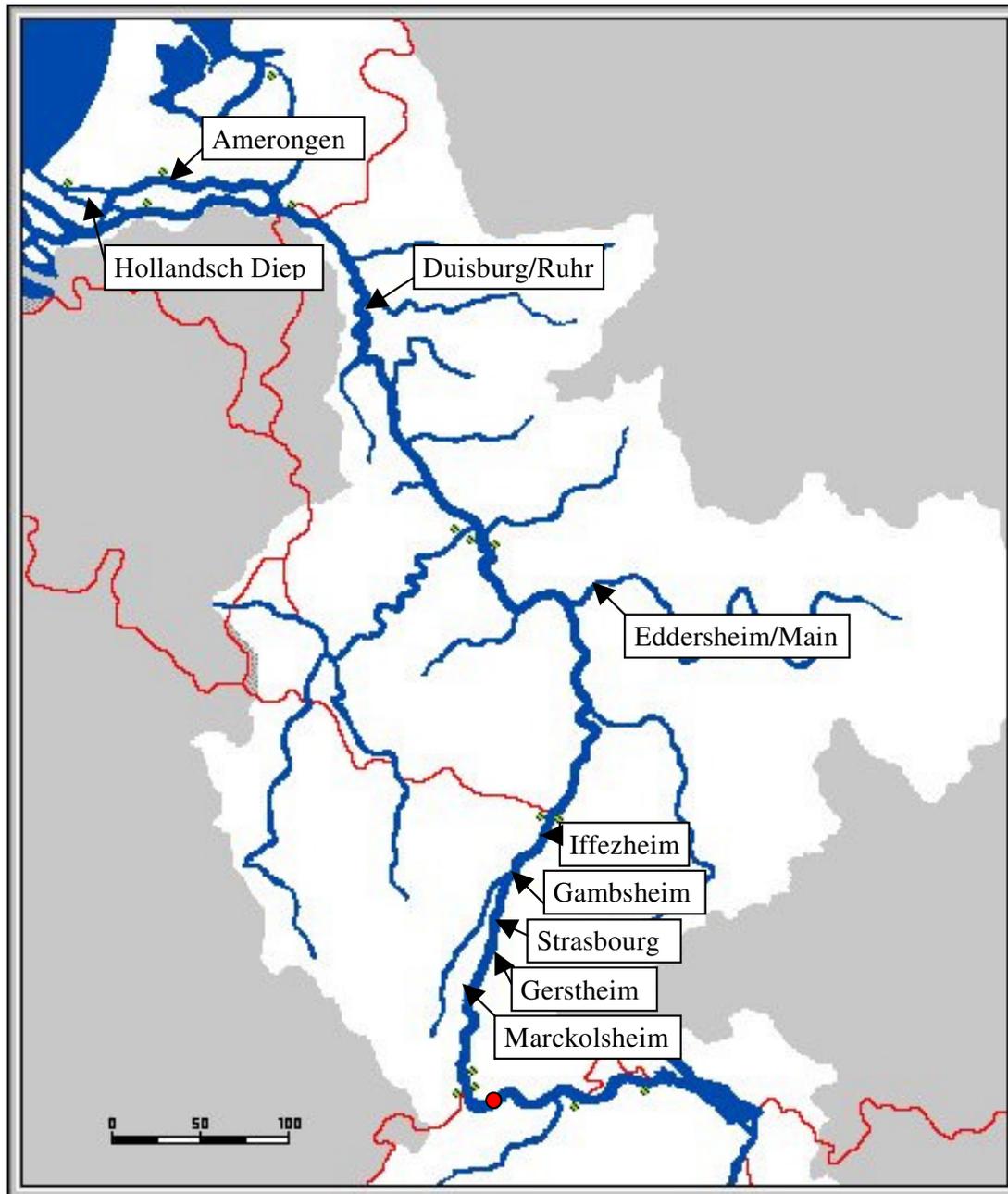


1. Results of investigations on resuspension risk of polluted sediments

- Distribution of contaminated sediment layers in depth of 0-1,2 m
- Erosion stability of contaminated sediment layers
- Quantification of the critical erosion shear stress
- Risk remobilisation assessment for high water

2. The ICPR sediment initiative

- Establish a sediment management plan for contaminated sediments
- Inventory of contaminated sites
- Classify sediments according to their endangering potential
- Proposals for an economically and ecologically acceptable handling of sediments for different sediment classes depending on the risk potential



ICPR research project 2000 – 2003:

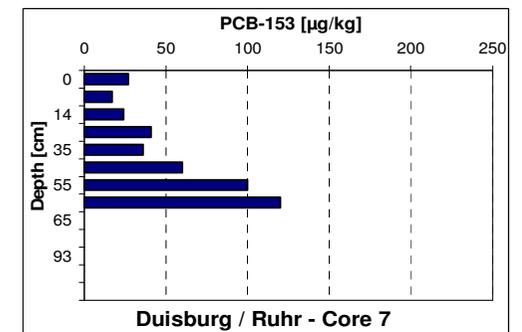
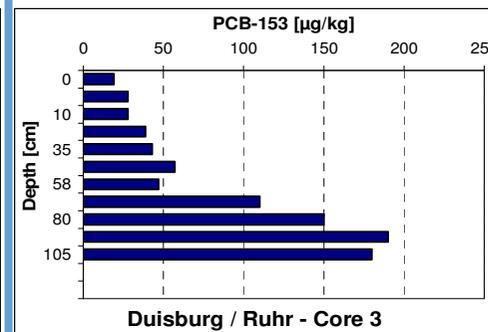
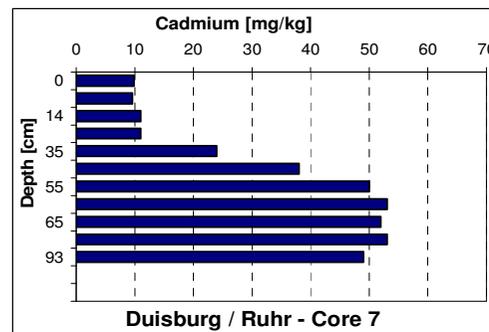
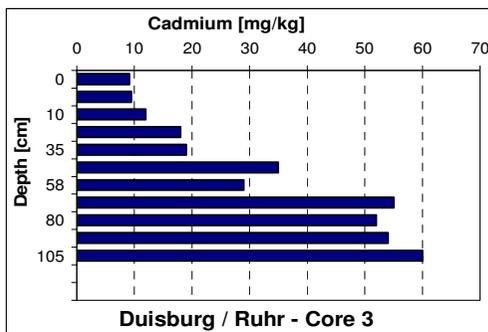
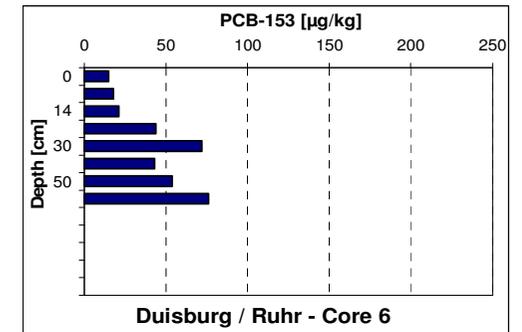
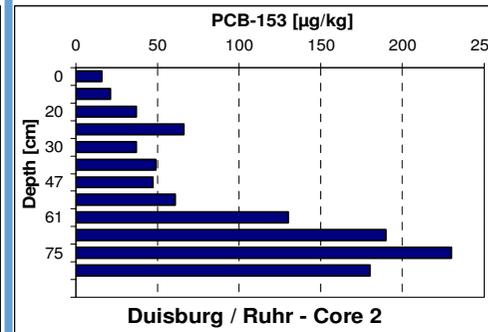
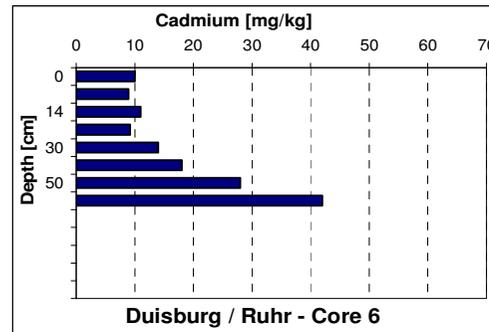
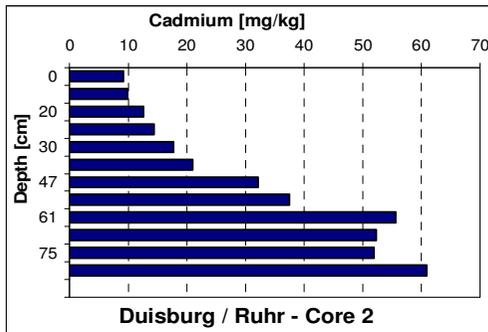
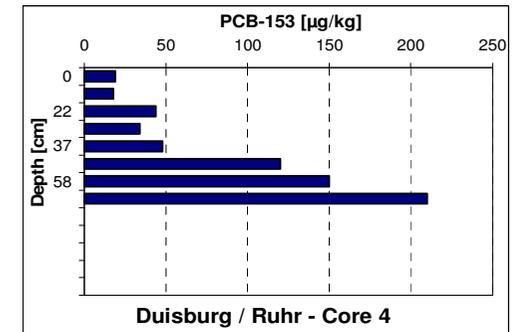
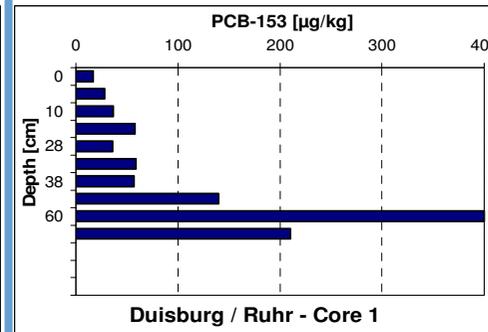
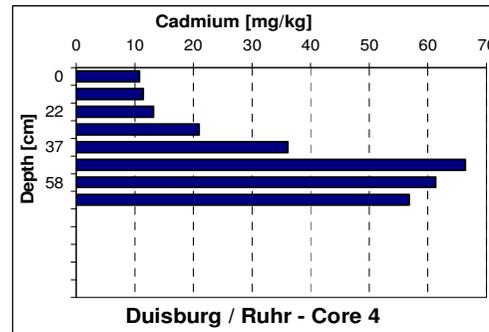
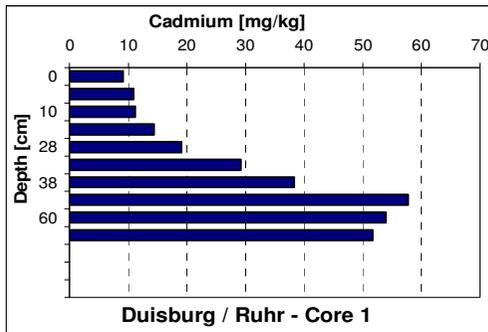
Investigations on
resuspension risk of
polluted sediments in the
river Rhine and its
tributaries

Upper Rhine main contaminant:
Hexachlorobenzene (HCB)

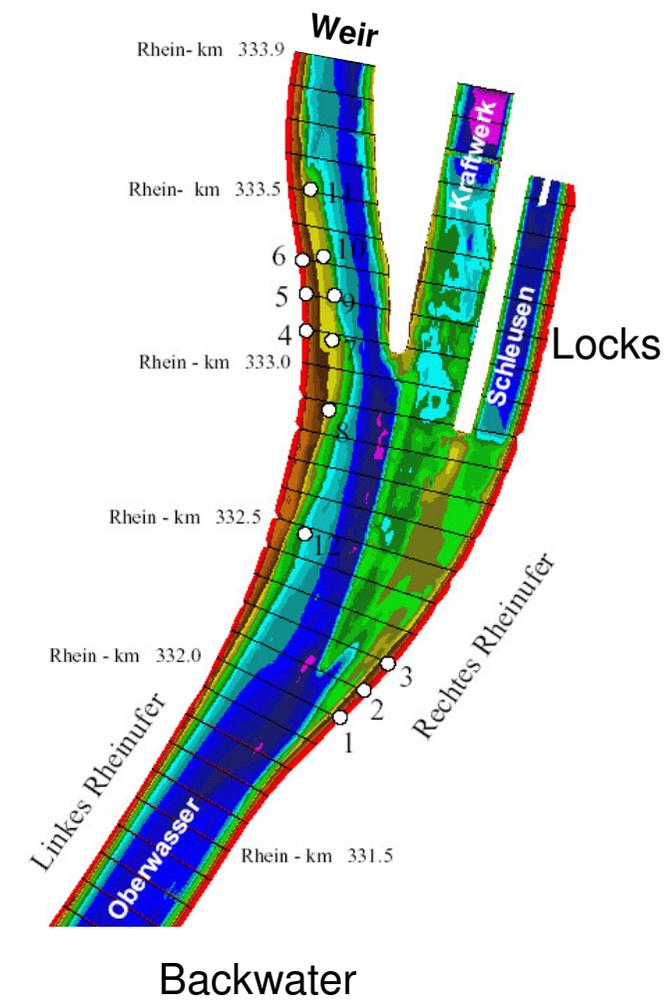
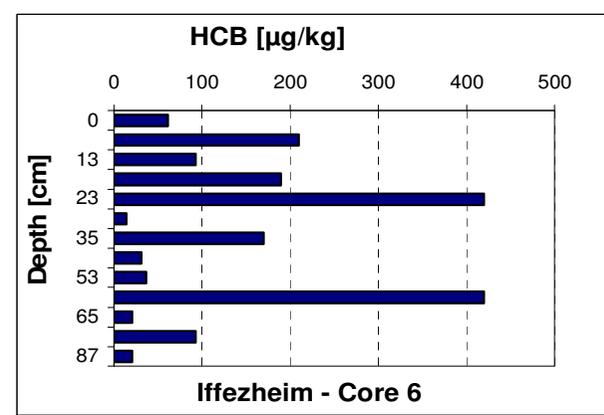
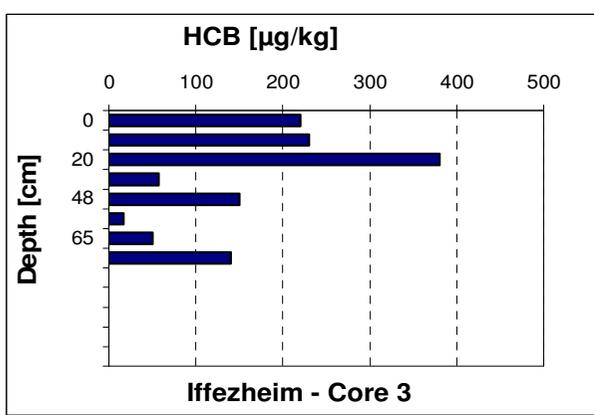
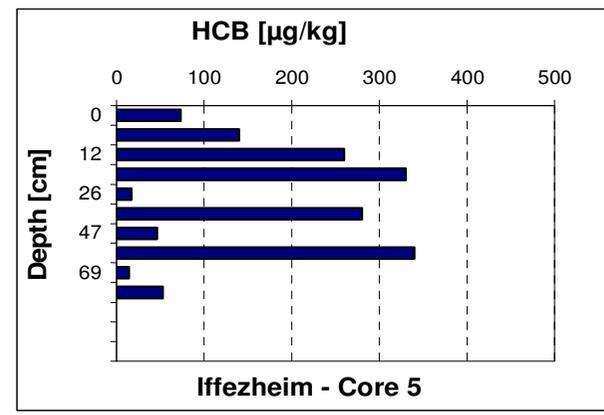
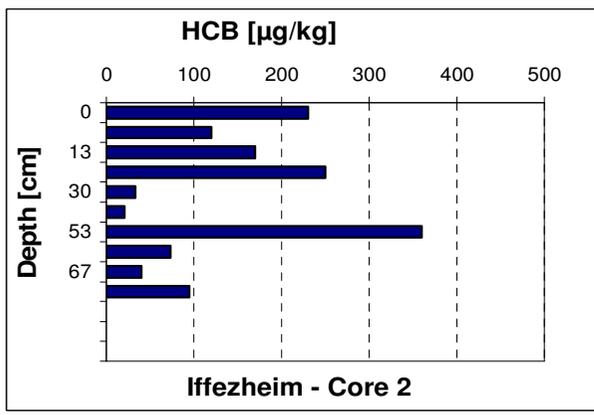
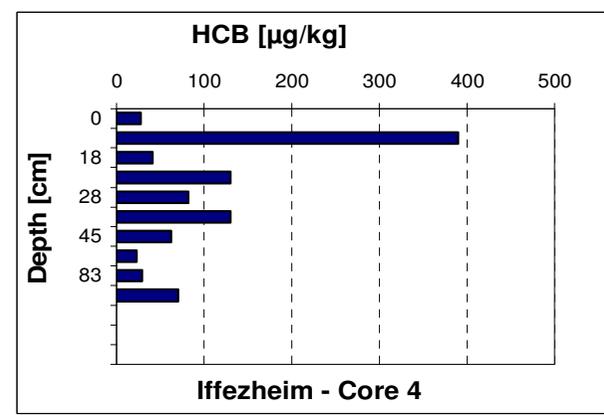
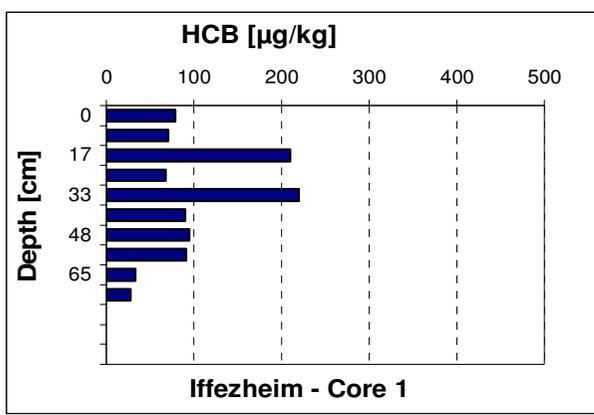
Cadmium and PCB in sediment cores of the Ruhr impoundment near Duisburg

Cadmium in mg/kg

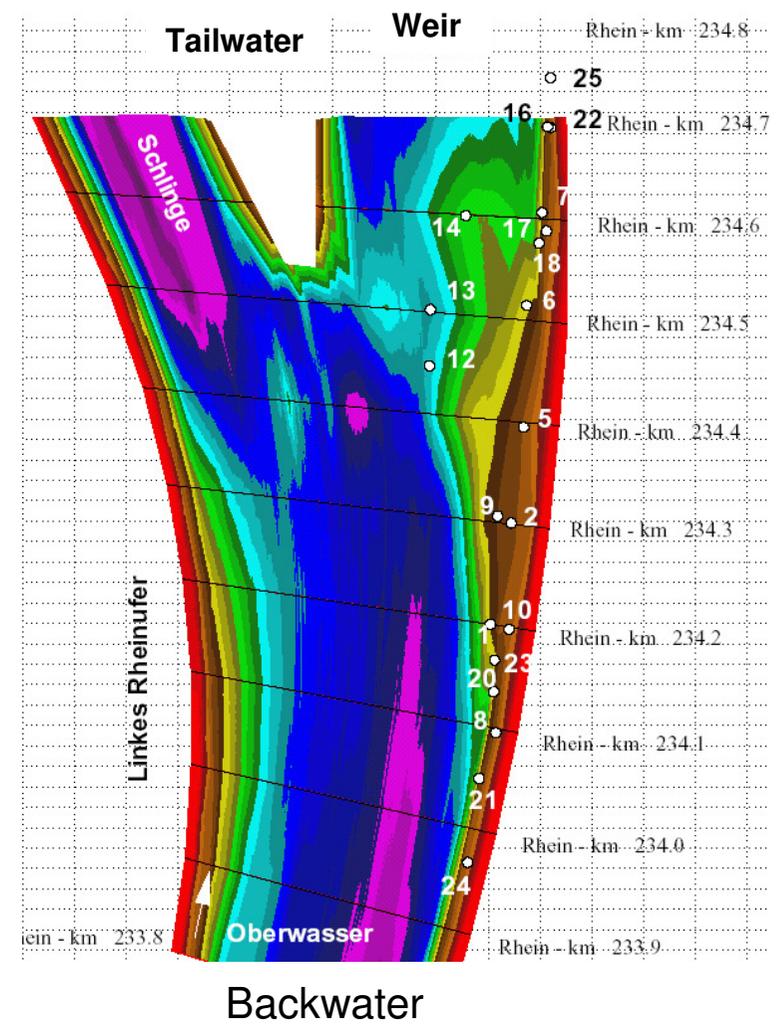
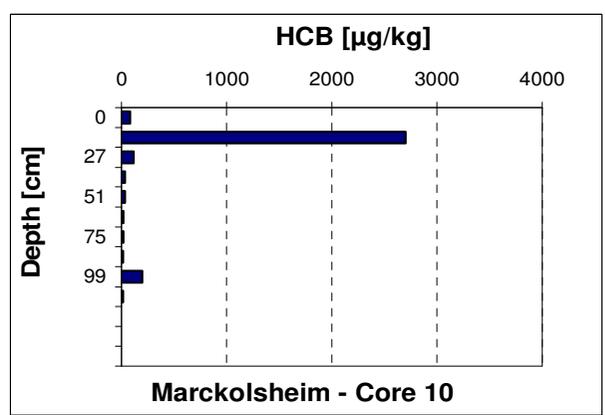
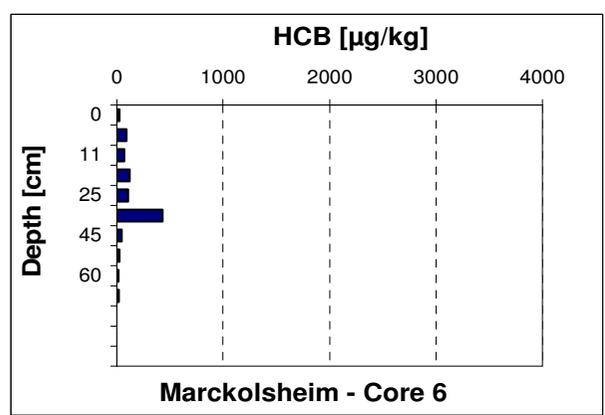
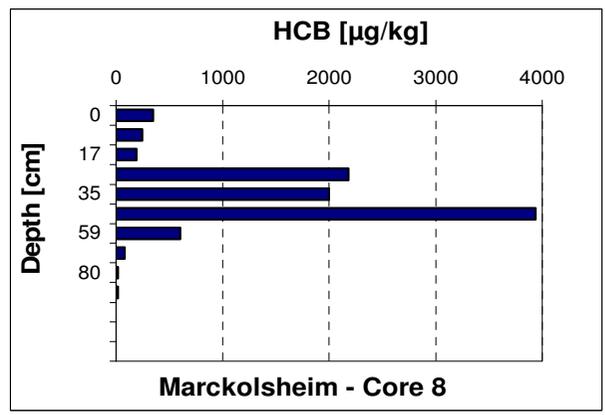
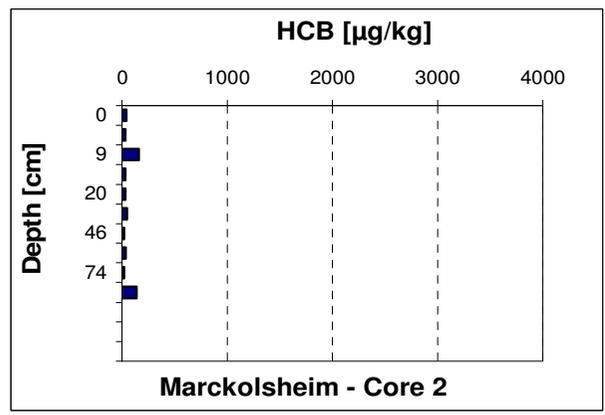
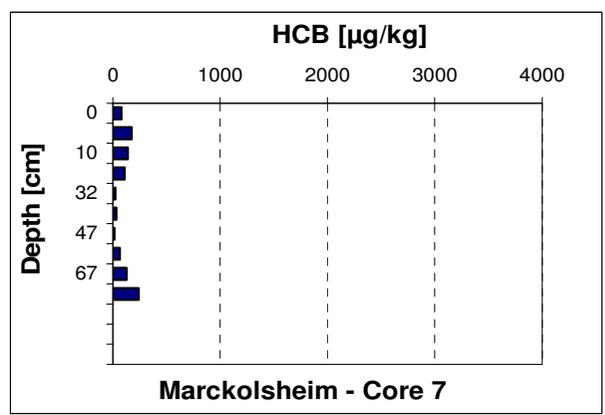
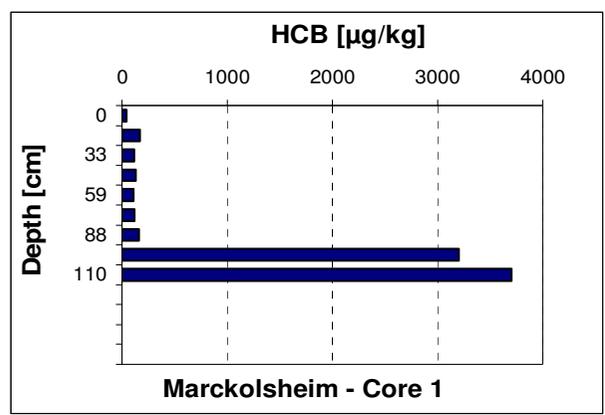
PCB 153 in µg/kg



HCB in sediment cores of the Iffezheim impoundment



HCb in sediment cores of the Marckolsheim impoundment



ICPR Research Project (2000-2003)



Critical erosion shear stress (in Pa):

Impoundment	Min	upper half	lower half	Max	N
Iffezheim	0,20	1,08	1,33	5,11	260
Gambsheim	0,46	2,03	2,74	8,16	122
Gerstheim	0,31	2,08	2,40	4,87	106
Duisburg/Ruhr	0,38	1,36	3,30	9,03	117
Eddersheim/Main	0,30	3,65	6,31	9,03	93

Assessment of total HCB remobilization for a high flood event, e.g. in May 1999 :
Q_{max} = 4500 m³/s, Q over 12 days >3000 m³/s at Iffezheim

Sum of assessment of five impoundments: 51 kg (Underestimate)

Cause and background for the ICPR sediment initiative

1. During the period 1960-1985 large amounts (tons) of Hexachlorobenzene, mainly as by-product from chemical production near Rheinfelden (km 148) were discharged into the Upper Rhine.
2. Older sediments in the barrages next the emission site are still highly contaminated.
3. These contaminated sediments are moving downstream when they become remobilized (e.g. by high floods or dredging activities) and settle in areas of low flow velocity like the impoundments in Gamsheim and Iffezheim.
4. The last barrage of the river Rhine is located at Iffezheim (km 334). About 150 000 m³ of sediments per year have to be dredged in the backwater of this impoundment to guarantee the safety of the dams and the flood discharge.
5. The question is, a) how historic polluted sediments nowadays are of effect on the water and suspended sediment quality during high flood events and/or during dredging and relocation activities and
b) are polluted sediments of the Upper Rhine also a risk for sediment quality in regions far downstream like the Netherlands?

Objectives of the ICPR sediment initiative

- Fulfil Art. 3, point 3 of the ICPR Rhine Convention:
„Improvement of sediment quality in order to relocate dredged material without harm“.
- The sediment management plan for contaminated sediments is addressed to competent authorities in the watersheds for implementation in measure programs according to WFD. In case of risk of failure the good ecological and chemical status by contaminated sediments recommendation are given for appropriate measures and actions.

Concept and results

Basis: SedNet recommendations and two studies of contaminant situation along the rivers Rhine¹ and Elbe² (S. Heise)

- 1: Inventory of historical contaminated sediment in Rhine basin and its tributaries – Oct 2004
- 2: Study on pollutant load of sediments in the river Elbe watershed (german) – Dec 2005

A three step approach:

- Identification and classification of pollutants that are relevant in the watershed
- Identification and classification of areas with an increased pollution load
- Identification and classification of areas of risk

Relevant pollutants and classification of sediment pollution

Classification taken ICPR target values as basis

ICPR target values



Relevant sediment pollution

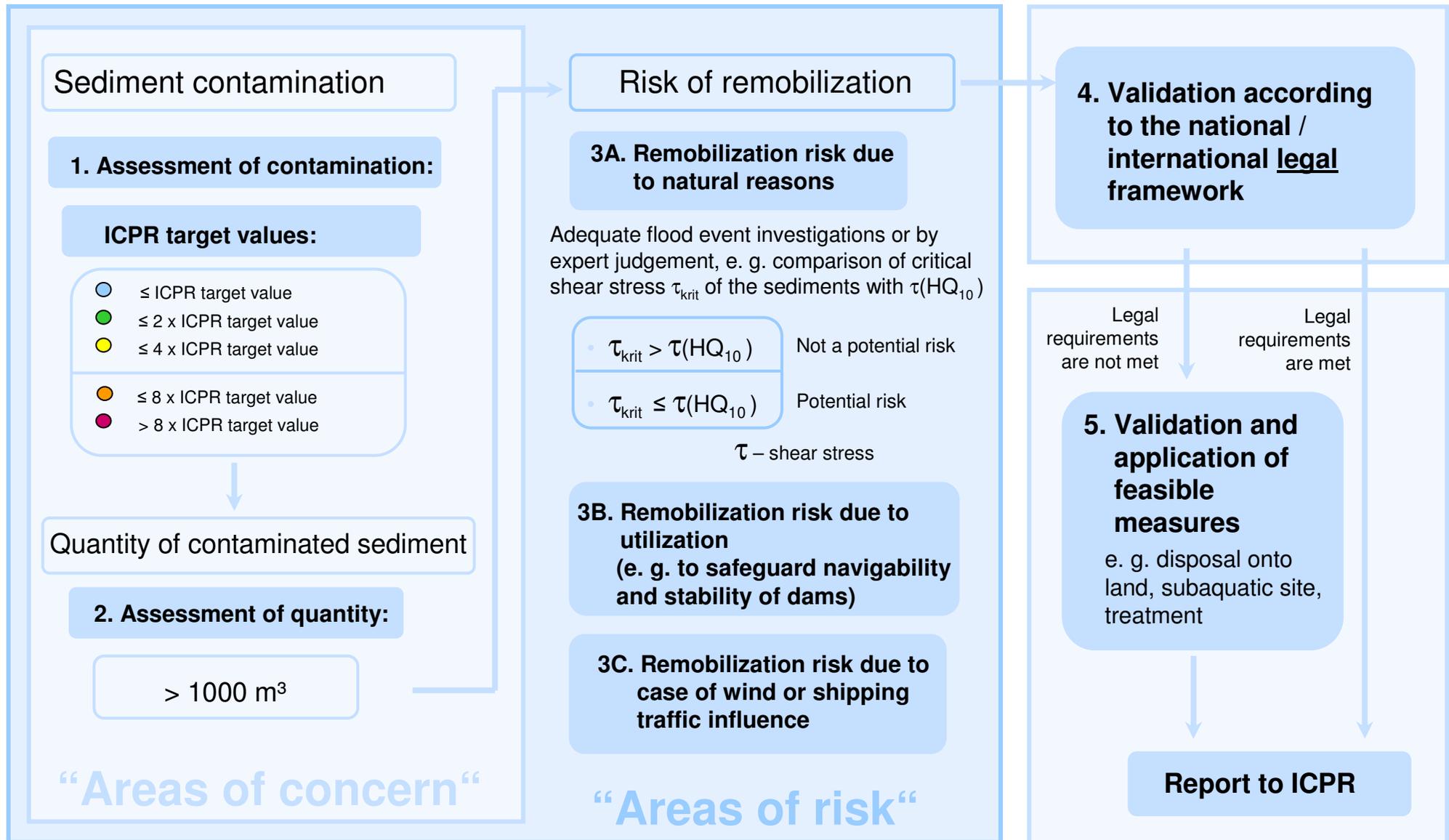


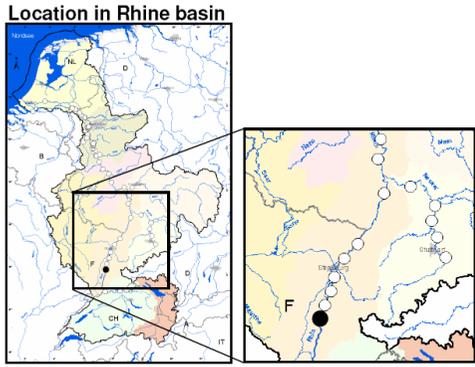
Pollutant	Unit	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5
Cd	mg/kg	≤ 1	> 1 - 2	> 2 - 4	> 4 - 8	> 8
Cu	mg/kg	≤ 50	> 50 - 100	> 100 - 200	> 200 - 400	> 400
Hg	mg/kg	≤ 0,5	> 0,5 - 1	> 1 - 2	> 2 - 4	> 4
Ni	mg/kg	≤ 50	> 50 - 100	> 100 - 200	> 200 - 400	> 400
Pb	mg/kg	≤ 100	> 100 - 200	> 200 - 400	> 400 - 800	> 800
Zn	mg/kg	≤ 200	> 200 - 400	> 400 - 800	> 800 - 1600	> 1600
Benzo(a) pyren	mg/kg	≤ 0,4	> 0,4 - 0,8	> 0,8 - 1,6	> 1,6 - 3,2	> 3,2
HCB	µg/kg	≤ 40	> 40 - 80	> 80 - 160	> 160 - 320	> 320
PCB 153	µg/kg	≤ 4	> 4 - 8	> 8 - 16	> 16 - 32	> 32
PCB (Sum of 7)	µg/kg	≤ 28	> 28 - 56	> 56 - 112	> 112 - 224	> 224



Decision making for the identification of areas of risk

- concept for rule-based evaluation -



Site 3 - Marckolsheim/Rhine										Risk Area Type A	
Summary of Data	Pollutant	Unit	Year	Minimum	Average concentr.	Maximum	N	Concentration in susp. sediment (Karlsruhe, 2003-2005)		National criteria exceeded	
								3-y Average	3-times 3-y-Average		
	Cd	mg/kg	2001	0,2	0,82	2,3	35	0,5	1,5	0,82	
	Cu	mg/kg	2001	48,3	84,9	172	35	62	186	84,9	
	Hg	mg/kg	2001	0,2	1,5	4,8	35	0,37	1,11	1,5	
	Ni	mg/kg	2001	49,9	65,9	87,9	35	50,9	152,7	65,9	
	Pb	mg/kg	2001	36,3	73,5	146	35	45,7	137,1	73,5	
	Zn	mg/kg	2001	140	254	500	35	210	630	254	
	Benzo(a)pyren	µg/kg	---	---	---	---	---	0,12	0,36	---	
	HCB	µg/kg	2001	13	609	4100	95	22,5	67,5	609	
PCB 153	µg/kg	2001	1,7	8,7	45	49	6,4	19,2	8,7		
PCB (Sum 7)	µg/kg	2001	6,6	48,8	400	---	24,2	72,6	48,8		
critical shear stress											
τ_{crit}	Pa	2001	0,34	2,45	10,48	289					
Sediment volume (assessment)											
V_s	10 ³ m ³			100 - 250							
Last dredging period											
V_d	m ³	2004		8600							
Sediment area											
A_s	m ²			ca. 50.000							
Short description of site											
<p>Marckolsheim ist eine der 10 Stauufen am Oberrhein (Schlingenlösung). Es kommt unter Normalabflussbedingungen zur Ausbildung eines annähernd stehenden Wasserkörpers im Bereich der Wehre und hierdurch zu sedimentationsfördernden Bedingungen. Strömungsbedingungen, Schifffahrtsbetrieb oder Unterhaltungsbaggerungen sorgen für eine Eintiefung der Sohle, die die Schifffahrtsrinne darstellt. Zudem kann sich auf der linken Rheinseite am Gleithang, d.h. im Übergang in die Schlinge ein zweiter Sedimentationsbereich ergeben, der jedoch in Umfang und Bedeutung deutlich zurücksteht.</p> <p>Jährliches Baggervolumen: (1990-2005) 6200 m³/a Probenahme: Sedimentkerne Weitergehende Daten: Abschlussbericht der IKSR</p>											
<p>Location in Rhine basin</p> 											
Risk assessment	<p>Die drei Kriterien hohe Belastung (hier HCB) und große Mengen Sediment, die leicht remobilisierbar sind, sind mit hoher Wahrscheinlichkeit erfüllt. Die umfangreiche Datenlage lässt zusammen mit den Ergebnissen aus Hochwasserbeprobungen auf eine Altlastenquelle auf der rechten Rheinseite schließen, die signifikant zur Belastung der Schwebstoffe und Sedimente unterhalb beiträgt. Lediglich im Bereich unmittelbar vor dem Stauwehr und in Bereichen, in denen regelmäßig gebaggert wird (z. B. Schleusenbereich), sind die HCB-Belastungen der Sedimente niedrig (unter 100 µg/kg). Das Kriterium der IKSR-Empfehlung zur Baggergutumlagerung für belastete Sedimente ist bezüglich HCB für fast alle untersuchten Sedimentbereiche auf der rechten Rheinseite deutlich überschritten. Das Risiko, auch bei der Unterhaltungsbaggerung im Wehrbereich belastete Sedimente des angrenzenden Bereiches umzulagern ist daher groß.</p>										
Legal framework	<p>National/international legal requirements fulfilled:</p> <p><input type="checkbox"/> ja</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> nein, Handlungsanweisung für den Umgang mit Baggergut im Binnenbereich (HABAB-WSV) wird in Bezug auf Quecksilber und Hexachlorbenzol nicht erfüllt, wobei der Vergleichswert für HCB um das 9-fache überschritten ist (siehe oben, rechter Teil der Datentabelle)</p>										
Recommendation	<p>High priority of verification in regard to remediation</p> <p>Hohe Priorität der Sanierung. Vorgeschlagen wird, mittels einer Rasteruntersuchung über den Sedimentationsbereich bis zur die HCB-Belastung auf die relevanten Sedimenthorizonte einzugrenzen. Vorläufige Schätzungen gehen von 160 000 m³ bis 260 000 m³ belastetem Material aus.</p>										

Potential of remobilization	<p>Discussion of data and expert judgement</p> <p><u>Potentieller Strömungsangriff/Erosionsstabilität: Potentielles Risiko zur Remobilisierung im Rahmen der Unterhaltung (Baggerungen).</u></p> <p>Die Stauhaltung Marckolsheim (sowie Stauhaltungen im Allgemeinen) weist eine komplexe Geometrie mit komplizierter Hydraulik (dreidimensionale Strömungsmuster, zusätzliche Instationarität durch Wehrsteuerung) auf. Der Strömungsangriff (Kenngrößen Geschwindigkeit, Sohlschubspannung in Abhängigkeit des Durchflusses) kann daher nicht durch vereinfachte Ansätze abgeschätzt werden, sondern nur durch ein diskretes mehrdimensionales Strömungsmodell belastbar ermittelt werden. Mit den Untersuchungen von Witt (2004) liegen entsprechende Ergebnisse vor, wonach die angreifende Schubspannung die oben angegebene kritische Erosions-Schubspannung (sowohl Mittelwert als auch Maximalwerte) der untersuchten Sedimente bei einem zugrundegelegten HQ100-Abfluss von 4500 m³/s im gesamten Untersuchungsgebiet insbesondere nahe des Wehres deutlich übersteigt. Im Bereich des vorderen Anlandungskeiles am rechten Ufer werden die kritischen Schubspannungen bereits bei einem Abfluss von 2750 m³/s überschritten. Der Abfluss für HQ₁₀₀ liegt im Vergleich dazu bei 3650 m³/s.</p> <p>Im Bereich des Wehrfeldes der Staustufe Marckolsheim und weiter südlich sind im Laufe der Zeit Sedimentmengen in der Größenordnung von 100.000 m³ angelandet. Es ist dabei mit durch HCB zum Teil stark belasteten Sedimentmengen zu rechnen im Bereich von ¼ Mio. m³, da die Anlandungen bis zu etwa 5 m Mächtigkeit haben, jedoch bisher nur bis in etwa 1 m Tiefe Untersuchungen durchgeführt wurden. Im Rahmen der Unterhaltung werden in Abständen von 3-5 Jahren Baggerungen im Wehrbereich und/oder im Schleusenbereich durchgeführt, die rezente, gering belastete Sedimente betreffen.</p> <p><u>Im Wehrfeld Marckolsheim besteht ein Risiko daher sowohl bzgl. der Remobilisierung durch Strömung als auch in kleinerem Umfang durch Unterhaltung.</u></p>
Uncertainty of data	<p>Uncertainty with regard to level of pollution:</p> <p>Der Sedimentationsbereich wurde sehr intensiv beprobt und entsprechend ist die Datenlage bis in etwa 1 m Tiefe gut. Streng genommen sind die in 2001 ermittelten Werte für HCB und andere chem. Parameter, sowie Sedimentdichte und krit. Schubspannung keine aktuelle belastbare Grundlage, da diese Sedimente aus dem Bereich zum Teil durch Erosion ausgetragen oder teilweise durch neue Sedimente überdeckt wurden. Neue Sedimente mit anderen Eigenschaften (Sandanteil nach Witt bestimmende Größe für Erosionsstabilität) weisen möglicherweise ein stark unterschiedliches Risiko auf. Einzelne Untersuchungen der LUBW in der vergleichbaren benachbarten Stauhaltung Rheinau in Tiefen von 2-4 m bestätigen auch in diesem Bereich die hohe HCB-Belastung. Diese Horizonte sind sehr viel seltener von Erosion betroffen, können aber bei starkem und lang anhaltendem Hochwasser auch remobilisiert werden.</p> <p>Uncertainty with regard to the amount of polluted sediment:</p> <p>Die Abschätzung der vor dem Wehr im Laufe der Zeit angelandeten Sedimentmengen basiert auf Querprofil- und Flächenandstellungen mit Höhenangaben, welche eine hohe Genauigkeit aufweisen. Durch Abschätzung der Sedimentmächtigkeit gegenüber des ursprünglichen Querprofils und lineare Interpolation zwischen Querprofilen lässt sich die Größenordnung der Anlandungen abschätzen. Nach 1990 wurden bei Marckolsheim rund 100.000 m³ gebaggert, somit etwa 6.000 m³ pro Jahr, zuletzt in 2004. Die Veränderungen der Sohlhöhen weisen allein in einem 3 Jahres-Zeitraum (1999-2002) Anlandungs- und Erosionsbereiche von 1 m Mächtigkeit auf, welches der Tiefe der Beprobungen aus 2001 entspricht.</p> <p>Uncertainty with regard to level of remobilization:</p> <p>Die kritische Schubspannung feiner Sedimente kann mit verschiedenen stark unterschiedlichen Methoden untersucht werden (in situ, im Labor durch Strömungsversuche, Jet-Strahl, Scherversuche, Dichtebestimmung). Die Untersuchung von Witt setzt die ungestörten Proben unter steuerbaren Laborbedingungen (Strömungsangriff) einer sohlparallelen Strömung aus, Strömungs- und Turbulenzcharakteristik in einem Rechteckgerinne, sowie andere Einflussgrößen wie Temperatur, pH-Wert, Salzgehalt wurden hier nicht explizit untersucht. Weiterhin gibt es sowohl bei der Bestimmung der Schubspannung im Laborversuch als auch im Strömungsmodell Wahlmöglichkeiten. Trotzdem sprechen die generell niedrigen Werte der krit. Schubspannung dafür, dass eine hohe Remobilisierbarkeit in Abhängigkeit von Q und der Zeitdauer der Einwirkung gegeben ist.</p>

Reference sheet - example „Marckolsheim“

Reference sheet - example „Marckolsheim“

Site 3 - Marckolsheim/Rhine

Risk Area
Type A

Pollutant	Unit	Year	Minimum	Average concentr.	Maximum	N	Concentration in susp. sediment (Karlsruhe, 2003-2005)		National criteria exceeded
							3-y Average	3-times 3-y-Average	
Cd	mg/kg	2001	0,2	0,82	2,3	35	0,5	1,5	0,82
Cu	mg/kg	2001	48,3	84,9	172	35	62	186	84,9
Hg	mg/kg	2001	0,2	1,5	4,8	35	0,37	1,11	1,5
Ni	mg/kg	2001	49,9	65,9	87,9	35	50,9	152,7	65,9
Pb	mg/kg	2001	36,3	73,5	146	35	45,7	137,1	73,5
Zn	mg/kg	2001	140	254	500	35	210	630	254
Benzo(a)pyren	mg/kg	---	---	---	---	---	0,12	0,36	---
HCB	µg/kg	2001	13	609	4100	95	22,5	67,5	609
PCB 153	µg/kg	2001	1,7	8,7	45	49	6,4	19,2	8,7
PCB (Sum 7)	µg/kg	2001	6,6	48,8	400	---	24,2	72,6	48,8

critical shear stress

τ_{krit}	Pa	2001	0,34	2,45	10,48	289
---------------	----	------	------	------	-------	-----

Sediment volume (assessment)

V_s	10^3 m^3	100 - 250
-------	--------------------	-----------

Last dredging period

V_B	m^3	8600
-------	--------------	------

Sediment area

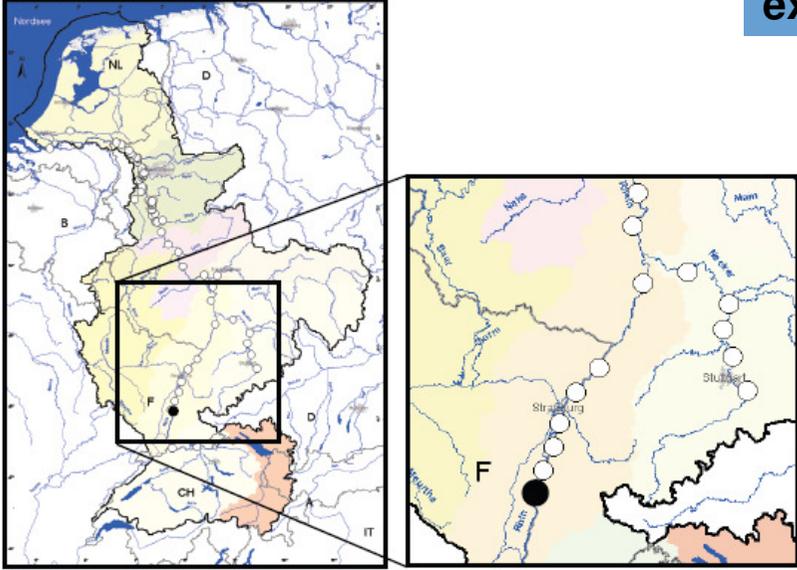
A_s	m^2	ca. 50.000
-------	--------------	------------

Summary of Data

Short description of site

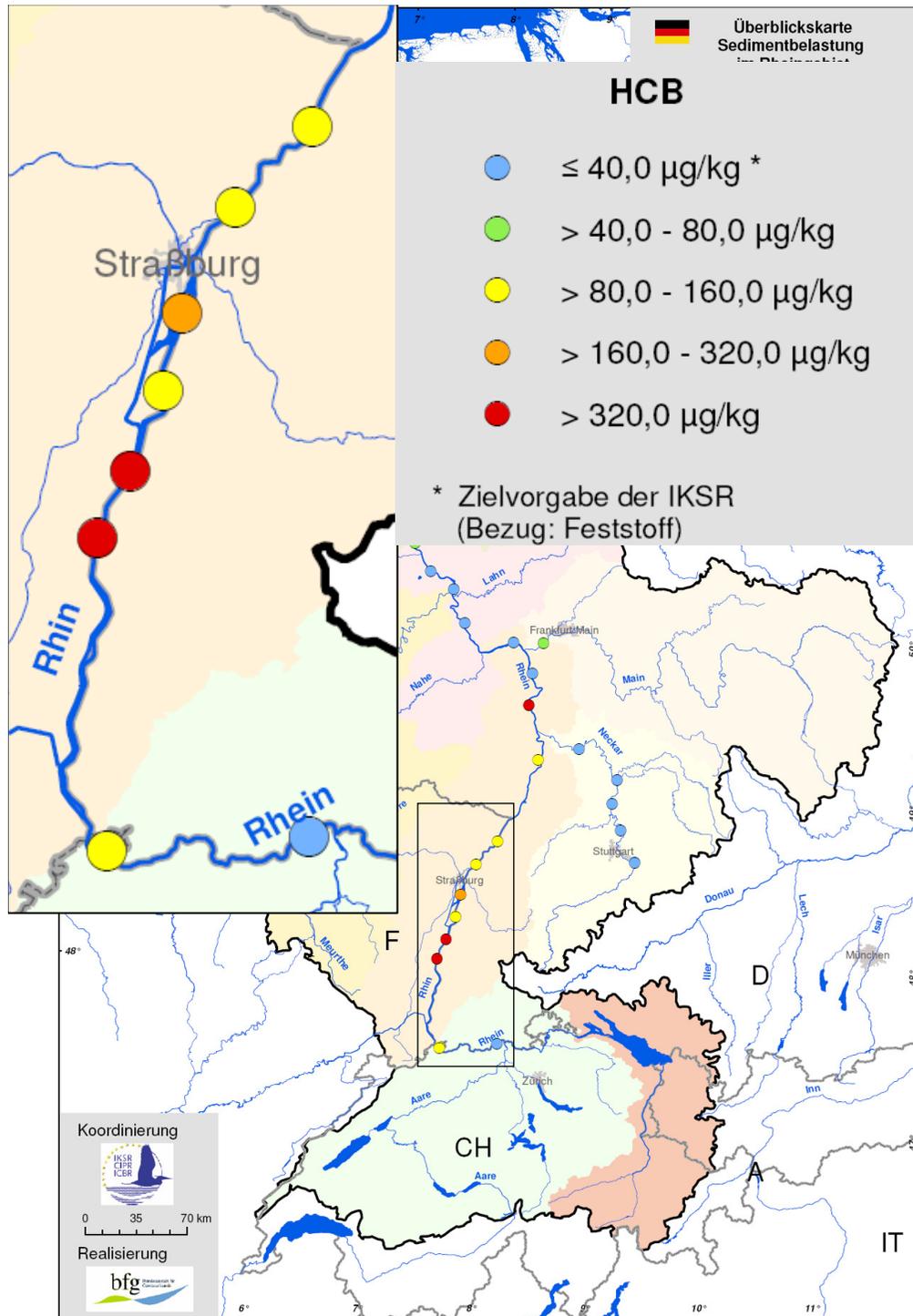
Location in Rhine basin



<p>Sum</p>	<p>Short description of site</p> <p>Marckolsheim ist eine der 10 Staustufen am Oberrhein (Schlingenlösung). Es kommt unter Normalabflussbedingungen zur Ausbildung eines annähernd stehenden Wasserkörpers im Bereich der Wehre und hierdurch zu sedimentationsfördernden Bedingungen. Strömungsbedingungen, Schiffahrtsbetrieb oder Unterhaltungsbaggerungen sorgen für eine Eintiefung der Sohle, die die Schiffahrtsrinne darstellt. Zudem kann sich auf der linken Rheinseite am Gleithang, d.h. im Übergang in die Schlinge ein zweiter Sedimentationsbereich ergeben, der jedoch in Umfang und Bedeutung deutlich zurücksteht.</p> <p>Jährliches Baggervolumen: (1990-2005) 6200 m³/a</p> <p>Probenahme: Sedimentkerne</p> <p>Weitergehende Daten: Abschlussbericht der IKSR</p>	<p>Location in Rhine basin</p> 
<p>Risk assessment</p>	<p>Die drei Kriterien hohe Belastung (hier HCB) und große Mengen Sediment, die leicht remobilisierbar sind, sind mit hoher Wahrscheinlichkeit erfüllt. Die umfangreiche Datenlage lässt zusammen mit den Ergebnissen aus Hochwasserbeprobungen auf eine Altlastenquelle auf der rechten Rheinseite schließen, die signifikant zur Belastung der Schwebstoffe und Sedimente unterhalb beiträgt. Lediglich im Bereich unmittelbar vor dem Stauwehr und in Bereichen, in denen regelmäßig gebaggert wird (z. B. Schleusenbereich), sind die HCB-Belastungen der Sedimente niedrig (unter 100 µg/kg). Das Kriterium der IKSR-Empfehlung zur Baggertumlagerung für belastete Sedimente ist bezüglich HCB für fast alle untersuchten Sedimentbereiche auf der rechten Rheinseite deutlich überschritten. Das Risiko, auch bei der Unterhaltungsbaggerung im Wehrbereich belastete Sedimente des angrenzenden Bereiches umzulagern ist daher groß.</p>	
<p>Legal framework</p>	<p>National/international legal requirements fulfilled:</p> <p><input type="checkbox"/> ja</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> nein, Handlungsanweisung für den Umgang mit Baggergut im Binnenbereich (HABAB-WSV) wird in Bezug auf Quecksilber und Hexachlorbenzol nicht erfüllt, wobei der Vergleichswert für HCB um das 9-fache überschritten ist (siehe oben, rechter Teil der Datentabelle)</p>	
<p>Recommendation</p>	<p>High priority of verification in regard to remediation</p> <p>Hohe Priorität der Sanierung. Vorgeschlagen wird, mittels einer Rasteruntersuchung über den Sedimentationsbereich bis zur Sohle die HCB-Belastung auf die relevanten Sedimenthorizonte einzugrenzen. Vorläufige Schätzungen gehen von 160 000 m³ bis 260 000 m³ belastetem Material aus.</p>	

Potential of remobilization	<p>Discussion of data and expert judgement</p> <p><u>Potentieller Strömungsangriff/Erosionsstabilität: Potentielles Risiko zur Remobilisierung im Rahmen der Unterhaltung (Baggerarbeiten)</u></p> <p>Die Stauhaltung Marckolsheim (sowie Stauhaltungen im Allgemeinen) weist eine komplexe Geometrie mit komplizierter Hydrodynamik (dreidimensionale Strömungsmuster, zusätzliche Instationarität durch Wehrsteuerung) auf. Der Strömungsangriff (Kenngrößen: Geschwindigkeit, Sohlschubspannung in Abhängigkeit des Durchflusses) kann daher nicht durch vereinfachte Ansätze abgeschätzt werden, sondern nur durch ein diskretes mehrdimensionales Strömungsmodell belastbar ermittelt werden. Mit den Untersuchungen von Witt (2004) liegen entsprechende Ergebnisse vor, wonach die angreifende Schubspannung die oben angegebene kritische Erosionsschubspannung (sowohl Mittelwert als auch Maximalwerte) der untersuchten Sedimente bei einem zugrundegelegten HQ100-Abfluss von 4500 m³/s im gesamten Untersuchungsbereich insbesondere nahe des Wehres deutlich übersteigt. Im Bereich des vorderen Anlandungskeiles am rechten Ufer werden die kritischen Schubspannungen bereits bei einem Abfluss von 2750 m³/s überschritten. Der Abfluss für HQ₁₀ liegt im Vergleich dazu bei 3650 m³/s.</p> <p>Im Bereich des Wehrfeldes der Staustufe Marckolsheim und weiter südlich sind im Laufe der Zeit Sedimentmengen in der Größenordnung von 100.000 m³ angelandet. Es ist dabei mit durch HCB zum Teil stark belasteten Sedimentmengen zu rechnen im Bereich von ¼ Mio. m³, da die Anlandungen bis zu etwa 5 m Mächtigkeit haben, jedoch bisher nur bis in etwa 1 m Tiefe Untersuchungen durchgeführt wurden. Im Rahmen der Unterhaltung werden in Abständen von 3-5 Jahren Baggerungen im Wehrbereich und/oder im Schleusenbereich durchgeführt, die rezente, gering belastete Sedimente betreffen.</p> <p><u>Im Wehrfeld Marckolsheim besteht ein Risiko daher sowohl bzgl. der Remobilisierung durch Strömung als auch in kleinerem Umfang durch Unterhaltung.</u></p>
-----------------------------	--

Uncertainty of data	<p>Uncertainty with regard to level of pollution:</p> <p>Der Sedimentationsbereich wurde sehr intensiv beprobt und entsprechend ist die Datenlage bis in etwa 1 m Tiefe gut. Streng genommen sind die in 2001 ermittelten Werte für HCB und andere chem. Parameter, sowie Sedimentdichte und krit. Schubspannung keine aktuelle belastbare Grundlage, da diese Sedimente aus dem Bereich zum Teil durch Erosion ausgetragen oder teilweise durch neue Sedimente überdeckt wurden. Neue Sedimente mit anderen Eigenschaften (Sandanteil nach Witt bestimmende Größe für Erosionsstabilität) weisen möglicherweise ein stark unterschiedliches Risiko auf. Einzelne Untersuchungen der LUBW in der vergleichbaren benachbarten Stauhaltung Rheinau in Tiefen von 2-4 m bestätigen auch in diesem Bereich die hohe HCB-Belastung. Diese Horizonte sind sehr viel seltener von Erosion betroffen, können aber bei starkem und lang anhaltendem Hochwasser auch remobilisiert werden.</p> <p>Uncertainty with regard to the amount of polluted sediment:</p> <p>Die Abschätzung der vor dem Wehr im Laufe der Zeit angelandeten Sedimentmengen basiert auf Querprofil- und Flächendarstellungen mit Höhenangaben, welche eine hohe Genauigkeit aufweisen. Durch Abschätzung der Sedimentmächtigkeit gegenüber des ursprünglichen Querprofils und lineare Interpolation zwischen Querprofilen lässt sich die Größenordnung der Anlandungen abschätzen. Nach 1990 wurden bei Marckolsheim rund 100.000 m³ gebaggert, somit etwa 6.000 m³ pro Jahr, zuletzt in 2004. Die Veränderungen der Sohlhöhen weisen allein in einem 3 Jahres-Zeitraum (1999-2002) Anlandungs- und Erosionsbereiche von 1 m Mächtigkeit auf, welches der Tiefe der Beprobungen aus 2001 entspricht.</p> <p>Uncertainty with regard to level of remobilization:</p> <p>Die kritische Schubspannung feiner Sedimente kann mit verschiedenen stark unterschiedlichen Methoden untersucht werden (in situ, im Labor durch Strömungsversuche, Jet-Strahl, Scherversuche, Dichtebestimmung). Die Untersuchung von Witt setzt die ungestörten Proben unter steuerbaren Laborbedingungen (Strömungsangriff) einer sohlparallelen Strömung aus, Strömungs- und Turbulenzcharakteristik in einem Rechteckgerinne, sowie andere Einflussgrößen wie Temperatur, pH-Wert, Salzgehalt wurden hier nicht explizit untersucht. Weiterhin gibt es sowohl bei der Bestimmung der Schubspannung im Laborversuch als auch im Strömungsmodell Wahlmöglichkeiten. Trotzdem sprechen die generell niedrigen Werte der krit. Schubspannung dafür, dass eine hohe Remobilisierbarkeit in Abhängigkeit von Q und der Zeitdauer der Einwirkung gegeben ist.</p>
---------------------	--



Sediment management plan Rhine

HCB concentrations of sediments in impoundments of the Upper Rhine (in µg/kg)

Impoundment	Mean value	Maximum value
Iffezheim	158	910
Gamsheim	127	400
Strasbourg	223	2300
Gerstheim	135	1500
Rheinau	1110	3400
Marckolsheim	609	4100
Birsfelden	83	280
Albbruck-Dogern	1,6	4,3

Thank you very much for your attention



Dr. Martin Keller
German Federal Institute of Hydrology
Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz

Phone: +49 (0)261/1306-5311
E-Mail: keller@bafg.de
www.bafg.de