

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT
- Wasserwirtschaft -

Forschungsbericht 298 22 243
UBA-FB 000181



Bilanzierung des Eintrags prioritärer Schwermetalle in Gewässer

von

Eberhard Böhm
Thomas Hillenbrand
Frank Marscheider-Weidemann
Christian Schempp

Fraunhofer-Institut für Systemforschung und
Innovationsforschung, Karlsruhe

Stephan Fuchs
Ulrike Scherer

Institut für Siedlungswasserwirtschaft Universität Karlsruhe (TH)

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Diese TEXTE-Veröffentlichung kann bezogen werden bei
Vorauszahlung von DM 15,-- (7,67 Euro)
durch Post- bzw. Banküberweisung,
Verrechnungsscheck oder Zahlkarte auf das

Konto Nummer 4327 65 - 104 bei der
Postbank Berlin (BLZ 10010010)
Fa. Werbung und Vertrieb,
Ahornstraße 1-2,
10787 Berlin

Parallel zur Überweisung richten Sie bitte
eine schriftliche Bestellung mit Nennung
der **Texte-Nummer** sowie des **Namens**
und der **Anschrift des Bestellers** an die
Firma Werbung und Vertrieb.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr
für die Richtigkeit, die Genauigkeit und
Vollständigkeit der Angaben sowie für
die Beachtung privater Rechte Dritter.
Die in der Studie geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 33 00 22
14191 Berlin
Tel.: 030/8903-0
Telex: 183 756
Telefax: 030/8903 2285
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet II 3.2
Dr. Joachim Heidemeier

Berlin, Juli 2001

Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB 000181	2.	3. Wasserwirtschaft
4. Titel des Berichts Bilanzierung des Eintrags prioritärer Schwermetalle in Gewässer		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Dr. Böhm, Eberhard; Hillenbrand, Thomas; Dr. Marscheider-Weidemann, Frank; Schempp, Christian; Dr. Fuchs, Stephan; Scherer, Ulrike	8. Abschlußdatum 31. Juli 2000	
	9. Veröffentlichungsdatum	
6. Durchführende Institutionen (Name, Anschrift) Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Breslauer Str. 48, 76139 Karlsruhe Unter Mitarbeit von: Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe (TH)	10. UFOPLAN-Nr. 298 22 243	
	11. Seitenzahl 130	
	12. Literaturangaben 136	
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, D-14191 Berlin	13. Tabellen und Diagramme 47	
	14. Abbildungen 51	
15. Zusätzliche Angaben		
16. Kurzfassung <p>In dem vorliegenden Vorhaben wurden erstmals für Deutschland insgesamt die Einträge der Schwermetalle Arsen, Cadmium, Chrom, Kupfer, Quecksilber, Nickel, Blei, und Zink in die deutschen Gewässer abgeschätzt. Die Einträge wurden nach direkten industriellen und kommunalen Punktquellen sowie nach diffusen Schadstoffquellen unterschieden und sowohl nach den Herkunftsbereichen (Branchen) bzw. den Emissionspfaden als auch den großen Flussgebieten Donau, Rhein, Ems, Weser, Elbe, Oder, Nordsee und Ostsee aufgeschlüsselt. Bezugszeitraum sind die Jahre 1993 – 1997 bzw. bei den industriellen Direkt-einleitern das Jahr 1997.</p> <p>Für das Inventar wurden die unterschiedlichsten Einzel- bzw. aggregierten Daten genutzt wie Überwachungsdaten der Länder, internationale Berichte, Umweltberichte von Unternehmen, Berichte von Industrieverbänden und Ergebnisse verschiedener Forschungsvorhaben. Die Qualität der verfügbaren Daten war sehr unterschiedlich, daher mussten sie grundsätzlich auf Plausibilität und Kompatibilität überprüft werden. Hierzu waren in der Regel mehrere Iterationsschritte erforderlich, die häufig zu Korrekturen bisher verwendeter Emissionswerte führten. Daher ergeben sich teilweise Abweichungen zu bislang veröffentlichten Werten z. B. in internationalen Berichten.</p> <p>Der Anteil der diffusen Quellen liegt im Durchschnitt über alle Schwermetalle bei ca. 75 %. Die wichtigsten Eintragspfade bei den diffusen Emissionen sind die urbanen Flächen (dies sind vor allem die bei Regen über die Trenn- oder Mischkanalisation direkt in die Gewässer abgeleiteten Wassermengen) und die Erosion mit jeweils 31 % sowie die Einträge über das Grundwasser, die in etwa den geogenen Einträgen entsprechen, mit 20 % (Chrom 37 %, Nickel 34 %). Bei Cadmium und Zink spielen außerdem die Dränagen eine wichtige Rolle, mit 17 bzw. 15 % der gesamten diffusen Emissionen</p> <p>Die Punktquellen teilen sich in die kommunalen und die industriellen Einleitungen auf; der Anteil der kommunalen Emissionen liegt dabei für die Schwermetalle im Durchschnitt bei 77 % (zwischen 62 % bei Blei und knapp 93 % bei Quecksilber). Der mit Abstand wichtigste industrielle Bereich ist der Anhang 22 der AbwV nach §7a WHG (Chemische Industrie), in welchem im Durchschnitt über alle Schwermetalle etwa 40 % der Frachten emittiert werden.</p>		
17. Schlagwörter Abwasser, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Deposition, Diffuse Einträge, Dränagen, Emissionen, Emissionsinventar, Erosion, geogener Hintergrund, Gewässerschutz, Grundwasser, Kommunale Kläranlagen, Kupfer, Nährstoffe, Nickel, PRTR, Oberflächenabfluss, Quecksilber, Schifffahrt, Schwermetalle, urbane Flächen, Zink		
18. Preis	19.	20.

Report Cover Sheet

1. Report No. UBA-FB 000181	2.	3. Water Resources Management
4. Report Title Quantification of high priority heavy metal discharges of into water		
5. Autor(s), Surname(s), First Name(s) Dr. Böhm, Eberhard; Hillenbrand, Thomas; Dr. Marscheider-Weidemann, Frank; Schempp, Christian; Dr. Fuchs, Stephan; Scherer, Ulrike	8. Report Date 31.7.2000	9. Publication Date
6. Institutions involved (Name, Address) Fraunhofer-Institute for Systems and Innovation Research Breslauer Str. 48, 76139 Karlsruhe in cooperation with: Institute for Water Management, University of Karlsruhe (TH)	10. UFOPLAN-Ref. No. 298 22 243	11. No. of Pages 130
7. Sponsoring Agency (Name, Address) Federal Environmental Agency, PO Box 33 00 22, 14191 Berlin	12. No. of References 136	13. No. of Tables, Diagrams 47
15. Supplementary Notes	14. No. of Figures 51	
16. Abstract In this project, the amount of discharge into German waters of the heavy metals arsenic, cadmium, chrome, copper, mercury, nickel, lead and zinc were estimated for the first time for Germany as a whole. The discharges were distinguished according to direct industrial and municipal point sources as well as diffuse pollutant sources and classified according to areas of origin (sectors) and emission paths as well as the large river basins of the Danube, Rhine, Ems, Weser, Elbe, Oder, the North and the Baltic Seas. The reference time period was 1993 - 1997 and 1997 for the industrial direct emitters. For the inventory, very different individual and aggregated data were used such as Federal state monitoring data, international reports, environmental reports of companies, reports from industrial associations and the results of different research projects. The quality of the available data was very varied, and they therefore had to be checked for plausibility and compatibility. Usually, several iteration steps were necessary for this process which often led to corrections of formerly used emission figures. There were some deviations from previously published figures, e.g. in international reports. The share of diffuse heavy metal sources was on average ca. 75 %. The most important input paths for diffuse emissions are urban areas (above all, the volume of water which is diverted directly into water bodies when it rains via the separate or combined systems) and erosion with both 31 % on average, as well as the input via groundwater with about 20 %. For the heavy metals, external inputs via groundwater roughly depict the geogenic background pollution. An important source for cadmium and zinc emissions is also the drainage with 17 respectively 15 % of the total diffuse emissions. The point sources can be divided into municipal and industrial discharges; the share of municipal emissions for heavy metals is 77 % on average (between 62 % for lead and almost 93 % for mercury). The most important industrial branch is the chemical industry with 40 % of the total industrial discharge.		
17. Keywords Wastewater, arsenic, lead, cadmium, chrome, deposition, diffuse discharge, drainage, emissions, emission inventory, erosion, geogenic sources, prevention of water pollution, groundwater, municipal sewage plants, copper, nutrients, nickel, PRTR, surface runoff, mercury, shipping, heavy metals, urban areas, zinc		
18. Price	19.	20.

Zusammenfassung	1
 1 Internationale Anforderungen an die Ermittlung von Schadstoffeinträgen in Gewässer	4
 2 Ausgangspunkte und Zielsetzung des Vorhabens	8
 3 Datensituation und –auswertung bei den Punktquellen	10
3.1 Allgemeine Vorgehensweise	10
3.2 Kommunale Kläranlagen	10
3.2.1 Datenrecherche	10
3.2.2 Datenaufbereitung	11
3.2.3 Weitergehende Auswertungen.....	20
3.3 Industrielle Direkteinleiter.....	21
3.3.1 Datenrecherche und Methodik.....	21
3.3.2 Anhang 17: Herstellung keramischer Erzeugnisse	24
3.3.3 Zellstofferzeugung und Herstellung von Papier und Pappe (19. AbwasserVwV, Teil A und Anhang 19, Teil B der Rahmen-AbwasserVwV).....	25
3.3.4 Anhang 22: Chemische Industrie	27
3.3.5 Anhang 24A: Eisen- und Stahlherstellung, Anhang 24B: Eisen-, Stahl- und Tempergießerei	30
3.3.6 Anhang 25: Lederherstellung, Pelzveredelung, Lederfaserstoffherstellung	34
3.3.7 Anhang 30: Sodaherstellung.....	35
3.3.8 Anhang 31: Wasseraufbereitung, Kühlsysteme, Dampferzeugung	35
3.3.9 Anhang 37: Herstellung anorganischer Pigmente	37
3.3.10 Anhang 38: Textilherstellung, Textilveredlung.....	38
3.3.11 Anhang 39: Nichteisenmetallherstellung.....	39
3.3.12 Anhang 40: Metallbearbeitung, Metallverarbeitung	40

II

3.3.13	Anhang 41: Herstellung und Verarbeitung von Glas und künstlichen Mineralfasern	42
3.3.14	Anhang 42: Alkalichloridelektrolyse.....	44
3.3.15	Anhang 43: Herstellung von Chemiefasern, Folien und Schwammtuch nach dem Viskoseverfahren sowie Celluloseacetatfaser	45
3.3.16	44. AbwasserVwV: Herstellung von mineralischen Düngemitteln außer Kali	46
3.3.17	Anhang 47: Wäsche von Rauchgasen aus Feuerungsanlagen	48
3.3.18	Anhang 48: Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe.....	48
3.3.19	Anhang 51: Oberirdische Ablagerung von Abfällen.....	50
4	Beschreibung des Vorgehens und der Datensituation bei den diffusen Emissionen.....	51
4.1	Hofabläufe und Abdrift	52
4.2	Oberflächenabfluss von unbefestigten Flächen	53
4.3	Erosion.....	55
4.4	Dränagen.....	58
4.5	Atmosphärische Deposition.....	60
4.6	Urbane Flächen: Kanalisationen und nicht angeschlossene Einwohner.....	61
4.6.2	Einwohner, die weder an die Kanalisation noch an eine Kläranlage angeschlossen sind	68
4.7	Direkteinträge durch Schifffahrt.....	68
4.8	Geogene Hintergrundbelastung	69
5	Schwermetall-Emissionsinventar Deutschland.....	71
5.1	Gesamteinträge	71
5.2	Schwermetalleinträge von kommunalen Kläranlagen	72
5.2.1	Vergleich der Einträge aus kommunalen Kläranlagen mit anderen Abschätzungen für das deutsche Rheineinzugsgebiet.....	80

III

5.3	Schwermetalleinträge von industriellen Direkteinleitern	81
5.4	Schwermetalleinträge aus diffusen Quellen	102
5.5	Vergleich der berechneten Einträge mit Immissionswerten aus Rhein und Elbe	104
6	Vergleich mit Emissionsinventaren anderer Staaten	107
6.1	Das US Toxics Release Inventory (TRI)	107
6.2	Das UK Pollution Inventory – PI	108
6.3	Das Französische Emissionsinventar	111
6.4	Das Niederländische Pollutant Emission Register (PER)	111
6.5	Vergleich mit internationalen Ergebnissen	115
7	Handlungsempfehlungen für künftige Erhebungen	117
8	Literatur	120
	Danksagung	130

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.2-1:	Schema zur Qualitätssicherung der Eingangsdaten und zur Berechnung von einwohnerspezifischen Emissionsfaktoren	12
Abbildung 3.2-2:	Spektrum der angegebenen Bestimmungsgrenzen für Blei in $\mu\text{g/l}$	14
Abbildung 3.2-3:	Summenhäufigkeitsverteilung der tatsächlich gemessenen Werte für Blei ($n = 4060$).....	14
Abbildung 3.2-4:	Kupfer- und Bleikonzentrationen [$\mu\text{g/l}$] im Ablauf kommunaler Kläranlagen in Abhängigkeit von der Ausbaugröße (Einwohnerwerte).....	20
Abbildung 3.2-5:	Kupfer- und Bleikonzentrationen [$\mu\text{g/l}$] im Ablauf kommunaler Kläranlagen in Abhängigkeit vom Industrieanteil	21
Abbildung 3.3-1:	Abwasserströme bei chemischen Synthesen (BMU, LAWA, 2000).....	27
Abbildung 3.3.2:	Die bedeutendsten Standorte der Stahlerzeugung in der Bundesrepublik Deutschland und Angaben zu den Produktionsmengen in 1997 (Wirtschaftsvereinigung Stahl, 1998)	32
Abbildung 3.3.3:	Abwasserbezogenes Schema der Herstellung von Blei- und Zinkpigmenten (BMU, LAWA, 1996b).....	37
Abbildung 3.3-4:	Typische Verfahrensschritte bei der Behandlung von Abwasser aus dem Bereich Metallbe- und –verarbeitung (BMU, LAWA, 1999a)	41
Abbildung 3.3-5:	Größenklassen der Deponien in Deutschland 1997	50
Abbildung 4-1:	Diffuse Quellen und Eintragspfade für Schwermetalle (nach IKS, 1999).....	51
Abbildung 4.3-1:	Vorgehensweise bei der Bestimmung der Schwermetalleinträge durch Erosion (nach Behrendt et al., 1999).....	56

Abbildung 4.6-1: Herkunftsbereiche und Eintragspfade für Schwermetalle aus diffusen Quellen der Siedlungsentwässerung (verändert nach Stotz/Knoche, 2000)	61
Abbildung 5.1-1.a: Gesamtdarstellung der Einträge für Cadmium [kg/a]	73
Abbildung 5.1-1.b: Diffuse Einträge aus urbanen Gebieten für Cadmium [kg/a]	73
Abbildung 5.1-1.c: Sonstige diffuse Einträge für Cadmium [kg/a]	73
Abbildung 5.1-2.a: Gesamtdarstellung der Einträge für Chrom [kg/a]	74
Abbildung 5.1-2.b: Diffuse Einträge aus urbanen Gebieten für Chrom [kg/a]	74
Abbildung 5.1-2.c: Sonstige diffuse Einträge für Chrom [kg/a]	74
Abbildung 5.1-3.a: Gesamtdarstellung der Einträge für Kupfer [kg/a]	75
Abbildung 5.1-3.b: Diffuse Einträge aus urbanen Gebieten für Kupfer [kg/a]	75
Abbildung 5.1-3.c: Sonstige diffuse Einträge für Kupfer [kg/a]	75
Abbildung 5.1-4.a: Gesamtdarstellung der Einträge für Quecksilber [kg/a]	76
Abbildung 5.1-4.b: Diffuse Einträge aus urbanen Gebieten für Quecksilber [kg/a]	76
Abbildung 5.1-4.c: Sonstige diffuse Einträge für Quecksilber [kg/a]	76
Abbildung 5.1-5.a: Gesamtdarstellung der Einträge für Nickel [kg/a]	77
Abbildung 5.1-5.b: Diffuse Einträge aus urbanen Gebieten für Nickel [kg/a]	77
Abbildung 5.1-5.c: Sonstige diffuse Einträge für Nickel [kg/a]	77
Abbildung 5.1-6.a: Gesamtdarstellung der Einträge für Blei [kg/a]	78
Abbildung 5.1-6.b: Diffuse Einträge aus urbanen Gebieten für Blei [kg/a]	78
Abbildung 5.1-6.c: Sonstige diffuse Einträge für Blei [kg/a]	78

Abbildung 5.1-7.a: Gesamtdarstellung der Einträge für Zink [kg/a].....	79
Abbildung 5.1-7.b: Diffuse Einträge aus urbanen Gebieten für Zink [kg/a]	79
Abbildung 5.1-7.c: Sonstige diffuse Einträge für Zink [kg/a]	79
Abbildung 5.3-1: Übersicht über die Arsen-Emissionen industrieller Direkteinleiter.....	83
Abbildung 5.3-2: Übersicht über die Cadmium-Emissionen industrieller Direkteinleiter.....	84
Abbildung 5.3-3: Übersicht über die Cadmium-Einträge in deutsche Gewässer	85
Abbildung 5.3-4: Übersicht über die Chrom-Emissionen industrieller Direkteinleiter.....	87
Abbildung 5.3-5: Übersicht über die Chrom-Einträge in deutsche Gewässer	88
Abbildung 5.3-6: Übersicht über die Kupfer-Emissionen industrieller Direkteinleiter.....	89
Abbildung 5.3-7: Übersicht über die Kupfer-Einträge in deutsche Gewässer	90
Abbildung 5.3-8: Übersicht über die Quecksilber-Emissionen industrieller Direkteinleiter	92
Abbildung 5.3-9: Übersicht über die Quecksilber-Einträge in deutsche Gewässer	93
Abbildung 5.3-10: Übersicht über die Nickel-Emissionen industrieller Direkteinleiter.....	94
Abbildung 5.3-11: Übersicht über die Nickel-Einträge in deutsche Gewässer	95
Abbildung 5.3-12: Übersicht über die Blei-Emissionen industrieller Direkteinleiter.....	97
Abbildung 5.3-13: Übersicht über die Blei-Einträge in deutsche Gewässer	98

VII

Abbildung 5.3-14: Übersicht über die Zink-Emissionen industrieller Direkteinleiter.....	100
Abbildung 5.3-15: Übersicht über die Zink-Einträge in deutsche Gewässer	101
Abbildung 5.5-1: Vergleich der Schwermetallfrachten im Rhein bei Bimmen/ Lobith (Durchschnitts-, Minimum- und Maximumwert der Jahre 1991 bis 1996; IKS, 1999) mit den Gesamteinträgen aus eigenen Berechnungen und der IKS.....	105
Abbildung 5.5-2: Vergleich der berechneten Einträge für das deutsche Einzugsgebiet der Elbe bis Schnackenburg mit Schwermetallfrachten in der Elbe bei Schnackenburg (Mittelwert für 1993-1997; ARGE-Elbe, 2000).....	106
Abbildung 6.1-1: Emissionen ausgewählter Schwermetalle in Oberflächengewässer, 1988-1997 (EPA, 1998)	107
Abbildung 6.5-1: Pro-Kopf Emissionen der industriellen Direkteinleiter in Oberflächengewässer für verschiedene Staaten	116

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Gesamtübersicht über die Einträge in die deutschen Flussgebiete für das Bezugsjahr 1997	3
Tabelle 2-1:	Reduktionsziele für Schwermetalle auf Grund internationaler Schutzkonventionen (nach UBA, 1999)	8
Tabelle 3.2-1:	Mediane der Messwerte und daraus resultierende maximale Bestimmungsgrenzen in µg/l.....	13
Tabelle 3.2-3:	Anzahl der Werte pro Metall und Anteil über der Bestimmungsgrenze	15
Tabelle 3.2-2:	Anzahl der verwendeten Messwerte, Anteil größer Bestimmungsgrenze und berechnete mittlere Ablaufkonzentrationen in µg/l (<i>Werte in Klammern wurden nicht verwendet</i>)	16
Tabelle 3.2-4:	Mittlere Ablaufkonzentrationen in [µg/l] für die Alten und Neuen Bundesländer.....	17

VIII

Tabelle 3.2-5:	Mittlere Schwermetallablaufkonzentrationen kommunaler Kläranlagen für die großen Flussgebiete Deutschlands [$\mu\text{g/l}$]	18
Tabelle 3.2-6:	Angeschlossene Einwohner, Einwohnerwerte, gesamte behandelte Abwassermenge sowie einwohnerspezifische Abwassermenge (Statistisches Bundesamt, 1998a)	19
Tabelle 3.2-7:	Einwohnerspezifische Emissionsfaktoren [$\text{g/E}\cdot\text{a}$] für den Eintragspfad kommunale Kläranlagen	19
Tabelle 3.3-1:	Abschätzung der Schwermetallfrachten des Bereichs Zellstoff- und Papierherstellung über mittlere Konzentrationen	26
Tabelle 3.3-2:	Vergleich einiger aggregierter Auswertungen mit VCI-Verbandszahlen	29
Tabelle 3.3-3:	Übersicht über die Abwassermengen der Direkteinleiter 1995 in Mio. m^3/a (StaBu, 1999)	29
Tabelle 3.3-4:	Vergleich der VDEh-Frachten mit den erhobenen Werten	33
Tabelle 3.3-5:	Abwassermengen bei der Stahlherstellung	34
Tabelle 3.3-6:	Direkt eingeleitetes Kühlwasser 1995 (StaBu, 1998b)	36
Tabelle 3.3-7:	Übersicht über die Abwassermengen der Direkteinleiter 1995 in Mio. m^3/a (StaBu, 1999)	39
Tabelle 3.3-8:	Mittlere Schwermetallkonzentrationen im gereinigten Abwasser von Betrieben des Bereichs Metallbe- und -verarbeitung	42
Tabelle 3.3-9:	Produktionskapazitäten zur Herstellung von Chlor nach dem Amalgamverfahren 1998 (IPPC, 1999b)	44
Tabelle 3.3-10:	Abwassermengen bei der Chemiefaserproduktion 1995 in Mio. m^3/a (StaBu, 1999)	46
Tabelle 4.1-1:	Schwermetallgehalte in Düngemitteln in mg/kg Trockensubstanz (IKSR, 1999)	53

Tabelle 4.2-1:	Schwermetallkonzentrationen im Niederschlag [$\mu\text{g/l}$]	54
Tabelle 4.3-1:	Schwermetallgehalte im Ackeroberboden [mg/kg] (LABO, 1998)	57
Tabelle 4.3-2:	Anreicherungs-faktoren für Schwermetalle	58
Tabelle 4.4-1:	Schwermetallkonzentrationen im Drainage- bzw. Sickerwasser [$\mu\text{g/l}$].....	59
Tabelle 4.5-1:	Gesamtdeposition für Schwermetalle [$\text{g/ha}\cdot\text{a}$].....	61
Tabelle 4.6-1:	Anschlussgrad an Kanalnetz und öffentliche Abwasser- beseitigungsanlagen, sowie Verteilung von Trenn- und Mischsystem (mit Ausbaugrad des Speichervolumens) (Statistisches Bundesamt, 1998a; Behrendt et al., 1999)	62
Tabelle 4.6-2:	Flächenspezifische Abtragspotenziale für urbane befestigte Flächen [$\text{g/ha}\cdot\text{a}$]	63
Tabelle 4.6-3:	Einwohnerspezifische Schwermetallabgabe	66
Tabelle 4.6-4:	Grobe Abschätzung der Schwermetallkonzentrationen in gewerblichem Abwasser (Schäfer, 1999).....	66
Tabelle 4.6-5:	Berechnete Schwermetallkonzentrationen im Mischwasserüberlauf und aktuelle Messwerte aus der Literatur	67
Tabelle 4.8-1:	Hintergrundkonzentrationen in Oberflächen- und Grundwässern [$\mu\text{g/l}$].....	71
Tabelle 5.2-1:	Berechnete Schwermetallfrachten von kommunalen Kläranlagen für den Rhein im Vergleich zu anderen Abschätzungen	80
Tabelle 5.3-1:	Liste der sechs größten industriellen Direkteinleiter für Arsen in Deutschland für das Bezugsjahr 1997	82
Tabelle 5.3-2:	Liste der zehn größten industriellen Direkteinleiter für Cadmium in Deutschland für das Bezugsjahr 1997	86
Tabelle 5.3-3:	Liste der zehn größten Direkteinleiter für Chrom in Deutschland für das Bezugsjahr 1997	86

Tabelle 5.3-4:	Liste der zehn größten industriellen Direkteinleiter für Kupfer in Deutschland für das Bezugsjahr 1997.....	91
Tabelle 5.3-5:	Liste der zehn größten industriellen Direkteinleiter für Quecksilber in Deutschland für das Bezugsjahr 1997.....	91
Tabelle 5.3-6:	Liste der zehn größten industriellen Direkteinleiter für Nickel in Deutschland für das Bezugsjahr 1997	96
Tabelle 5.3-7:	Liste der zehn größten industriellen Direkteinleiter für Blei in Deutschland für das Bezugsjahr 1997	96
Tabelle 5.3-8:	Liste der zehn größten industriellen Direkteinleiter für Zink in Deutschland für das Bezugsjahr 1997	99
Tabelle 6.1-1:	Schwermetallemissionen in Oberflächengewässer nach Industriebranchen, 1997, alle Angaben in kg/a (EPA, 1998).....	109
Tabelle 6.2-1:	Schwermetallemissionen in die Gewässer (controlled waters) von Betrieben in England und Wales für das Jahr 1998 (Environment Agency, 1999)	110
Tabelle 6.3-1:	Schwermetallemissionen in Oberflächengewässer der französischen Industrie in 1996/97 (MATE, 1997; MATE, 1998).	112
Tabelle 6.4-1:	Schwermetallemissionen in den Bereich Wasser und Schwermetalleintrag in Oberflächengewässer in den Niederlanden für die Jahre 1995 und 1996 (HIMH, 1998).....	113
Tabelle 6.4-2:	Schwermetallemissionen in den Bereich Wasser getrennt nach Zielgruppen in den Niederlanden in 1996, Angaben in kg/a (HIMH, 1998).	114
Tabelle 6.4-3:	Schwermetallindustrie ausgewählter Industriebranchen in den Niederlanden in 1996, Angaben in kg/a (HIMH, 1998).....	115
Tabelle 6.5-1:	Übersicht über nationale Schwermetall-Frachten in die Gewässer	115

Zusammenfassung

In dem vorliegenden Vorhaben wurden, erstmals für Deutschland insgesamt, die Einträge der Schwermetalle Arsen, Cadmium, Chrom, Kupfer, Quecksilber, Nickel, Blei, und Zink in die deutschen Gewässer abgeschätzt. Die Schadstoffe wurden nach direkten industriellen und kommunalen Punktquellen sowie nach diffusen Schadstoffeinträgen in Gewässer zusammengestellt und sowohl nach den Herkunftsbereichen (Branchen) bzw. den Emissionspfaden als auch den großen Flussgebieten Donau, Rhein, Ems, Weser, Elbe, Oder, Nordsee und Ostsee aufgeschlüsselt. Bezugszeitraum sind die Jahre 1993 – 1997 bzw. bei den industriellen Direkt-einleitern das Jahr 1997. Für das Inventar wurden die unterschiedlichsten aggregierten und Einzeldaten genutzt wie Überwachungsdaten der Länder, internationale Berichte, Umweltberichte von Unternehmen, Berichte von Industrieverbänden und Ergebnisse verschiedener Forschungsvorhaben. Die Qualität der verfügbaren Daten war sehr unterschiedlich, daher mussten sie grundsätzlich auf Plausibilität und Kompatibilität überprüft werden. Hierzu waren in der Regel mehrere Iterations-schritte erforderlich, die häufiger zu Korrekturen bisher verwendeter Emissionswer-te führten. Daher ergeben sich teilweise Abweichungen zu den in internationalen Berichten enthaltenen Werten.

Insgesamt haben die ermittelten Frachten industrieller Direkt-einleiter zweifellos die höchste Zuverlässigkeit, auch wenn in einer Reihe von Fällen die aus internationa-len Berichten vorliegenden Werte korrigiert werden mussten. Zur Erhebung der Schwermetallemissionen industrieller Direkt-einleiter wurden die in den Bundeslän- dern vorliegenden Daten systematisch abgefragt und ausgewertet. Zusätzlich konn- ten noch Umweltberichte einzelner Unternehmen, internationale Berichte und zwei Forschungsberichte für die Auswertung genutzt werden. Für alle untersuchten Schadstoffe wurden Listen der bedeutendsten industriellen Direkt-einleiter erstellt (vgl. Kapitel 5), die zur Gegenkontrolle und Freigabe an die Bundesländer weitergeleitet wurden. Die Überprüfung und fallweise Korrektur der Emissionsangaben durch die Länderbehörden lassen den Schluss zu, dass zumindest für die Haupteinleiter die Frachten für 1997 mit hoher Wahrscheinlichkeit korrekt wiedergegeben werden.

Im Hinblick auf die Datenqualität dürften die Einleitungen aus kommunalen Kläranlagen den zweiten Rang einnehmen. Diese Emissionswerte wurden für alle Schadstoffe zwar mit Hilfe von spezifischen Werten abgeschätzt, jedoch gibt es für kommunale Kläranlagen umfangreiche Statistiken zu den Abwassermengen. Für die Ablaufkonzentrationen bzw. für die Frachtberechnungen wurden in einer bundes- weiten Recherche Ablaufkonzentrationswerte ermittelt und daraus repräsentative Ablaufkonzentrationen für die großen Flussgebiete abgeleitet.

Mit den größten Unsicherheiten sind sicher die abgeschätzten diffusen Emissionen behaftet. Bei der Abschätzung der Schwermetalleinträge musste eine Vielzahl von Annahmen getroffen werden, die zwar fachlich begründet sind, aber in der Multiplikation von Unsicherheiten bei diesen Annahmen zu deutlichen Fehlern führen können. Bei der Interpretation der Ergebnisse sollte man sich der Unsicherheiten dieser Abschätzungen bewusst sein. In weiteren Forschungsvorhaben, die zum Teil bereits angelaufen sind, sollen die zu Grunde liegenden Annahmen und Abschätzungen überprüft, verbessert und abgesichert werden.

Die geschilderten Unsicherheiten bei der Abschätzung der diffusen Eintragspfade sind bei Betrachtung der Gesamtergebnisse deshalb von ganz besonderer Bedeutung, weil die diffusen Einträge bei den untersuchten Schwermetallen die Summe punktueller Einträge aus der Industrie und kommunalen Kläranlagen deutlich übersteigen (vgl. nachstehende Tabelle). Der Anteil der diffusen Quellen liegt im Durchschnitt über alle Schwermetalle bei 77 %. Die wichtigsten Eintragspfade bei den diffusen Emissionen sind die urbanen Flächen (dies sind vor allem die bei Regen über die Trenn- oder Mischkanalisation direkt in die Gewässer abgeleiteten Wassermengen) und die Erosion mit jeweils 31 % sowie die Einträge über das Grundwasser, die in etwa den geogenen Einträgen entsprechen, mit 20 % (Chrom 37 %, Nickel 34 %). Bei Cadmium und Zink spielen außerdem die Dränagen eine wichtige Rolle, mit 17 bzw. 15 % der gesamten diffusen Emissionen.

Die Punktquellen teilen sich in die kommunalen und die industriellen Einleitungen auf; der Anteil der kommunalen Emissionen liegt dabei für die Schwermetalle im Durchschnitt bei 77 % (zwischen 62 % bei Blei und knapp 93 % bei Quecksilber). Ausgehend von einer Unterteilung der industriellen Direkteinleiter nach den Anhängen der AbwV nach §7a WHG ist der mit Abstand wichtigste Bereich der Anhang 22 (Chemische Industrie), der im Durchschnitt über alle Schwermetalle etwa 40 % der Frachten emittiert. Bedeutend sind außerdem verschiedene andere Anhänge, die ebenfalls Teile der Chemischen Industrie regeln (Anhang 30: Sodaherstellung, Anhang 43: Chemiefasern, Anhang 48: Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe, etc.). Neben diesen Bereichen spielt außerdem die Nichteisenmetallherstellung (Anhang 39, wichtigste Branche bei Cadmium und Blei) und die Eisen- und Stahlindustrie (insbesondere bei Zink) eine Rolle.

Tabelle 1: Gesamtübersicht über die Einträge in die deutschen Flussgebiete für das Bezugsjahr 1997

Flussgebiet	Einträge	As ¹ [kg]	Cd [kg]	Cr [kg]	Cu [kg]	Hg [kg]	Ni [kg]	Pb [kg]	Zn [kg]
Donau	Industriell	28	44	1.252	1.772	9	1.353	504	20.717
	Kommunal	-	207	5.514	16.834	195	7.686	5.440	115.133
	Diffus	-	2.413	87.273	90.210	634	61.244	84.777	540.156
	Gesamt	-	2.664	94.039	108.817	838	70.283	90.721	676.006
Rhein	Industriell	1.385	362	13.760	21.791	143	15.894	12.384	82.719
	Kommunal	-	1.707	28.822	72.862	1.571	53.209	20.677	374.064
	Diffus	-	4.513	119.400	184.173	1.318	96.122	144.150	1.080.963
	Gesamt	-	6.582	161.982	278.826	3.032	165.225	177.212	1.537.745
Ems	Industriell	0	4	44	166	2	135	73	5.041
	Kommunal	-	62	963	2.292	107	2.027	789	15.422
	Diffus	-	444	8.717	16.707	118	7.671	11.090	103.557
	Gesamt	-	509	9.724	19.165	226	9.833	11.952	124.021
Weser	Industriell	26	60	962	1.190	7	1.302	1.202	13.248
	Kommunal	-	246	3.830	8.986	447	6.987	2.718	54.785
	Diffus	-	1.669	37.354	70.149	494	31.401	50.254	419.739
	Gesamt	-	1.976	42.146	80.325	948	39.690	54.175	487.771
Elbe	Industriell	364	528	1.267	7.466	59	3.342	9.207	23.799
	Kommunal	-	695	9.010	18.055	376	13.348	7.358	107.216
	Diffus	-	3.536	75.967	183.221	1.009	62.799	111.986	867.948
	Gesamt	-	4.759	86.244	208.741	1.445	79.490	128.551	998.964
Oder	Industriell	12	16	103	141	1	350	295	9.333
	Kommunal	-	24	215	460	5	376	185	2.296
	Diffus	-	141	2.428	6.319	38	2.233	3.953	34.298
	Gesamt	-	180	2.746	6.920	44	2.958	4.432	45.927
Nordsee	Industriell	8	2	3.027	35	1	248	44	3.917
	Kommunal	-	24	368	1.490	45	769	334	8.448
	Diffus	-	511	6.452	15.407	107	6.284	8.136	111.238
	Gesamt	-	537	9.846	16.931	153	7.302	8.514	123.602
Ostsee	Industriell	1	0	20	84	0	34	43	326
	Kommunal	-	84	450	3.016	27	1.232	1.178	12.258
	Diffus	-	843	10.546	28.489	189	10.494	17.969	185.647
	Gesamt	-	927	11.016	31.589	216	11.760	19.190	198.231
D Gesamt	Industriell	1.824	1.016	20.435	32.646	223	22.659	23.752	159.099
	Kommunal	-	3.049	49.173	123.994	2.773	85.634	38.679	689.620
	Diffus	-	14.070	348.138	594.675	3.907	278.248	432.315	3.343.546
	Gesamt	-	18.134	417.745	751.315	6.903	386.542	494.746	4.192.266

¹ Zur Quantifizierung diffuser und kommunalen Arseneinträge war keine ausreichende Datenbasis vorhanden.

Zusätzlich wurden bei den Auswertungen für die einzelnen Parameter die zehn größten direkten Einleitungen mit dokumentiert. Der Anteil dieser Einleiter an den gesamten industriellen Einleitungen lag zwischen 82 % beim Blei und 59 % beim Nickel. Die Aufteilung der insgesamt eingeleiteten Frachten auf die verschiedenen Flussgebiete ergab einen durchschnittlichen Anteil aller Schwermetalle (ohne Arsen) von 39 % für das Einzugsgebiet des Rheins, ca. 24 % für das Elbegebiet, knapp 17 % für das Gebiet der Donau und 11 % für das Wesergebiet. Danach folgten das Ostseegebiet (4 %), die Ems (3 %), die Nordsee (2 %) und die Oder (1 %).

1 **Internationale Anforderungen an die Ermittlung von Schadstoffeinträgen in Gewässer**

Seit einigen Jahren gibt es von unterschiedlichen internationalen Organisationen Anstrengungen, in den jeweiligen Mitgliedsländern in regelmäßigen Abständen Emissionsinventare zur Ermittlung der Belastung der Umwelt mit unterschiedlichen Schadstoffen zu erstellen. Dabei spielen die Inventare der Stoffeinträge in die Gewässer eine zentrale Rolle. Die Emissionsinventare dienen vor allem zwei Zielsetzungen:

- Besserer Zugang zu Informationen und Beteiligung der Öffentlichkeit bei Umweltfragen,
- Schaffung von verlässlichen Unterlagen, u.a. für Entscheidungsträger, um durch gezielte Maßnahmenbündel die Umweltbelastungen zu verringern bzw. um die Umsetzung und die Wirkung von bereits eingeleiteten Maßnahmen zu überprüfen.

Die Konferenz für Umwelt und Entwicklung der Vereinten Nationen (UNCED) in Rio de Janeiro im Jahre 1992 hat einen wichtigen Grundstein für die Erarbeitung von nationalen Emissionsinventaren (PRTR = Pollutant Release and Transfer Register) gelegt. In Kapitel 19 der Agenda 21 wird die Information und Beteiligung der Öffentlichkeit bei Umweltfragen gefordert. Zudem wird angeregt, dass die nationalen Regierungen auf der Grundlage der jeweiligen Emissionsinventare Programme als mögliches Instrument zur Risikominderung verabschieden. Damit soll dem Recht der Öffentlichkeit auf Unterrichtung und Nutzung von Informationen Rechnung getragen werden. Die USA, Frankreich und die Niederlande verfügten zum damaligen Zeitpunkt bereits über Emissionsinventare, in Großbritannien und Kanada waren entsprechende Aktivitäten angelaufen (vgl. Kapitel 6).

Im April 1994 legte die EU-Kommission einen Vorschlag zu einem europäischen Inventar (PER: Polluting Emissions Register) auf Basis von Selbstverpflichtungen der Industrie vor (PER, 1994), der jedoch nicht realisiert wurde. Inhaltliche und konzeptionelle Arbeiten zu Emissionsinventaren wurden in den Jahren 1994 bis 1996 hauptsächlich von der OECD geleistet und mit der Veröffentlichung des „Guidance Manual“ (OECD, 1996a) und der Empfehlung der OECD, Emissionsinventare in den Mitgliedsländern einzuführen, abgeschlossen (OECD, 1996b). Im September 1996 wurde die EU-Richtlinie zur Vermeidung und Verminderung von Umweltverschmutzungen (IVU-Richtlinie 96/61/EG; IPPC Directive) verabschiedet. Artikel 15(3) der IVU-Richtlinie fordert, dass die Kommission alle drei Jahre anhand der von den Mitgliedsstaaten übermittelten Informationen Emissionsinventare für die wichtigsten Schadstoffe und ihre Quellen erstellt. Vorgaben zur Form

und zu den Inhalten (z. B. betroffene Branchen, Schadstoffe, evtl. Schwellenwerte) sind nach dieser Richtlinie von der Kommission festzulegen.

Einen weiteren Schub erhielt das Ziel der Erstellung von Emissionsinventaren im Juni 1998 durch die Umweltministerkonferenz der UN-ECE. 35 Mitgliedsstaaten und die EU unterzeichneten die „Århus-Konvention über den Zugang zu Informationen, die Öffentlichkeitsbeteiligung bei Entscheidungsverfahren und den Zugang zu Gerichten in Umweltangelegenheiten“. In den Artikeln 2 bis 5 der Konvention wird der Inhalt und der Umfang des Anspruchs eines jeden Bürgers gegenüber Behörden auf Informationen über die Umwelt geregelt. Artikel 5(9) verpflichtet die Zeichnerstaaten ein „zusammenhängendes, landesweites System von Verzeichnissen zur Erfassung der Umweltverschmutzung in Form einer strukturierten, computergetstützten und öffentlich zugänglichen Datenbank aufzubauen und standardisierte Berichte zu erstellen“. Die Ausgestaltung dieser Inventare befindet sich noch in der Diskussion.

Im Juli 2000 wurde die Entscheidung der Kommission über den Aufbau eines Europäischen Schadstoffemissionsregisters (EPER: European Pollutant Emission Register) veröffentlicht (2000/479/EG). Danach haben die EU-Staaten Emissionen von 50 Schadstoffen (37 für Luft, 26 für Wasser) zu berichten, falls diese bestimmte Schwellenwerte überschreiten. Zu melden sind Namen, Daten und Emissionen aller Betriebe, die Tätigkeiten gemäß Anhang I der IVU-Richtlinie durchführen. Die Daten sollen elektronisch an die Kommission übermittelt und von dieser im Internet veröffentlicht werden. Neben den Einzelmeldungen ist von den Mitgliedsstaaten ein zusammenfassender Bericht mit den nationalen Gesamtemissionen zu erstellen. Der erste Bericht wird bis Juni 2003 mit den Daten für 2001 erstellt (alternativ auch 2000 oder 2002 möglich), der zweite Bericht bis Juni 2006 mit Daten für 2004. Ab 2008 sind möglicherweise jährliche Berichte erforderlich. Für den Vollzug durch die Bundesländer müssen gegebenenfalls die Landeswassergesetze entsprechend überarbeitet und Verordnungen zur Verpflichtung der Betriebe zur Datenlieferung erstellt werden.

Neben der IVU-Richtlinie und dem hieraus resultierenden Europäischen Schadstoffemissionsregister EPER existieren weitere EU-Richtlinien, die im Zusammenhang mit Emissionsinventaren und Berichtspflichten stehen. Die EG-Richtlinie 76/464/EWG (betreffend die Verschmutzung infolge der Ableitung bestimmter gefährlicher Stoffe in die Gewässer der Gemeinschaft) und Tochterrichtlinien regeln die Beseitigung bzw. Verringerung von besonders gefährlichen Stoffen im Abwasser, welches eingeleitet wird. In der Kommissionsentscheidung 92/446/EWG über die Fragebögen zu den Wasserrichtlinien sind Berichtspflichten zu Anzahl und Grenzwerten genehmigter Ableitungen für bestimmte Stoffe, zur Geltungsdauer der Genehmigung, zu den fünf größten genehmigten Ableitungen, zur Überwachung sowie zu den Kosten der Maßnahmen enthalten. Die Richtlinie 91/271/EWG legt die Anforderungen an eine Behandlung von kommunalen Abwässern fest. Nach

Artikel 15(4) der Richtlinie sind Vollzugsdaten bereit zu halten, die auf Anfrage an die Kommission zu übermitteln sind. Die Kommission hat angekündigt, im Jahre 2000 umfangreiche Daten zu allen Kläranlagen größer 10000 EW abzufragen und dies künftig regelmäßig zu wiederholen.

Die Richtlinie 90/313/EWG regelt den Zugang aller natürlichen und juristischen Personen zu Umweltinformationen. Die Bundesrepublik hat diese Richtlinie im Juli 1994 durch das Umweltinformationsgesetz umgesetzt.

Die neue EU-Wasserrahmenrichtlinie (2000) soll die Inkonsistenzen und Defizite der bestehenden EU-Richtlinien für den Wasserbereich beheben und diese teilweise ablösen. Diese Richtlinie zielt unter anderem auf eine wirkungsvolle und ständige Reduzierung der Gewässerverschmutzung, indem sie Gewässerqualitätsziele mit emissionsbezogenen Regelungen auf der Grundlage der besten verfügbaren Technik (BVT, engl. BAT = **B**est **A**vailable **T**echnique) an der Quelle verknüpft („combined approach“). Hierdurch soll letztendlich der „gute Zustand“ der Gewässer erreicht werden. Nach Anhang II der Richtlinie ist vorgesehen, dass die Mitgliedsstaaten die Erhebung von Daten über anthropogene Belastungen in den einzelnen Flussgebietseinheiten veranlassen. Dabei ist insbesondere auf signifikante Verschmutzungen durch Punkt- und diffuse Quellen einzugehen.

Mit der Zielrichtung der Verringerung des Eintrags von Schadstoffen in die Binnengewässer und Meere wurden mit der Bundesrepublik als einem der Vertragspartner in der Vergangenheit eine Reihe von Meeresschutz- und Flussgebietskonventionen abgeschlossen. Hieraus ergaben sich in den letzten Jahren in größerem Umfang regelmäßige Berichtspflichten, die neben Berichten zur formalen Umsetzung von Richtlinien und Entscheidungen sowie der konkreten technischen Umsetzung für einzelne Anlagen, auch Angaben über die emittierten Abwassermengen und Schadstofffrachten betreffen. Zu nennen sind hier im Wesentlichen die Meeresschutzkonventionen PARCOM (Paris- und Oslo-Kommission zum Schutz der Nordsee und des Nordostatlantiks) und HELCOM (Helsinki-Übereinkommen zum Schutz der Ostsee), sowie die internationalen Flussgebietskommissionen zum Schutz des Rheins (IKSR), der Elbe (IKSE), der Donau (IKSD) und der Oder (IKSO) (BMU, 1998a). Die im Rahmen der Berichtspflichten erforderlichen Angaben zu den Emissionen betreffen vorrangige Schadstoffe in einer größeren Zahl besonders wichtiger Industriebranchen/-anlagen oder sonstige relevante Emissionsschwerpunkte (Böhm et al., 1996).

Für den Vollzug wasserrechtlicher Vorschriften sind in der Bundesrepublik Deutschland die einzelnen Bundesländer zuständig. Daher liegen auf unterer und mittlerer Verwaltungsebene Einzeldaten aus der Genehmigung und Überwachung von Einleitern vor, die fallweise für die Erfüllung der anstehenden Berichtspflichten genutzt und durch Sonderabfragen ergänzt werden. Die Daten werden jeweils von den Bundesländern an den Bund weitergegeben, eine zusammenfassende und abge-

stimmte Aufarbeitung dieser Daten in ihrer Gesamtheit erfolgte auf Bundesebene bisher nicht. Der Stand und der Umfang der EDV-Erfassung von Einleiterdaten ist in den einzelnen Bundesländern unterschiedlich und spiegelt die teilweise landesspezifischen Gegebenheiten und Anforderungen wider. Für die Verarbeitung und Auswertung der erfassten Abwasserdaten gibt es keine einheitlichen Vorgaben.

2 Ausgangspunkte und Zielsetzung des Vorhabens

Im Sommer 1996 wurde das Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung vom Umweltbundesamt mit der Erarbeitung eines fachlichen Konzeptes für ein nationales Emissionsinventar und mit der Erstellung beispielhafter branchen-, gebiets- und stoffbezogener Emissionsinventare beauftragt (Böhm et al., 2000). Während das Europäische Schadstoffemissionsregister EPER nur die industriellen IVU-Anlagen ab einem gewissen Schwellenwert betrifft, sollte das Konzept für „das Emissionsinventar Wasser für die Bundesrepublik Deutschland“ eine möglichst vollständige Berücksichtigung aller relevanten Emissionen erlauben, d. h. insbesondere auch die Emissionen kommunaler Kläranlagen und die unterschiedlichen diffusen Emissionen. Industrielle Direkteinleitungen, kommunale und diffuse Einträge prioritärer Schadstoffe in Gewässer wurden erstmals für Deutschland gemeinsam im Rahmen einer IKSR-Bestandsaufnahme für den Rhein für 1996 abgeschätzt (IKSR, 1999). Dabei wurde deutlich, dass bei den Schwermetallen die diffusen Einträge (z. B. atmosphärische Deposition, Erosion, Dränagen, Regenabläufe, Mischwasserüberläufe) den Anteil der punktuellen Einleitungen (Industrie, kommunale Kläranlagen) in der Regel deutlich übersteigen.

Im Rahmen der bereits genannten internationalen Vereinbarungen hat die Bundesrepublik Deutschland Mengenreduktionsziele für prioritäre gefährliche Stoffe und Nährstoffe vereinbart (vgl. UBA, 1999), darunter Reduktionsziele für acht Schwermetalle, die in Tabelle 2-1 wiedergegeben sind. Zusätzlich wurden von einem Bund/Länder-Arbeitskreis für den Bereich der Oberflächengewässer für bestimmte gefährliche Stoffe, zu denen bis auf Arsen die in Tabelle 2-1 aufgelisteten Schwermetalle gehören, Zielvorgaben erarbeitet (LAWA, 1998).

Tabelle 2-1: Reduktionsziele für Schwermetalle auf Grund internationaler Schutzkonventionen (nach UBA, 1999)

Schwermetall	Nordsee ¹	Ostsee ²	Rhein ³
Arsen (As)	50	50	50
Cadmium (Cd)	70	50	70
Chrom (Cr)	50	50	50
Kupfer (Cu)	50	50	50
Quecksilber (Hg)	70	50	70
Nickel (Ni)	50	50	50
Blei (Pb)	70	50	70
Zink (Zn)	50	50	50

¹ Nordsee (INK), Reduzierung der Einträge bis 1995, bezogen auf 1985. 4. INK verlängert bis 2000 und beschließt baldmöglichste Erfüllung (Paragraph 21, 4. INK)

² Ostsee (HELCOM), Reduzierung der Einträge bis 1995, bezogen auf 1987

³ Rhein (IKSR), Reduzierung der Einträge bis 1995, bezogen auf 1985

Diese Zielvorgaben sind als Orientierungswerte für einzelne Schutzgüter bzw. Nutzungsarten (z. B. Trinkwasserversorgung, aquatische Lebensgemeinschaften, Fischerei, Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen) anzusehen. Den Vollzugsorganen bleibt es überlassen, welche Schutzgüter sie jeweils anwenden, ob sie Zwischenziele vorgeben und in welchen zeitlichen Stufen diese erreicht werden sollen. Das Zielvorgabenkonzept ist auch die Grundlage für eine chemische Gewässergüteklassifikation, die von der LAWA erarbeitet wurde (UBA, 1999).

Die Einhaltung der Zielvorgaben wird von der LAWA in Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt seit 1990 regelmäßig überprüft. Dabei ergaben sich häufigere Überschreitungen bei Cadmium, aber auch bei Kupfer, Nickel, Zink sowie bei Quecksilber und Blei (UBA, 1999). Daneben zeigte der Rheinbericht 1994 - 1996 (IKSR, 1999), dass auch für den Rhein die Zielvorgaben bei den Schwermetallen Cadmium, Quecksilber, Kupfer und Zink nicht erreicht wurden. Als Konsequenz der Überschreitung von Zielvorgaben bzw. der Nichterreichung von Reduktionszielen ist es daher angezeigt, die wichtigsten Quellen dieser Einleitungen genauer zu ermitteln, um gezielte Maßnahmen zur Verminderung der Gewässerbelastung vorbereiten und Erfolge von Sanierungsmaßnahmen besser erkennen zu können. Damit kommt den Schwermetallen im Rahmen eines Emissionsinventars Wasser eine hohe Bedeutung zu.

Aufgabe des Vorhabens war es, für die acht in Tabelle 2-1 aufgeführten Schwermetalle für das Jahr 1997 sowohl die industriellen Direkteinleitungen zu ermitteln, als auch die Emissionen kommunaler Kläranlagen und die diffusen Einträge fachlich fundiert abzuschätzen und in ihrer Bedeutung gegeneinander zu stellen. Die industriellen Direkteinleitungen sollten nach den relevanten Industriebranchen der Anhänge nach § 7a WHG aufgeschlüsselt und die Abwassersituation dieser Branchen kurz erläutert werden. Die Emissionsdaten sollten zudem branchen- und soweit möglich flussgebietsbezogen in Karten dargestellt und mit anderen nationalen Emissionsinventaren verglichen werden. Für die Ermittlung der industriellen Direkteinleitungen war das Fh-ISI verantwortlich, bei dem auch die Projektleitung lag. Die Einträge aus kommunalen Kläranlagen und die unterschiedlichen diffusen Eintragsmengen wurden vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Universität Karlsruhe ermittelt.

3 Datensituation und –auswertung bei den Punktquellen

3.1 Allgemeine Vorgehensweise

Die industriellen Punktquellen wurden durch eine Primärerhebung erfasst, während die Frachten der kommunalen Direkteinleiter einschließlich industrieller Indirekteinleiter über recherchierte Ablaufkonzentrationen hochgerechnet wurden. Die einzelnen Pfade der diffusen Einträge wurden über Emissionsfaktoren auf Basis der wissenschaftlichen Literatur mit dem Modellsystem MONERIS (MODelling Nutrient Emissions in RIver Systems, Behrendt et al. 1999) berechnet.

Für Arsen ist die Erstellung eines vollständigen Inventars nicht möglich, da bei kommunalen Einträgen und für diffuse Pfade nur sehr vereinzelt Daten vorliegen. Auch industrielle Einleitungen werden nicht in allen Bundesländern auf Arsen untersucht, so dass die hier dargestellten Ergebnisse für industrielle Direkteinleiter nur exemplarischen Charakter haben.

3.2 Kommunale Kläranlagen

3.2.1 Datenrecherche

Ausgehend von einer räumlich hochaufgelösten Bilanzierung der Schwermetalleinträge in den Neckar wurde festgestellt, dass zwischen den vorliegenden Ablaufkonzentrationen einiger Kläranlagen und den in der Literatur dargelegten einwohnerspezifischen Frachten erhebliche Diskrepanzen auftreten. Die Verwendung von Frachtangaben nach Koppe/Stozek (1999) unter pauschaler Berücksichtigung der Reinigungsleistung der Anlagen führte zu einer deutlichen Überschätzung der Einträge durch Kläranlagenabläufe. Demgegenüber führte eine Übertragung der bei der Bestandsaufnahme für den Rhein (IKSR, 1999) verwendeten Daten (einwohnerspezifische Austragsfrachten) mit Ausnahme von Blei zu einer Unterschätzung der in den Neckar eingetragenen Schwermetallfrachten.

Dies hat die Projektbearbeiter veranlasst, zunächst für Baden-Württemberg, später für das gesamte Bundesgebiet eine Abfrage bei den jeweils zuständigen Landesbehörden zu folgenden Informationen für den Zeitraum von 1993 bis 1997 durchzuführen:

- Ablaufkonzentrationen der Schwermetalle Cd, Hg, Cu, Pb, Cr, Ni, Zn und As,
- Ausbaugröße der beprobten Anlagen,

- Jahresschmutzwassermenge,
- Anteil industrieller Einleiter.

Umfang und Güte der recherchierten Datensätze variierten sehr stark. Für viele Bundesländer war es beispielsweise nicht möglich die Daten zentral abzufragen. Dementsprechend schwankt die Anzahl der zur Verfügung gestellten Messwerte pro Metall in den Bundesländern erheblich (vgl. Tabelle 3.2-2). Für Arsen liegen i.d.R. keine Ablaufkonzentrationen vor, weshalb dieses Metall nicht berücksichtigt werden konnte.

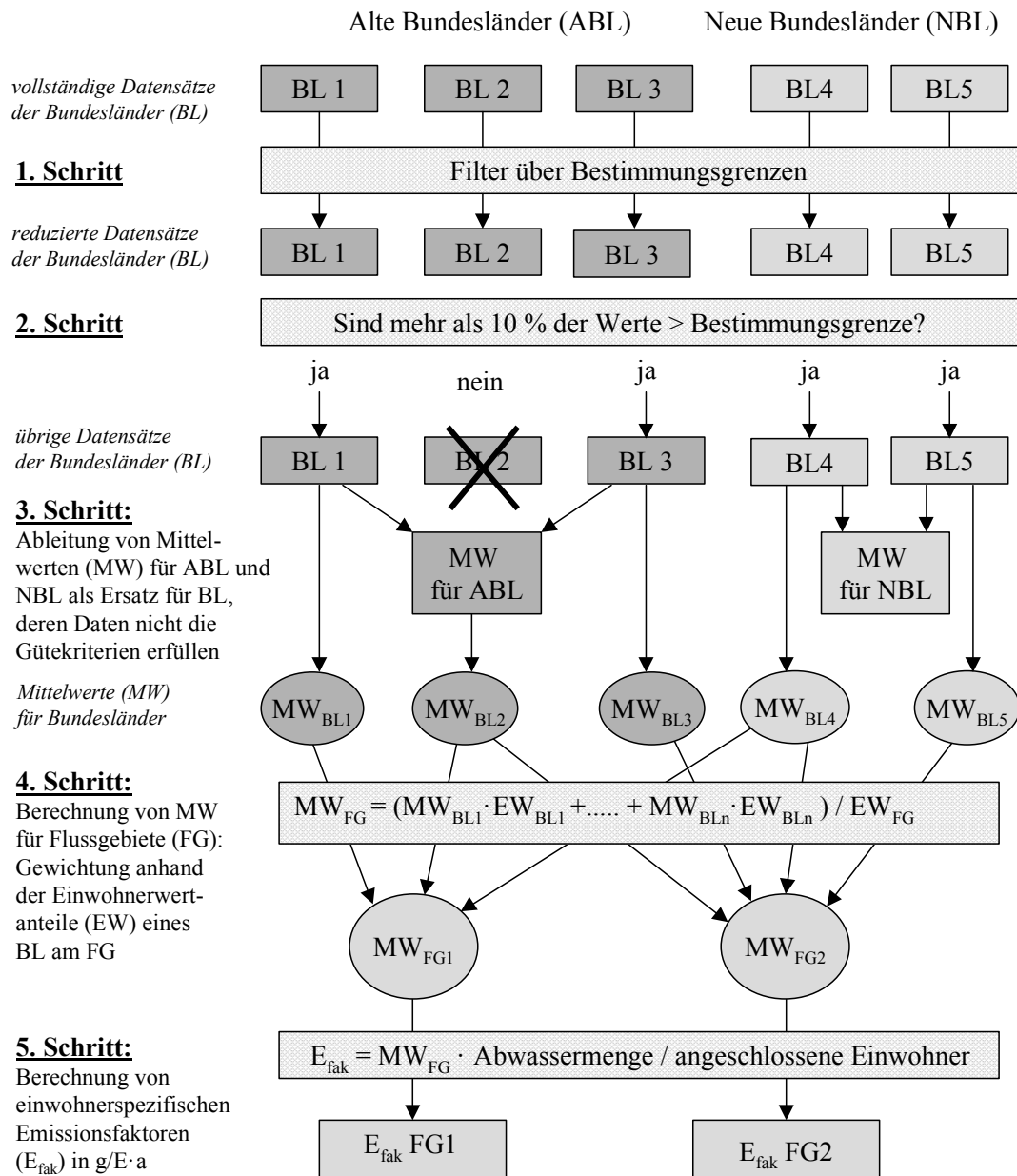
Weiterhin verursacht die teilweise große Schwankungsbreite der angegebenen Bestimmungsgrenzen (BG) für die einzelnen Metalle erhebliche Unsicherheiten bei der Frachtberechnung. Abbildung 3.2-2 zeigt beispielhaft für das Metall Blei das Spektrum der angegebenen Bestimmungsgrenzen und deren relative Häufigkeit. Zum Teil wurde anstatt einer analytisch begründbaren Bestimmungsgrenze auch der Schwellenwert nach Abwasserabgabengesetz (Anlage 1 zu § 3 AbwAG) angegeben, was den betreffenden Datensatz unbrauchbar macht, da i.d.R. alle Ablaufwerte unter dem Schwellenwert liegen.

Es war daher erforderlich eine Vorgehensweise zu entwickeln, die die Qualität der für die Frachtberechnungen verwendeten Eingangsdaten sicherstellt. Aus den gefilterten Eingangsdaten wurden schließlich für die zu betrachtenden Flussgebiete Deutschlands einwohnerspezifische Emissionsfaktoren berechnet.

3.2.2 Datenaufbereitung

Aus den genannten Gründen wurden die recherchierten Daten zu den Ablaufkonzentrationen auf der Ebene von Bundesländern aggregiert und in einem mehrstufigen Verfahren so aufbereitet, dass eine größtmögliche Datenqualität sichergestellt war. Abbildung 3.2-1 illustriert die dabei gewählte Vorgehensweise.

Abbildung 3.2-1: Schema zur Qualitätssicherung der Eingangsdaten und zur Berechnung von einwohnerspezifischen Emissionsfaktoren



Festlegung der Bestimmungsgrenzen (Schritt 1)

Die nahezu beliebige Verwendung des Begriffes Bestimmungsgrenzen in den eingegangenen Grundlagendaten machte es erforderlich, für jedes Metall eine nachvollziehbare und eindeutige Festlegung der Bestimmungsgrenze vorzunehmen. Die einschlägigen DIN-Vorschriften erwiesen sich hierbei als wenig hilfreich, da die dort niedergelegten Bestimmungsgrenzen verfahrensabhängig große Schwankungen

zeigen. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass die Festlegung von Bestimmungsgrenzen in der Praxis häufig nicht anhand der zugrundezulegenden DIN-Vorschriften, sondern in Abhängigkeit von Gerätetypen, Geräteeinstellungen und weiteren laborspezifischen Gegebenheiten erfolgt.

In Abstimmung mit dem Umweltbundesamt wurde in diesem Vorhaben daher in Abhängigkeit von den **Messwerten**¹ für jedes Metall ein analytisch sinnvolles Spektrum der Bestimmungsgrenzen festgelegt.

Zur Charakterisierung des gemessenen Wertebereichs eines Metalls wurden alle Messwerte in einer Summenhäufigkeitsverteilung aufgetragen (s. Abbildung 3.2-2). Anschließend wurden unter Beachtung der Vorgabe, dass Werte kleiner der Bestimmungsgrenze mit dem halben Wert der Bestimmungsgrenze in die Berechnung der mittleren Ablaufkonzentrationen eingehen, alle Daten eliminiert, die den Median der Messwerte um mehr als das Zweifache überschreiten. Auf diese Weise sollte verhindert werden, dass die mittleren Ablaufkonzentrationen durch zu hoch angesetzte Bestimmungsgrenzen in die Höhe getrieben werden.

Die Vorgehensweise ist für das Metall Blei beispielhaft in Abbildung 3.2-3 dargestellt. Der Median aller Messwerte liegt für Pb bei 3 µg/l. Somit wurde die maximal in die Berechnung einfließende Bestimmungsgrenze für Pb auf 6 µg/l festgelegt und alle Angaben zu höheren Bestimmungsgrenzen wurden nicht berücksichtigt. In Tabelle 3.2-1 sind für alle Metalle die Mediane der Messwerte und die davon abgeleiteten Bestimmungsgrenzen aufgeführt. Die Häufigkeitsverteilung der in den Rohdaten vorgefundenen „Bestimmungsgrenzen“ ist dafür verantwortlich, dass nicht bei jedem Metall exakt der zweifache Wert des Median als Bestimmungsgrenze festgelegt wurde.

Tabelle 3.2-1: Mediane der Messwerte und daraus resultierende maximale Bestimmungsgrenzen in µg/l

Werte in µg/l	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Median der Messwerte	0,2	3	10	0,1	6	3	46
Bestimmungsgrenze	0,5	5	20	0,2	10	6	100

¹ Werte oberhalb der angegebenen Bestimmungsgrenzen

Abbildung 3.2-2: Spektrum der angegebenen Bestimmungsgrenzen für Blei in $\mu\text{g/l}$

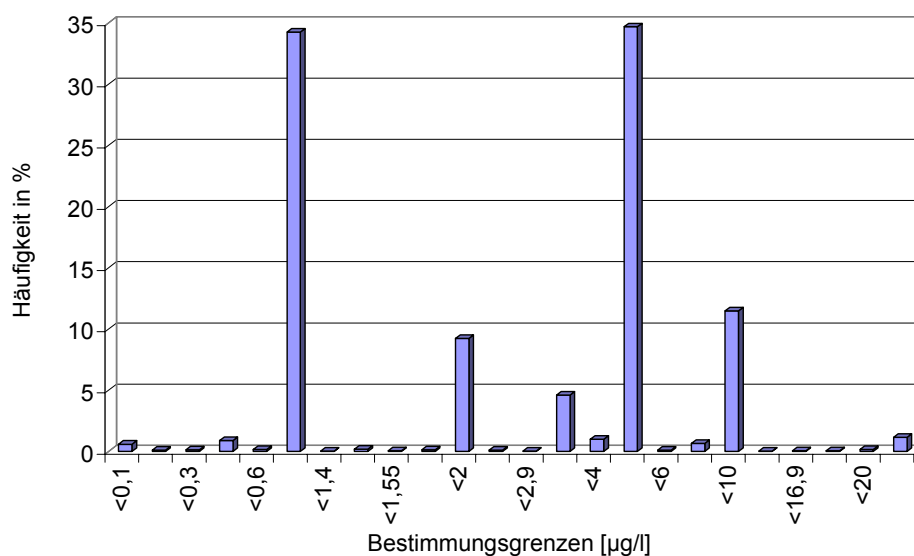
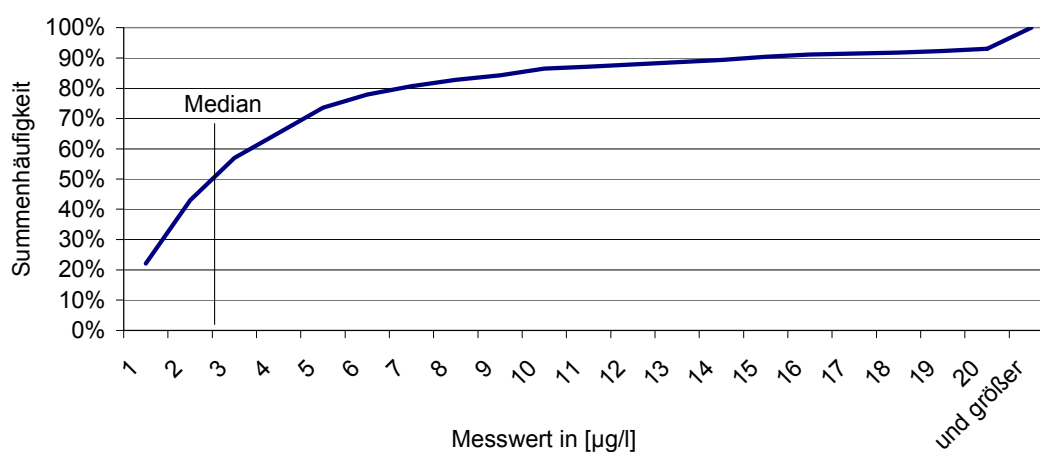


Abbildung 3.2-3: Summenhäufigkeitsverteilung der tatsächlich gemessenen Werte für Blei ($n = 4060$)



Überprüfung, ob 10 % der Werte über der Bestimmungsgrenze liegen (Schritt 2)

Im zweiten Schritt wurde für jedes Metall geprüft, ob mindestens 10 % der Daten eines Datensatzes für ein Metall über der Bestimmungsgrenze lagen. In einigen Bundesländern konnte dieses Kriterium nicht erreicht werden. Daten aus diesen

Bundesländern wurden nicht für die Berechnung der mittleren Ablaufkonzentrationen bzw. Emissionsfaktoren auf Flussgebietsebene verwendet.

In Tabelle 3.2-2 sind für jedes Bundesland die Anzahl der Daten, der prozentuale Anteil der Werte über der Bestimmungsgrenze und die berechneten mittleren Ablaufkonzentrationen aufgetragen (die Werte in Klammern wurden aus obengenannten Gründen nicht berücksichtigt). In der Summe standen für die weiteren Berechnungen zwischen 4.500 und 11.000 Werte je Metall zur Verfügung. In Tabelle 3.2-3 sind zusammenfassend für die Metalle die Anzahl aller Einzelwerte sowie der Anteil der Daten, der über der Bestimmungsgrenze lag, aufgeführt.

Tabelle 3.2-3: Anzahl der Werte pro Metall und Anteil über der Bestimmungsgrenze

	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Anzahl der Werte	6794	7810	10729	4445	9938	6840	5307
Anteil der Werte > BG	35%	57%	79%	41%	70%	55%	89%

Tabelle 3.2-2: Anzahl der verwendeten Messwerte, Anteil größer Bestimmungsgrenze und berechnete mittlere Ablaufkonzentrationen in µg/l
(Werte in Klammern wurden nicht verwendet)

Bundesland	Art	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Bayern	Anzahl der Werte	1936	2222	2264	1704	2234	2157	612
	Anteil größer BG [%]	64%	86%	99%	58%	94%	81%	99,5%
	Mittlere Konz. [µg/l]	0,13	4,33	13,3	0,15	5,96	4,44	92,7
Baden-	Anzahl der Werte	1404	1369	1395	1298	1403	1315	45
Württemberg	Anteil größer BG [%]	23%	39%	75%	19%	53%	33%	91%
	Mittlere Konz. [µg/l]	0,39	4,27	12,3	0,17	6,48	3,04	73,0
Hessen	Anzahl der Werte	172	164	258	136	170	346	62
	Anteil größer BG [%]	12%	49%	77%	44%	71%	26%	100%
	Mittlere Konz. [µg/l]	0,35	8,78	15,0	0,53	15,7	4,41	44,7
Rheinland-Pfalz	Anzahl der Werte	284	776	904	160	771	927	1
	Anteil größer BG [%]	3,2%	77%	83%	3,1%	83%	64%	100%
	Mittlere Konz. [µg/l]	(0,3)	3,73	18,5	(0,1)	4,75	2,80	(50,00)
Saarland	Anzahl der Werte	1266	447	2255		2247	9	2255
	Anteil größer BG [%]	16%	82%	41%		36%	100%	100%
	Mittlere Konz. [µg/l]	0,76	8,93	7,83		7,31	(47,8)	54,4
Niedersachsen	Anzahl der Werte	139	140	133	37	154	138	119
	Anteil größer BG [%]	27%	4%	94%	89%	55%	49%	78%
	Mittlere Konz. [µg/l]	0,22	2,56	6,52	0,57	3,61	2,37	64,2
Nordrhein-Westfalen	Anzahl der Werte	913	305	602	650	589	421	541
	Anteil größer BG [%]	4,3%	36%	42%	3,1%	41%	26%	93%
	Mittlere Konz. [µg/l]	(0,23)	4,64	10,71	(0,14)	11,14	3,59	56,42
Schleswig-Holstein	Anzahl der Werte	425	431	448	423	425	430	
	Anteil größer BG [%]	32%	56%	99%	32%	89%	39%	
	Mittlere Konz. [µg/l]	0,09	1,85	23,4	0,13	4,96	2,34	
Bremen	Anzahl der Werte	47	47	47	47	47	47	47
	Anteil größer BG [%]	30%	85%	100%	2,1%	98%	45%	98%
	Mittlere Konz. [µg/l]	0,21	3,69	15,26	(0,11)	9,99	1,06	37,4
Berlin	Anzahl der Werte	378	947	936	832	930	994	990
	Anteil größer BG [%]	27%	10%	66%	1,4%	74%	4%	41%
	Mittlere Konz. [µg/l]	0,11	2,5	9,6	(0,24)	9,94	(32,0)	32,0
Sachsen-Anhalt	Anzahl der Werte	394	314	831	328	314	398	105
	Anteil größer BG [%]	23%	68%	69%	20%	55%	61%	98%
	Mittlere Konz. [µg/l]	0,97	20,0	20,1	0,44	19,5	8,25	164,5
Sachsen	Anzahl der Werte	46	40	38	14	36	46	2
	Anteil größer BG [%]	33%	65%	63%	43%	47%	63%	100%
	Mittlere Konz. [µg/l]	0,61	6,67	14,4	0,34	9,2	9,40	(93,5)
Mecklenburg-Vorpommern	Anzahl der Werte	436	447	447	363	447	443	359
	Anteil größer BG [%]	76%	79%	94%	58%	90%	91%	97%
	Mittlere Konz. [µg/l]	1,15	4,05	12,4	0,23	11,5	14,5	52,0
Brandenburg	Anzahl der Werte	151	161	171	95	171	172	172
	Anteil größer BG [%]	60%	55%	74%	85%	83%	65%	79%
	Mittlere Konz. [µg/l]	0,78	6,66	14,2	0,10	12,4	4,44	63,3

Mittlere Ablaufkonzentrationen der Bundesländer (Schritt 3)

Nach dem Durchlaufen der dargestellten Filterkriterien wurden zunächst auf der Ebene der Bundesländer mittlere Ablaufkonzentrationen berechnet (vgl. Tabelle 3.2-2). Die Datensätze der Länder Hamburg und Thüringen konnten nicht verwendet werden, da im Falle von Thüringen keine Information zu den Bestimmungsgrenzen vorlag (und auch nicht nachrecherchiert werden konnte) und für Hamburg nur Jahresmittelwerte ohne Information über Anzahl der Werte über bzw. unter der Bestimmungsgrenze zur Verfügung gestellt wurden. Weiterhin konnte für einige Bundesländer kein verlässlicher Mittelwert angegeben werden, da weniger als 10 % der Werte über der Bestimmungsgrenze lagen (z.B. Cd, Hg, Pb) bzw. insgesamt nicht genügend Messwerte vorhanden waren (z.B. Zn).

Um auch diese Länder, bei der Berechnung der Emissionsfaktoren berücksichtigen zu können, wurde ihnen je nach geografischer Lage der Mittelwert für die Alten bzw. Neuen Bundesländer zugewiesen. Diese Differenzierung war erforderlich, da die mittleren Ablaufkonzentrationen in den Neuen Bundesländern mit Ausnahme von Hg höher lagen als die der Alten Bundesländer (vgl. Tabelle 3.2-4). Bei der Berechnung flossen diejenigen Bundesländer ein, die für das entsprechende Metall alle Gütekriterien erfüllt haben.

Tabelle 3.2-4: Mittlere Ablaufkonzentrationen in [$\mu\text{g/l}$] für die Alten und Neuen Bundesländer

Werte in $\mu\text{g/l}$	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Alte Bundesländer	0,25	4,53	11,78	0,29	8,12	3,44	66,25
Neue Bundesländer	0,82	9,25	15,31	0,27	12,85	8,35	93,66

Mittlere Ablaufkonzentrationen der Flussgebiete (Schritt 4)

Bei der Umrechnung der mittleren Ablaufkonzentrationen der Bundesländer zu mittleren Ablaufkonzentrationen der großen Flussgebiete wurde eine Gewichtung anhand der Einwohnerwerte² des Bundeslandes im jeweiligen Flussgebiet vorgenommen. Die resultierenden Konzentrationen sind in Tabelle 3.2-5 zusammengestellt.

² Die Einwohnerwertanteile der Bundesländer an den Flussgebieten wurden freundlicherweise von Herrn Schmoll (IGB, Berlin) zur Verfügung gestellt.

Tabelle 3.2-5: Mittlere Schwermetallablaufkonzentrationen kommunaler Kläranlagen für die großen Flussgebiete Deutschlands [$\mu\text{g/l}$]

Flussgebiet	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Donau	0,2	4,3	13,2	0,2	6,0	4,3	90,3
Rhein	0,3	5,0	12,6	0,3	9,2	3,6	64,5
Ems	0,2	3,7	8,9	0,4	7,9	3,1	59,8
Weser	0,3	4,1	9,6	0,5	7,5	2,9	58,6
Elbe	0,5	7,1	14,3	0,3	10,6	5,8	84,8
Oder	0,7	6,7	14,2	0,2	11,6	5,7	71,1
Küstengebiet Nordsee	0,2	3,0	12,2	0,4	6,3	2,7	69,5
Küstengebiet Ostsee	0,5	2,8	18,8	0,2	7,7	7,4	76,6

Einwohnerspezifische Emissionsfaktoren (Schritt 5)

Die in Tabelle 3.2-5 dargelegten mittleren Ablaufkonzentrationen der Flussgebiete bilden die Grundlage zur Ableitung der einwohnerspezifischen Emissionsfaktoren [$\text{g/E}\cdot\text{a}$] nach folgendem Ansatz:

$$E_{\text{fak}} = \frac{C_{\text{KA}} \cdot Q_{\text{KA}}}{E_{\text{KA}}}$$

E_{fak} = Emissionsfaktor [$\text{g/E}\cdot\text{a}$]

C_{KA} = Ablaufkonzentration [$\mu\text{g/l}$]

Q_{KA} = Abwassermenge [$1000 \text{ m}^3/\text{a}$]

E_{KA} = angeschlossene Einwohner [-]

Die zur Berechnung der Emissionsfaktoren erforderlichen Informationen zu den angeschlossenen Einwohnern und Abwassermengen für die Flussgebiete wurden den Angaben des Statistischen Bundesamt (1998a) entnommen.

In Tabelle 3.2-7 sind die Emissionsfaktoren für die Flussgebiete, die die Grundlage zur Berechnung der über den Pfad kommunale Kläranlagen eingetragenen Frachten bilden, zusammengestellt.

Tabelle 3.2-6: Angeschlossene Einwohner, Einwohnerwerte, gesamte behandelte Abwassermenge sowie einwohnerspezifische Abwassermenge (StaBu, 1998a)

Flussgebiet	Einwohner	Einwohnerwerte	Abwassermenge [Mio m ³ /a]	spez. Abwassermenge [m ³ /E·a]
Donau	8.050.100	13.657.700	1.276	159
Rhein	35.678.800	58.414.400	5.799	163
Ems	2.391.800	4.745.300	258	108
Weser	8.235.200	13.233.900	935	114
Elbe	14.145.800	20.482.800	1.265	89
Oder	477.000	670.500	32	68
Nordsee	1.086.700	2.493.700	122	112
Ostsee	2.154.000	3.425.200	160	74

Tabelle 3.2-7: Einwohnerspezifische Emissionsfaktoren [g/E·a] für den Eintragspfad kommunale Kläranlagen

Flussgebiet	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Donau	0,03	0,68	2,09	0,02	0,95	0,68	14,30
Rhein	0,05	0,81	2,04	0,04	1,49	0,58	10,48
Ems	0,03	0,40	0,96	0,04	0,85	0,33	6,45
Weser	0,03	0,47	1,09	0,05	0,85	0,33	6,65
Elbe	0,05	0,64	1,28	0,03	0,94	0,52	7,58
Oder	0,05	0,45	0,96	0,01	0,79	0,39	4,81
Küstengebiet Nordsee	0,02	0,34	1,37	0,04	0,71	0,31	7,77
Küstengebiet Ostsee	0,04	0,21	1,40	0,01	0,57	0,55	5,69

Im Rahmen dieser Abschätzung sollte für alle Metalle ein einheitliches Verfahren verwendet werden, um die Datenqualität der Ablaufkonzentrationen sicherzustellen. Größere Unsicherheiten ergeben sich jedoch insbesondere für das Metall Quecksilber, da es i.d.R. nur in sehr geringen Konzentrationen im Kläranlagenablauf enthalten ist. Somit konnten einige Datensätze keine Berücksichtigung finden, da nicht 10 % der Messwerte über der Bestimmungsgrenze lagen, was zu einer sehr lückenhaften Datenverfügbarkeit bezogen auf die Flussgebietsflächen führt. Die festgelegten Auswahlkriterien können insbesondere bei diesem Metall dazu führen, dass Anlagen mit erhöhten Quecksilberkonzentrationen im Kläranlagenablauf bei dieser

Berechnung der Mittelwerte überproportional berücksichtigt werden. Die Quecksilberfrachten aus kommunalen Kläranlagen sind deshalb kritischer zu betrachten und erfordern eine weitergehende Prüfung.

3.2.3 Weitergehende Auswertungen

Im Rahmen der Datenrecherche wurden nicht nur Messwerte, sondern auch begleitende Informationen abgefragt. Besonders wichtig erschien der Anteil der Indirekt-einleiter sowie die Ausbaugröße der Kläranlagen. Beide Faktoren könnten, so war die Vermutung, die Höhe der Ablaufkonzentrationen signifikant und gerichtet beeinflussen. Leider war der Rücklauf, der auch diese Zusatzinformation enthielt, außerordentlich gering, so dass es bundesweit nicht möglich war, eine entsprechende Analyse durchzuführen. Am Beispiel des Bundeslandes Bayern, das auf Grund des Datenumfangs und der einheitlich niedrigen Bestimmungsgrenze die „besten“ Daten lieferte, kann jedoch gezeigt werden, dass die vermuteten Einflüsse bei keinem Metall erkennbar sind. In den Abbildungen 3.2-4 und 3.2-5 sind als Beispiel die gemessenen Ablaufkonzentrationen der Metalle Blei und Kupfer über die Ausbaugröße bzw. den Industrieanteil der Anlagen aufgetragen.

Abbildung 3.2-4: Kupfer- und Bleikonzentrationen [$\mu\text{g/l}$] im Ablauf kommunaler Kläranlagen in Abhängigkeit von der Ausbaugröße (Einwohnerwerte)

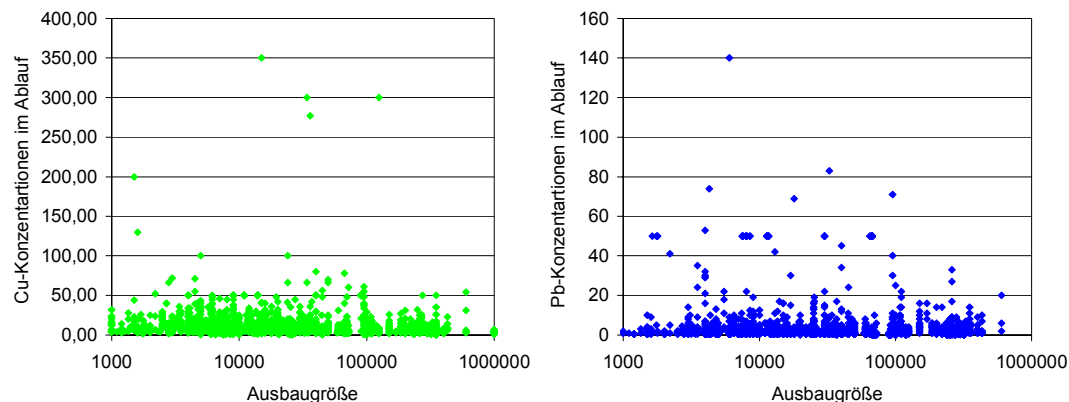
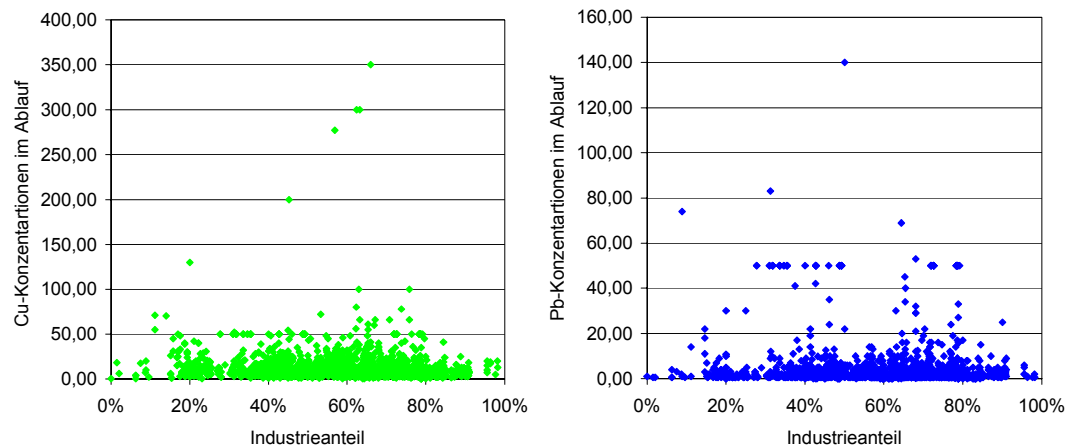


Abbildung 3.2-5: Kupfer- und Bleikonzentrationen [$\mu\text{g/l}$] im Ablauf kommunaler Kläranlagen in Abhängigkeit vom Industrieanteil



Die Abbildungen 3.2-4 und 3.2-5 zeigen, dass für den Datensatz von Bayern kein Zusammenhang zwischen den Ablaufkonzentrationen und den Einflussfaktoren „Ausbaugröße“ und/oder „Industrieanteil“ besteht. Mit Ausnahme von wenigen Ausreißern, die sich jeweils über das gesamte Spektrum der Sortierungskriterien verteilen, ergibt sich ein homogenes Datenbild ohne erkennbaren Trend. Der gleiche Befund ergibt sich aus den Datensätzen von Baden-Württemberg.

3.3 Industrielle Direkteinleiter

3.3.1 Datenrecherche und Methodik

Auf Grund der in Kapitel 1 beschriebenen heterogenen Situation bzgl. der Erfassung, Auswertung und Veröffentlichung von Abwasseremissionsdaten in Deutschland mussten Daten aus unterschiedlichen Quellen zusammengetragen und ausgewertet werden. Grundsätzlich konnte auf folgende Datenquellen zurückgegriffen werden:

- Daten der Wasserwirtschafts- bzw. Umweltverwaltungen der Bundesländer,
- Daten, die im Rahmen von internationalen Berichtspflichten oder der Arbeiten von Flussgebietskommissionen zusammengetragen und veröffentlicht wurden,
- Umwelterklärungen bzw. Umweltberichte von Unternehmen,
- sonstige Datenquellen wie z.B. Ergebnisse aus Forschungsvorhaben (Ostsee, Textilindustrie, WWF), Daten des Statistischen Bundesamtes, Veröffentlichungen des Verbandes der Chemischen Industrie.

Bei einzelnen Datenquellen standen teilweise für Einleiter nur Daten zu den eingeleiteten Abwassermengen zur Verfügung. Um diese Emissionen mitberücksichtigen zu können, wurden für die Zellstoff- und Papierindustrie anhand sonstiger zur Verfügung stehender Daten mittlere Durchschnittskonzentrationen errechnet, über die anschließend die Abwasserfrachten abgeschätzt werden konnten. Die Daten zu den Abwasserkonzentrationen stammen zum einen aus den Umwelterklärungen und Umweltberichten, aus den übermittelten Daten einzelner Bundesländer sowie aus zusätzlichen Literaturquellen (z.B. Gluschke, 1999).

An methodischen Schwierigkeiten und Festlegungen bei der Datenauswertung sind vor allem folgende Punkte zu nennen:

- Bei Konzentrationsangaben unter der Bestimmungsgrenze wurde mit der Hälfte der Bestimmungsgrenze gerechnet, es sei denn, alle Messwerte waren kleiner als die Bestimmungsgrenze. In diesem Fall wurde angenommen, dass die Konzentration gleich 0 ist (sonst entsteht eine Ungleichbehandlung mit Firmen, bei denen nicht gemessen wurde).
- Erhöhte Frachten auf Grund von Störfällen in 1997 wurden in das Inventar aufgenommen. Wenn diese Frachten erheblich für das Gesamtergebnis sind, werden sie als Resultat eines Störfalles kenntlich gemacht.
- Direkteinleiter, bei denen es nach 1997 auf Grund von Betriebsschließungen oder Produktionsumstellungen zu einer erheblichen Änderung der Emission kam, sind mit entsprechenden Anmerkungen zu den aktuellen Emissionswerten erläutert. In dem Emissionsinventar wurden aber die tatsächlichen Daten für 1997 verwendet.
- Basis für Frachtberechnungen sind die aktuell ermittelten Konzentrationen und Abwassermengen der Überwachung. Falls diese nicht vollständig zur Verfügung standen, mussten in Einzelfällen zur Ergänzung auch Genehmigungswerte herangezogen werden. Zu den Abwassermengen lagen häufig mehrere, zum Teil sehr unterschiedliche Angaben vor: genehmigte Abwassermenge; erklärte Abwassermenge nach Abwasserabgabengesetz; über das Jahr gemessene, tatsächliche Jahresabwassermenge; aus einzelnen, über kurze Probenahmezeiten gemessenen Meßwerten hochgerechnete Jahresabwassermenge. Bei Einleitern mit mehreren Abwasserteilströmen (Prozessabwasser ohne/mit Sanitär- und Regenwasser) bestanden teilweise auch Unklarheiten bzgl. der Zuordnung zu den Ergebnissen der Konzentrationsmessungen. In verschiedenen Fällen konnte erst durch Nachfragen die einzusetzende Abwassermenge festgelegt werden. Die Berechnung der Jahresfracht erfolgte dann i.d.R. über die mittlere Abwasserkonzentration im Jahresdurchschnitt und die Jahresabwassermenge.
- Auf Grund der Berücksichtigung unterschiedlicher Datenquellen lagen teilweise für einzelne Einleiter mehrere, zum Teil voneinander abweichende Angaben vor (z.B. Daten aus der behördlichen Überwachung und Daten aus Umwelterklärungen). Grundsätzlich wurde dabei den Überwachungsdaten eine höhere Priorität

zugeordnet. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass diesen Überwachungsdaten i.d.R. eine sehr geringe Zahl an Messwerten zu Grunde liegt (sehr häufig wurden auch bei Großeinleitern nur 1 bis 5 Proben pro Jahr analysiert) und es deshalb zwangsläufig zu Ungenauigkeiten und hohen Schwankungen zwischen verschiedenen Jahren kommen kann. Auf Grund der höheren Messwertdichte wurden bspw. auch bei der Berechnung der Frachten für das IKS-R-Einleiterinventar für 1996 von den Bundesländern teilweise zusätzlich die Eigenkontrollwerte der Einleiter miteinbezogen. Diese Werte lagen im Allgemeinen über denen der behördlichen Überwachung. Zur Berechnung der Daten für das Emissionsinventar Wasser wurde deshalb in begründeten Fällen entsprechend vorgegangen und Eigenkontrollwerte berücksichtigt.

- Vorbelastungen des in der Produktion eingesetzten Wassers können in Branchen mit hohem Wasserbedarf einen starken Anteil an den Emissionswerten ausmachen. Wenn möglich wurden diese Vorbelastungen bei der Auswertung berücksichtigt. In Einzelfällen, z.B. wenn die Wasserentnahme als Kühlwasser erfolgte oder das Wasser für Prozesszwecke aufbereitet wurde, nahm die Schwermetallfracht sogar ab. Da die entsprechenden Informationen jedoch nur lückenhaft waren, war eine durchgängige Berücksichtigung nicht möglich.
- Die Listen der Direkteinleiter sind für die einzelnen Bundesländer nicht vollständig, da von den Überwachungsbehörden in der Regel nur Direkteinleiter ab einem bestimmten frachtbezogenen Schwellenwert aufgeführt wurden, um die Auswertung zu vereinfachen. Eine Ausnahme stellt das Bundesland Berlin dar, in dem nach Darstellung der Behörde keine Direkteinleiter ansässig sind. Da kleinere Einleiter nur sehr selten beprobt werden, sind für einzelne Jahre auch häufig keine auswertbaren Datenkollektive vorhanden. So gibt z. B. Hamburg die Zahl seiner Direkteinleiter mit ca. 350 an, hiervon werden aber nur 60 regelmäßig beprobt. Für die Schwermetalle wurden für das vorliegende Vorhaben von Hamburg zu 10 Firmen Daten zur Verfügung gestellt.
- Die Betriebe waren nicht in allen Fällen eindeutig zu einem Anhang nach § 7a zuordenbar. Gerade bei den großen Firmen gibt es häufig mehrere Abwassereinleitungen, die nach jeweils geeigneten Anhängen überwacht werden. Auf der anderen Seite gibt es auch einzelne Einleitungen, die nach drei oder mehr Anhängen überwacht werden. In Einzelfällen werden von den Bundesländern auch keine Anhänge für überwachte Abwassereinleitungen angegeben. Wenn ein Vergleich der Länderdaten mit Umweltberichten u.a. notwendig wurde, sind die einzelnen Einleitungen unter dem am sinnvollsten erscheinenden Anhang zusammengefasst worden.
- Direkteinleitungen in Flüsse und Bäche, die dann in eine Kläranlage einmünden, werden bei der Auswertung nicht berücksichtigt. Bekanntestes Beispiel für ein Gewässer mit Flussklärwerk ist die Emscher: Frachten von Firmen, die in die Emscher einleiten, wurden als indirekt eingeleitet betrachtet und nicht mit ausgewertet.

3.3.2 Anhang 17: Herstellung keramischer Erzeugnisse

- Anwendungsbereich ist Abwasser, dessen Schmutzfracht im Wesentlichen aus der gewerblichen Herstellung keramischer Erzeugnisse stammt. Ausgenommen ist Abwasser aus Kühlsystemen, der Betriebswasseraufbereitung und betrieblichen Sanitäreinrichtungen.
- Für die in der keramischen Industrie in Glasuren und Dekors verwendeten Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Kobalt, Kupfer, Nickel, Zink gelten Konzentrationsgrenzwerte für Abwasser, das eine Menge von 4 m³/Tag übersteigt.
- Die keramische Industrie wird in die Bereiche Fein- und Grobkeramik unterteilt. Zur grobkeramischen Industrie gehört die Herstellung von Feuerfesterzeugnissen, Spaltplatten, Grobsteinzeug (Steinzeugröhren, Baukeramik), Dach- und Mauerziegeln. Zur Feinkeramik die Herstellung von Geschirr- und Zierporzellan, Geschirr und Zierartikeln aus Steingut/Feinsteinzeug, Sanitärkeramik, Wand- und Bodenfliesen, Ofenkacheln, Schleifwerkzeugen, sonstigen technischen Keramiken (z. B. Piezokeramik). Die Produktion unglasierter Erzeugnisse ist weitgehend abwasserfrei. Durch Verzicht auf problematische Schwermetalle bei Glasuren für unterschiedliche Erzeugnisse sind für die Schwermetallemissionen im Wesentlichen nur noch die Herstellung von Porzellanerzeugnissen sowie Geschirr und Zierartikeln aus Steingut und Feinsteinzeug von Bedeutung.
- Schwermetallhaltiges Abwasser aus entsprechenden Betrieben fällt als Spülwasser beim Glasieren und Dekorieren sowie als Schleifwasser bei der Nachbehandlung an. Die Spritztechnik ist stark zurückgegangen, der Dekorauftrag erfolgt häufig rückstandsfrei mit vorgefertigten Dekors. Die Glasuren werden zunehmend als Fritten eingesetzt, d. h. sie sind nicht wasserlöslich.
- Die Abwässer werden mechanisch in Absetzbecken, teilweise unter Zugabe von Flockungshilfsmitteln, gereinigt.
- Die Zahl der relevanten Betriebe hat sich in den letzten Jahren erheblich verringert. Die regional konzentrierten Betriebe (Oberfranken, Oberpfalz, Thüringen, Sachsen, Saarland) liegen vielfach an schwachen Vorflutern und wurden daher an die Kanalisation angeschlossen. Geblieben sind nur noch sehr wenige Direkt-einleiter.
- Je nach Produktpalette, Glasiertechnik, Farbpalette und Abwasserbehandlung können die Schwermetallemissionen sehr unterschiedlich sein. Daher ist es nicht sinnvoll, mit spezifischen Emissionswerten (bezogen auf die Produktion oder die Abwassermenge) zu arbeiten. Zur Bilanzierung dienen daher nur Angaben einzelner Betriebe sowie die Rückmeldungen der Bundesländer.
- Aus der StaBu-Statistik (1998b) ergibt sich für 1995 für Direkt-einleiter aus dem Bereich Herstellung von Keramik (26.2) für die Gesamtbranche (ohne Ziegelei und Baukeramik) eine behandelte Abwassermenge von 1.3 Mio m³. Der Anteil,

der den Bereich Porzellan, Geschirr und Zierartikel betrifft, ist nicht daraus abzuleiten.

3.3.3 Zellstofferzeugung und Herstellung von Papier und Pappe (19. AbwasserVwV, Teil A und Anhang 19, Teil B der Rahmen-AbwasserVwV)

- Die 19. AbwasserVwV, Teil A (Zellstofferzeugung) sowie der Anhang 19, Teil B (Herstellung von Papier und Pappe) sehen keine Grenzwerte für Schwermetalle vor, da die Konzentrationen der Schwermetalle in den Abwässern aus diesen Bereichen sehr gering sind. Schwermetallhaltige Pigmente, die in der Vergangenheit zur Schwermetallbelastung der Abwässer beitrugen, werden nicht mehr eingesetzt. Mögliche Schwermetallquellen sind dagegen die eingesetzten Füllstoffe (z.B. Kaolin) sowie mögliche Rücklösungen von Schwermetallen aus dem eingesetzten Holzstoff (Hamm, 1991; Hamm, 1999). In Einzelfällen ist bei den Betrieben zusätzlich eine Galvanik vorhanden zur Herstellung der Druckzylinder, über die ebenfalls Schwermetallfrachten entstehen können.
- Die überwiegende Zahl der zellstoff- und papierherstellenden Betriebe sind Direkteinleiter. Nach den Ergebnissen einer Befragung in 96/97 waren unter 117 papierherstellenden Betrieben, die insgesamt knapp 90 % der Papierproduktion in Deutschland abdeckten, 66 Direkteinleiter (Hillenbrand et al., 1999).
- Bei den Direkteinleitern wird das Abwasser i.d.R. sowohl mechanisch, chemisch-physikalisch und biologisch behandelt. Das Wasser wird üblicherweise in einem hohen Maße im Kreislauf geführt (im Durchschnitt liegt der Kreislaufschließungsgrad > 90%).
- Da die Schwermetallkonzentrationen im Abwasser sowohl auf Grund der Bestimmungen des Anhangs 19 als auch für die Festlegung der Abwasserabgabe (Konzentrationen < Schwellenwerten nach AbwAG) i.a. nicht relevant sind, werden diese Abwässer nur selten hinsichtlich der Schwermetallbelastung analysiert oder es werden zu grobe Analysenverfahren mit einer unzureichenden Messgenauigkeit eingesetzt. Insgesamt liegen deshalb nur sehr wenige Daten zu den emittierten Schwermetallfrachten vor. In den von den Bundesländern zur Verfügung gestellten Informationen waren für ca. 20 direkteinleitende Zellstoff- und Papierbetriebe Schwermetalldaten enthalten. Die daraus berechneten Ergebnisse waren jedoch stark von den Rahmenbedingungen in den einzelnen Ländern abhängig (untersuchte Parameter, eingesetzte Analyseverfahren, etc.) und konnten deshalb nicht für eine Gesamtabstschätzung herangezogen werden.
- Zur Berechnung der insgesamt emittierten Frachten wurden stattdessen anhand der vorliegenden Konzentrationsangaben und anhand von Expertengesprächen Durchschnittskonzentrationen für die einzelnen Schwermetalle abgeschätzt (s. Tabelle 1). Für die zur Frachtberechnung zusätzlich erforderlichen Daten für die

Abwassermenge wurden die Ergebnisse der Erhebung des Statistischen Bundesamtes von 1995 verwendet (StaBu, 1998b), die im Rahmen einer Sonderauswertung für die einzelnen Flussgebiete aufgeschlüsselt wurde. Verwendet wurden dabei die Angaben für das Papiergewerbe (Branche 21) sowie die Angaben zur direkt eingeleiteten, behandelten Abwassermenge (für Deutschland insgesamt 226,6 Mio. m³).

- Die in Tabelle 3.3-1 dargestellten Ergebnisse dieser Abschätzungen zeigen, dass die Schwermetallkonzentrationen sehr niedrig sind (zum Vergleich sind die Schwellenwerte nach dem Abwasserabgabengesetz, Grenzwerte nach der Trinkwasserverordnung, typische Konzentrationen im Trinkwasser und mittlere Konzentrationen im Fließgewässer mitangegeben), dass jedoch auf Grund der großen Schmutzwassermengen die emittierten Frachten bei den durchzuführenden Bilanzierungen zu beachten sind.

Tabelle 3.3-1: Abschätzung der Schwermetallfrachten des Bereichs Zellstoff- und Papierherstellung über mittlere Konzentrationen

		Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
mittlere Abwasserkonzentration	µg/l	0,2	2	10	0,05	10	2	15
emittierte Fracht*	kg/a	45	453	2266	11	2266	453	3398
<i>zum Vergleich:</i>								
<i>Schwellenwerte nach AbwAG</i>	µg/l	5	50	100	1	50	50	-
<i>Grenzwerte nach TrinkwasserVO</i>	µg/l	5	50	2000 ³	1	20	10	-
<i>typische Konzentrationen im Trinkwasser (Schneidmadl, 1999; Koppe/Stozek, 1998)</i>	µg/l	0,2	0,2	20		5	2	80
<i>mittlere Hintergrundkonzentration in Fließgewässern (LAWA, 1998)</i>	µg/l	0,018	2,5	1,0	0,01	1,1	0,83	3,5

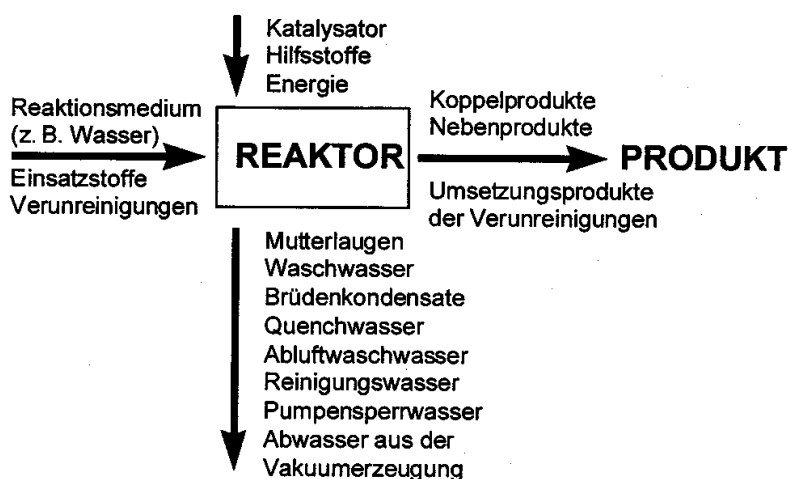
*berechnet anhand der mittleren Konzentration und einer Abwassermenge von 226,6 Mio. m³/a nach Statistischem Bundesamt: direkt eingeleitete, behandelte Abwassermenge des Papiergewerbes in 1995

³ Grenzwert nach Verordnungsentwurf zur Novellierung der Trinkwasserverordnung (Stand Ende 1999)

3.3.4 Anhang 22: Chemische Industrie

- Der Anhang 22 gilt für Abwasser, das im Wesentlichen bei der Herstellung von Stoffen durch chemische, biochemische oder physikalische Verfahren einschließlich der zugehörigen Vor-, Zwischen- und Nachbehandlung anfällt. Er regelt somit die Anforderungen für Abwasser, das im Wesentlichen aus Betrieben der organischen und anorganischen Chemie stammt. Allerdings gelten für viele Chemiebetriebe andere Anhänge, z. B. auch Anhang 31 (Wasseraufbereitung, Kühlsysteme, Dampfherzeugung). Des Weiteren können Chemische Werke nach mehreren Anhängen überwacht werden oder haben verschiedene Einleitungen, die nach unterschiedlichen Anhängen geregelt sind.
- Konzentrationsfracht-Begrenzungen nach dem Stand der Technik gelten für die im Vorhaben untersuchten Schwermetalle Quecksilber, Cadmium, Kupfer, Nickel, Blei, Chrom und Zink.
- In der Chemischen Industrie fallen Abwasserströme im direkten Zusammenhang mit chemischen Synthesen an (vergleiche Abbildung 3.3-1), aber auch als Abwasser aus Rauchgasreinigungen aus Rückstandsverbrennungsanlagen, aus der Aufbereitung von Brauchwasser, als Deponiesickerwasser etc..

Abbildung 3.3-1: Abwasserströme bei chemischen Synthesen (BMU, LAWA, 2000)



- Die folgende Tabelle zeigt eine Zusammenstellung der Frachten anhand der konventionellen Chemie-Anhänge und dem „Responsible Care“-Bericht des Verbands der Chemischen Industrie (VCI). Es werden nur die Gesamtfrachten berichtet (vgl. Tabelle 3.3-2), eine Aufteilung der VCI-Werte z. B. in Flussgebiete ist nicht möglich (VCI, 1999). Daher waren diese Daten nur zur Überprüfung

von Summenangaben nutzbar. Im Rahmen der Vereinbarung des VCI mit dem Hafen Rotterdam werden die Direkteinleitungen der Chemischen Industrie in den Rhein nach Rotterdam berichtet (VCI, 2000). Es ist ersichtlich, dass die erhobenen Werte in derselben Größenordnung wie die Verbandszahlen liegen. Beim Arsen und beim Chrom sind die für Deutschland erhobenen eigenen Werte geringer als die vom VCI genannten Werte für die chemische Industrie. Es ist dabei zu beachten, dass teilweise auch Betriebe der Nichteisenmetallerzeugung, Erdölverarbeitung u.a. zum Verband der Chemischen Industrie gehören und Daten für Arsen nicht von allen Bundesländern zur Verfügung gestellt wurden.

- Die Zahl der ausgewerteten direkteinleitenden Betriebe nach Anhang 22 beträgt ca. 70 (aus den Länderdaten von Bayern und NRW lässt sich die genaue Anzahl der Unternehmen nicht entnehmen). In den „Hinweisen und Erläuterungen zum Anhang 22“ wird die Zahl von rund 1.500 Betrieben genannt, die zum Herkunftsbereich zählen. Hiervon sind über 90 % Indirekteinleiter, so dass an über 100 Standorten das Abwasser direkt eingeleitet wird (BMU, LAWA, 2000).
- Aus der StaBu-Statistik ergeben sich für 1995 für Direkteinleiter aus dem Bereich der Chemischen Industrie folgende Abwassermengen für die einzelnen Flussgebiete (behandeltes Abwasser, abgeleitet in Oberflächengewässer):

Tabelle 3.3-2: Vergleich einiger aggregierter Auswertungen mit VCI-Verbandszahlen

Angaben in [kg/a]	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
VCI, Deutschland 1997	2.000	340	22.000	28.000	222	22.000	13.000	116.000
<i>Eigene Erhebungen:</i>								
Anhang 22 Chemische Industrie	600	182	6.866	19.042	140	13.460	3.044	58.915
Anhang 30 Sodaherstellung	810	70	1.610	1.260	12	1.310	7.500	7.900
Anhang 31 Wasseraufbereitung, Kühlsysteme, Dampferzeuger		18	129	1.546	2	112	371	3.289
Anhang 37 Herst. anorg. Pigmente		13	27	6		70	138	5.424
Anhang 42 Alkalichloridelektrolyse		1						
Anhang 43 Chemiefasern			29			29	29	15.115
44. AbwasserVwV Düngemittel				23		488		
Anhang 48 Verw. gefährlicher Stoffe		1	7.244	2.240	12	496	1.641	13.820
Alle Che-Anhänge	1.410	284	15.905	24.117	167	15.965	12.723	104.463
Alle Anhänge, Deutschland	1.824	1.017	20.435	32.669	223	23.147	23.752	159.099
VCI, Rhein 1996	1.800	350	15.000	25.000	150	20.000	15.000	100.000
VCI, Rhein 1998	2.000	250	13.000	20.000	130	18.000	14.000	80.000
<i>Eigene Erhebungen:</i>								
Anhang 22 Chemische Industrie, Rhein	575	133	5.658	15.869	89	10.661	2.414	46.572
Alle Anhänge, Rhein	1.385	217	11.684	18.625	115	12.242	10.503	73.558

Tabelle 3.3-3: Übersicht über die Abwassermengen der Direkteinleiter 1995 in Mio. m³/a (StaBu, 1999)

		ge-samt	Donau	Rhein	Ems	Weser	Elbe	Oder	Küste
DG	Chem. Industrie	514,0	22,1	385,8	0,6	15,4	87,2	.	2,8
24.1	H. v. chemischen Grundstoffen	466,1	18,3	355,8	.	12,7	76,4	-	2,8
24.4	H. v. pharmazeut. Erzeugnissen	11,8	0,4	8,9	.	2,2	0,0	-	-
24.5	H. v. Seifen, Wasch-Reinigungs- u. Körperpflegem.	2,8	2,6	0,1	-	-	-	.	-
24.6	H. v. sonst. chem. Erzeugnissen	8,1	0,7	6,0	0,0	0,5	0,9	-	-
24.7	H. v. Chemiefasern	24,9	.	14,9	-	-	10,0	-	-

3.3.5 **Anhang 24A: Eisen- und Stahlherstellung, Anhang 24B: Eisen-, Stahl- und Tempergießerei**

- Anwendungsbereich für Anhang 24A ist Abwasser, dessen Schmutzfracht im Wesentlichen aus folgenden Herstellungsbereichen stammt: Sinteranlagen, Roheisenerzeugung im Hochofen und Schlackengranulation, Herstellung von Eisenschwamm durch Direktreduktion, Rohstahlerzeugung im Sauerstoffkonverter oder im Elektrostahlofen einschließlich Sekundärmetallurgie, Strangguss und Warmumformung, Warmfertigung von Rohren, Kaltfertigung Blech, Kaltfertigung Rohre / Profile / Bandstahl / Draht, kontinuierliche Oberflächenveredlung von Halbzeug und Halbfertigerzeugnissen aus Stahl. Diese Weiterverarbeitungsbetriebe werden in einigen Fällen dem Anhang 40 zugeordnet, d.h. die Emissionen von Direkteinleitern sind dann auch bei der Metallverarbeitung erfasst.

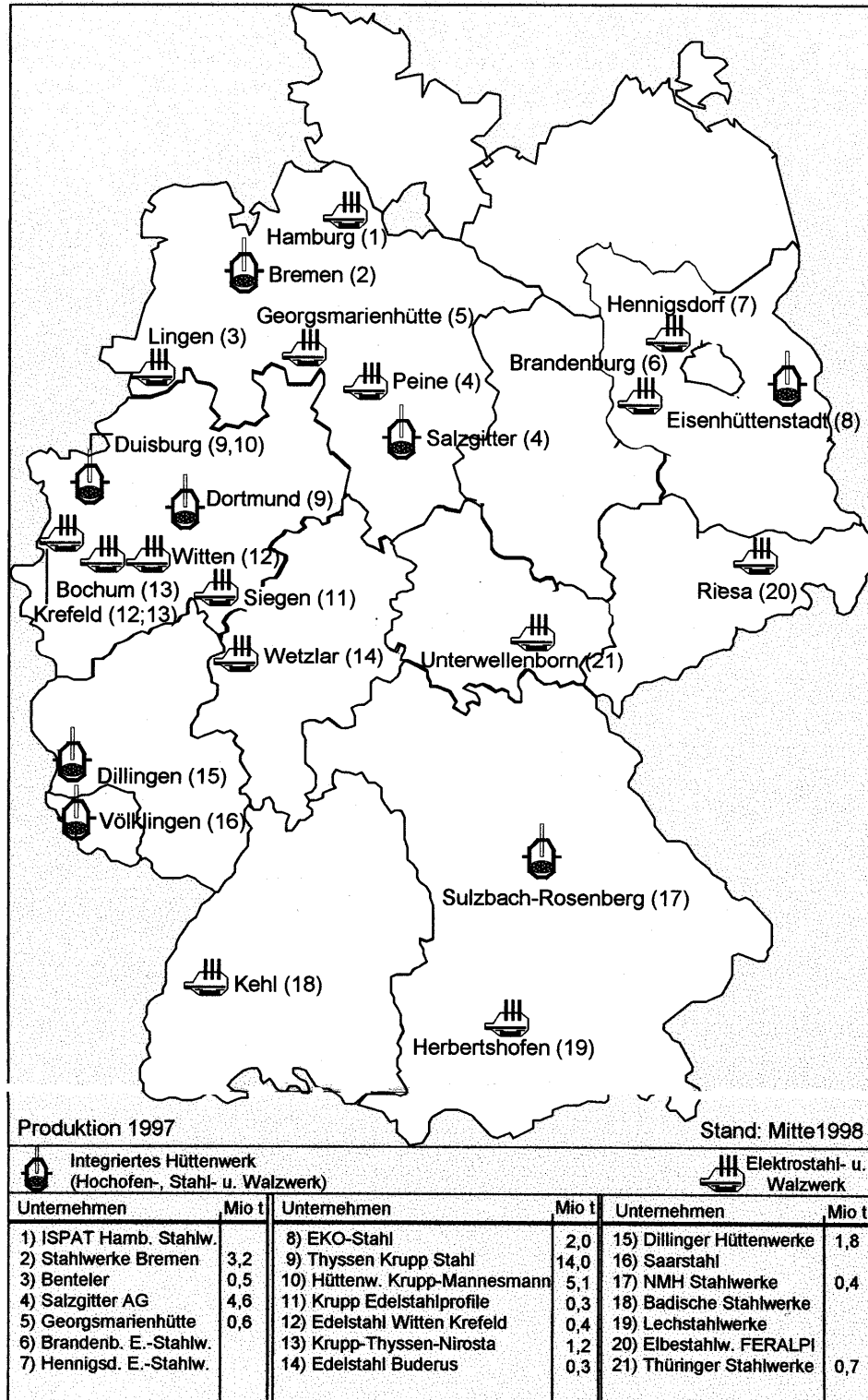
Ausgenommen ist das Abwasser aus Kokereien sowie Abwasser aus Kühlsystemen zur indirekten Kühlung von Prozessen und aus der Betriebswasseraufbereitung.

- Für die einzelnen Herstellungsbereiche gelten für die Schwermetalle in der Regel Konzentrationsgrenzwerte, für die Roheisenerzeugung auch produktionsspezifische Frachtwerte (bezogen auf die dem Bescheid zu Grunde liegende Produktionskapazität).
- Schwermetalle werden in die Eisen- und Stahlherstellung durch Erze, Koks und Zuschläge (Primärerzeugung) sowie durch die Verarbeitung von Stahlschrott (Konverter und Elektrostahlofen) eingetragen.
- Die bedeutendsten Schwermetallemissionen dieser Branche werden von der Primärstahlerzeugung verursacht (vor allem mit den Staubemissionen). Für die Primärstahlerzeugung gab es 1997 in Deutschland noch acht Hochofenstandorte (vgl. Abbildung 3.3-2). Abgase aus Sinteranlagen (Hauptschwermetallquelle) werden in Deutschland nicht mehr in Nasswäschen behandelt, so dass hieraus keine Abwasseremissionen entstehen. Gichtgase des Hochofens werden grundsätzlich in Nasswäschern behandelt, sie sind Hauptquelle für die Abwasserbelastungen. Auch Abgase aus Sauerstoffkonvertern werden relativ häufig nass entstaubt, wogegen Nasswäscher hinter Elektroöfen (ca. zwanzig Betriebe) in Deutschland nicht eingesetzt werden. Weitere Schwermetallemissionen entstehen durch die Direktkühlung beim Strangguss und Warmwalzen sowie ggf. auch bei der Fertigung von Blechen, Rohren, Bändern und Profilen. Die Palette der Schwermetallemissionen wird hier wesentlich von den Gehalten im Stahl bestimmt (Edelstahl: hohe Werte für Chrom und Nickel).
- Aus den Rückmeldungen der einzelnen Bundesländer lässt sich abschätzen, dass die Zahl der Direkteinleiter aus der Eisen- und Stahlherstellung im Jahre 1997 bei unter zwanzig lag. Dies liegt daran, dass auch einige Hochofenbetriebe Indirekteinleiter sind (Nordrhein-Westfalen) bzw. dass in saarländischen Betrieben

die Produktion abwasserfrei arbeitet, indem das behandelte Abwasser in anderen Bereichen (Schlackengranulation, Walzanlage) als Kühlwasser eingesetzt wird und dort verdampft (Austrag der Schwermetalle mit dem festen Rückstand bzw. mit dem Produkt). Bei den Elektrostahlöfen hat sich die Tendenz des Anschlusses an kommunale Kläranlagen fortgesetzt (Brandenburg, Thüringen). Ein weiterer Grund für den Rückgang der Zahl der Direkteinleiter war schließlich die Schließung von Standorten der Stahlerzeugung.

- Die Abwasserteilströme enthalten neben feinverteilten Partikeln (Schwermetallanteil) je nach Herkunft weitere Inhaltsstoffe wie Cyanide und Phenole (Gichtgaswaschwasser) oder Öle (Weiterverarbeitung des Stahls). Üblich ist daher zur Behandlung der Abwässer eine zweistufige Sedimentation mit Hilfe von Flockungsmitteln und eine Rückführung eines Großteils des Wasch- oder Kühlwassers (pH-Wert Korrektur). Moderne Anlagen sind mit einem sorgfältig abgestimmten Wasserkreislauf konzipiert, so dass die Abwassermengen in den letzten Jahren erheblich reduziert werden konnten. Je nach den sonstigen Abwasserinhaltsstoffen werden die Abwässer (-teilströme) weiteren Behandlungsschritten unterzogen (vgl. BREF – Dokument für Eisen- und Stahl: IPPC, 2000).
- Obwohl in dem genannten BREF - Dokument spezifische Emissionsfaktoren in mg/t Eisen angegeben sind, konnten diese nur als Vergleichswerte bei der Abschätzung der Schwermetallemissionen dieser Branche herangezogen werden, da auch bei den Direkteinleitern standortabhängig sehr unterschiedliche Randbedingungen vorliegen. Diese reichen von den eingesetzten Rohstoffen über Art und Umfang der integrierten Weiterverarbeitungsschritte, die installierten Wasserkreisläufe und die Abwasserbehandlung. Beispielsweise wird in Bremen der Umfang der Kreislaufschließung durch den hohen Salzgehalt des verwendeten Wasserwassers beeinflusst, in Salzgitter wird bei der biologischen Behandlung des Abwassers der Stahlwerke auch Abwasser aus umliegenden Gemeinden und insbesondere auch anderer Industriebetriebe mitbehandelt. Zur Ermittlung der Schwermetallemissionen dieser Branche wurden daher Angaben einzelner Betriebe, Forschungsvorhaben und insbesondere die Rückmeldungen der Bundesländer herangezogen.
- Anwendungsbereich für Anhang 24B ist Abwasser, dessen Schmutzfracht im Wesentlichen aus folgenden Herstellungsbereichen der Gießereien stammt: Schmelzbetrieb, Gieß-, Kühl- und Ausleerbereich, Putzerei, Formherstellung / Sandaufbereitung, Kernmacherei, Systemreinigung. Ausgenommen ist Abwasser aus Kühlsystemen und aus der Betriebswasseraufbereitung.
- Für Schwermetalle gelten produktionsspezifische Frachtwerte (bezogen auf die dem Bescheid zugrunde liegende Produktionskapazität).

Abbildung 3.3.2: Die bedeutendsten Standorte der Stahlerzeugung in der Bundesrepublik Deutschland und Angaben zu den Produktionsmengen in 1997 (Wirtschaftsvereinigung Stahl, 1998)



- Prozessabwasser entsteht vor allem bei der nassen Abgasreinigung der Gichtgase von Schmelzöfen, aus den chemischen Wäschern der Formherstellung sowie aus Abgasreinigungsanlagen der Formstoffaufbereitung und -rückgewinnung. In größerem Umfang werden auch trockene Abscheider eingesetzt. Je nach den Abwasserinhaltsstoffen (gelöste und ungelöste Schwermetalle, Phenole, Cyanide, Amine, Chlororganika) werden unterschiedliche Behandlungsverfahren eingesetzt: Sedimentation, Hydroxidfällung, mehrstufige Fällung, Nassoxidation, Cyanid-Entgiftung, Filtration.
- 1997 arbeiteten in Deutschland 340 Gießereibetriebe, ganz überwiegend Indirekteinleiter. Ein Teil der Direkteinleiter gehört als Werkteil zu den großen metallverarbeitenden Betrieben (Fahrzeugbau, Maschinenbau), die unter Anhang 40 erfasst sind. Da auch die Abgrenzung zur Eisen- und Stahlherstellung teilweise nicht eindeutig ist, wurden von den meisten Bundesländern die Angaben für 24A und 24B zusammengefasst. Beide Bereiche werden daher in den Emissionsbilanzen zusammen erfasst, und es wurden insbesondere die Rückmeldungen der Länder hierfür verwendet. Die Tendenz zum Anschluss von Gießereibetrieben an kommunale Kläranlagen hat sich fortgesetzt, insbesondere in den östlichen Bundesländern.
- Der Verband Deutscher Hütteneisenleute (VDEh) erhebt Schwermetallemissionswerte bei seinen Mitgliedsunternehmen am Rhein, 1998 wurden 1065 kg Pb, 8910 kg Zink, 5 kg Cadmium, 514 kg Kupfer und 970 kg Chrom emittiert (Ameiling, 2000), vergleiche Tabelle 3.3-4. In einer freiwilligen Kooperation mit der Stadt Rotterdam sollen dadurch die für den Hafen Rotterdam problematischen Stoffe gezielt weiter reduziert werden.

Tabelle 3.3-4: Vergleich der VDEh-Frachten mit den erhobenen Werten

Angaben in [kg/a]	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
VDEh, Rhein 1998		5	970	514			1.065	8.910
<i>Eigene Erhebung: Anhang 24, Rhein</i>	<i>0</i>	<i>3</i>	<i>874</i>	<i>515</i>	<i>1</i>	<i>1.110</i>	<i>399</i>	<i>3.578</i>

- Aus der StaBu-Statistik (1998b) ergeben sich für 1995 für Direkteinleiter aus dem Bereich Herstellung und Verarbeitung von Eisen und Stahl nach NACE-Code folgende Abwassermengen (behandeltes Abwasser):

Tabelle 3.3-5: Abwassermengen bei der Stahlherstellung

27.1	Erzeugung Roheisen, Stahl	214.1	Mio m ³
27.2	Herstellung von Rohren	3.5	Mio m ³
27.3	sonstige erste Bearbeitung	1.0	Mio m ³
27.51	Eisengießerei	0.2	Mio m ³
28.4	Herstellung von Schmiede-, Press-, Ziehteilen	0.3	Mio m ³
		219.1	Mio m ³

3.3.6 Anhang 25: Lederherstellung, Pelzveredelung, Lederfaserstoffherstellung

- Chromhaltiges Abwasser entsteht bei der Gerbung von Leder und Pelzen. Als Verfahren der Behandlung der chrom(III)haltigen Abwässer werden nach Chromrückgewinnung, Mehrfachnutzung der chromhaltigen Gerbbäder oder bei Verwendung von Chromspargerbstoffen - nach ausreichender Pufferung des Abwassers - eine Fällung mit Kalk und/oder Natronlauge sowie Aluminaten oder Eisensalzen oder eine biologische Behandlung, eventuell mit Nachfällung eingesetzt (BMU, LAWA, 1999b).
- Die in Anhang 25 geregelte Branche besteht aus kleinen und mittelständischen Firmen. 1996 wurden nach einer Erhebung des Fh-ISI 40 Betriebe zur Lederherstellung gehörend identifiziert (Böhm et al., 1997). Gegenwärtig werden von den Betrieben des Anhangs 25 acht eigene Abwasserbehandlungsanlagen mit Einleitung des gereinigten Abwassers in Gewässer unterhalten. Bei vier Betrieben wird nur das Abwasser aus der Lederherstellung eingeleitet. In einem Fall findet die gemeinsame Behandlung mit dem Abwasser aus einem Pelzveredelungsbetrieb statt. Bei einem weiteren Betrieb wird das Abwasser aus der Lederherstellung zusammen mit dem Abwasser aus anderen Herkunftsbereichen der Firma gereinigt. Zwei lederfaserstoffherstellende Betriebe sind Direkteinleiter (BMU, LAWA, 1996a).
- Die Zahl der erfassten direkteinleitenden Betriebe nach Anhang 25 liegt bei 5, hinzu kommen noch die bayerischen Betriebe. Bei zwei Betrieben wurden Genehmigungswerte angegeben. Bei diesen wurde zur Berechnung der tatsächlichen Chromfrachten davon ausgegangen, dass die genehmigten Frachten eine Konzentration von 1 mg/l voraussetzen. Die derzeit tatsächliche erreichte Konzentration liegt aber bei ca. 0,4 mg/l.
- Aus der StaBu-Statistik ergibt sich für 1995 für Direkteinleiter aus dem Bereich Ledergewerbe nach NACE-Code DC eine Abwassermenge von 1,5 Mio. m³. (Donau: 1 Mio. m³, Rhein 180 Tm³, Elbe 174 Tm³, Weser: keine Angabe, Ems, Küste und Oder: keine Einleitung).

3.3.7 Anhang 30: Sodaherstellung

- Geregelt werden in Anhang 30 die Schwermetalle Cd, Cu, Cr, Hg, Ni und Pb durch frachtbezogene Grenzwerte (SdT). Die produktionsspezifischen Frachtwerte beziehen sich auf die - während der mit der Probenahmezeit korrespondierenden Produktionszeit - hergestellte Menge Soda (Na_2CO_3), bestimmt über die Calciumkonzentration - nach Filtration - im Abwasser aus derselben 2-Stunden-Mischprobe.
- Die Sodaeinleiter in Deutschland sind Direkteinleiter, da eine Indirekteinleitung in kommunale Kläranlagen durch die hohen Chloridkonzentrationen den biologischen Abbau stört.
- Die Schwermetalle gelangen durch die Rohstoffe für den Solvay-Prozess (Kochsalz, Kalkstein und Koks) in das Abwasser. Die Schwermetallgehalte schwanken, je nach Förderstelle und auch nach der Schichtung im selben Steinbruch; so ist der bei Solvay in Rheinberg verwendete Düsseldorfer Kalkstein mit Blei verunreinigt (Solvay, 1998). Die Schwermetallverbindungen liegen, wie in den Rohstoffen, als Oxide und Carbonate vor und sind überwiegend an die Feststoffe gebunden. Das Abwasser setzt sich aus Kalkofengaswaschwasser, Abwasser der Solereinigung, Destillationsabwasser und Prozessabwasser zusammen (ATV, 1999a).
- In Deutschland wurde 1997 Soda von vier Sodafabriken hergestellt (BASF, Ludwigshafen; Solvay, Bernburg und Rheinberg; Matthes und Weber, Duisburg). Die Produktion in Duisburg wurde Anfang 2000 eingestellt. Die Standorte sind in der Regel Verbundstandorte, z. B. wird bei Solvay in Bernburg Soda und H_2O_2 hergestellt.

3.3.8 Anhang 31: Wasseraufbereitung, Kühlsysteme, Dampferzeugung

- Der in Anhang 31 geregelte Anwendungsbereich ist Abwasser, dessen Schmutzfracht im wesentlichen aus der Trink-, Bade- und Betriebswasseraufbereitung, aus Kühlsystemen von Kraftwerken und Kühlsystemen zur indirekten Kühlung von industriellen Prozessen sowie aus sonstigen Anfallstellen bei der Dampferzeugung stammt. Abwasser aus Anlagen zur Behandlung von Prozesswasser und aus der direkten Kühlung werden in den einschlägigen anderen Anhängen zur Rahmen-Abwasserverwaltungsvorschrift behandelt. Das Einleiten von Abwasser aus der Wäsche von Rauchgasen aus Feuerungsanlagen ist in Anhang 47 zur Rahmen-Abwasserverwaltungsvorschrift geregelt.
- In den allgemeinen Anforderung wird darauf hingewiesen, das Chrom- und Quecksilberverbindungen nicht im Abwasser vorhanden sein dürfen. Der An-

hang 31 ist nach den Anfallstellen des Abwassers gegliedert. Die Anforderungen an das Abwasser der Wasseraufbereitung beinhalten Anforderungen an Arsen, die aber nur in den abwasserrechtlichen Bescheid aufzunehmen ist, wenn der Parameter im Abwasser zu erwarten ist. Für das Abwasser aus der Abflutung von sonstigen Kühlkreisläufen ist ein Grenzwert von Zink einzuhalten. Bei den Anforderungen an das Abwasser aus sonstigen Anfallstellen bei der Dampferzeugung sind Anforderungen an u.a. Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Blei und Zink genannt, die nur in den Bescheid aufzunehmen sind, wenn der Parameter im Abwasser zu erwarten ist.

- Während Zink auch aus Konditionierungsmitteln in das Kühlwasser gelangt, werden die anderen Metalle als Korrosionsprodukte eingetragen und können somit die gesamte Bandbreite der im System installierten Metalle umfassen (ATV, 1997).
- Viele Branchen benötigen Kühlwasser für ihre Produktion, vergleiche Tabelle 3.3-6. Die Schwermetallfrachten sind dann in der Regel dem Hauptherkunftsbereich zugeordnet, z. B. bei der Chemische Industrie dem Anhang 22. Bei einigen Firmen führte die Aufbereitung und Nutzung des Wassers zu verringerten Konzentrationen im Ablauf des Wassers.

Tabelle 3.3-6: Direkt eingeleitetes Kühlwasser 1995 (StaBu, 1998b)

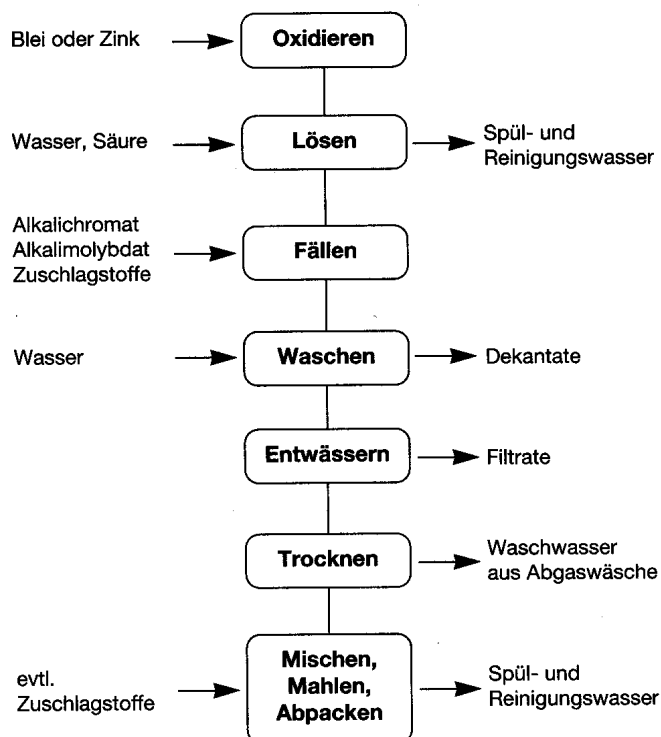
[1000 m ³]		ohne	nach
Branche		Rückkühlen	
Wärme- und Kälteanlagen		25.079.706	224.672
Bergbau und Verarbeitendes Gewerbe	4.826.446		
-Bergbau und Gewinnung v. Steinen und Erden	806.039		
-Verarbeitendes Gewerbe	4.020.353		
--Ernährungsgewerbe	143.595		
--Textil- und Bekleidungsgewerbe	140.486		
--Leder- und Holzgewerbe	269		
--Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	11.378		
--Kokerei, Mineralölverarbeitung	388.533		
--Chemische Industrie	99.744		
--Gummi- und Kunststoffwaren	2.377.246		
--Glasgewerbe, Keramik, Verarb. von Steinen und Erden	59.914		
--Metallerzeugung und -bearbeitung, Herstellung von Metallerzeugnissen	23.689		
--Maschinenbau	596.395		
--Herstellung von Büromaschinen, DV-Gerät, Elektrotechnik, usw.	21.452		
--Fahrzeugbau	49.796		
--Herstellung von Möbeln, Schmuck, Musikinstrumenten, usw.; Recycling	105.103		
	2.753		

- Die Zahl der im Vorhaben erfassten direkteinleitenden Betriebe nach Anhang 31 mit Schwermetallfrachten beträgt ca. 50 (aus den von Bayern und NRW gelieferten Daten lässt sich die exakte Zahl der dort ansässigen direkteinleitenden Betriebe nicht entnehmen).

3.3.9 Anhang 37: Herstellung anorganischer Pigmente

- Anhang 37 beinhaltet neun Herkunftsbereiche (1. Blei- und Zinkpigmente, 2. Cadmiumpigmente, 3. Lithopone, Zinksulfidpigment und gefälltes Bariumsulfat, 4. Eisenblaupigmente, 5. Silikatische Füllstoffe, 6. Eisenoxidpigmente, 7. Chromoxidpigmente, 8. Mischphasenpigmente, 9. Pigment- und Farbkörpermischungen und Fritten, 9. Titandioxidpigmente).
- Das Abwasser aus der Herstellung anorganischer Pigmente fällt im Wesentlichen bei der Herstellung von anorganischen Pigmenten durch Fällungs-, Wasch- und Nachbehandlungsschritte sowie bei Spül- und Reinigungsprozessen an. Es ist überwiegend mit anorganischen Schadstoffen belastet. Als Beispiel eines Herstellungsprozesses ist in Abbildung 3.3-3 das Schema der Produktion von Blei- und Zinkpigmenten dargestellt.

Abbildung 3.3.3: Abwasserbezogenes Schema der Herstellung von Blei- und Zinkpigmenten (BMU, LAWA, 1996b)



- Für PARCOM wurden 1997 4 Firmen gemeldet, die Titandioxid herstellen, davon drei in NRW (Leverkusen, Krefeld, Duisburg) und eine in Niedersachsen (Nordenham), mit Emissionen von insgesamt 1,6 kg/a Cd, 15 kg/a Hg, und 700 kg/a Zn (PARCOM, 1998). Die Firmen werden jedoch nicht alle nach Anhang 37 geregelt, so wird z. B. die Firma Kronos Titan, welche Titandioxid herstellt, dem Abwasserherkunftsbereich nach Anhang 48 zugeordnet. Bei den Recherchen in den Bundesländern wurden insgesamt fünf Firmen genannt, die nach Anhang 37 einleiten.

3.3.10 Anhang 38: Textilherstellung, Textilveredlung

- Im Bereich der Textilherstellung überwiegen in Deutschland kleine und mittelständische Betriebe. Die Mehrzahl dieser Betriebe sind Indirekteinleiter. Im Rahmen eines separaten Forschungsvorhabens wurde die aktuelle Verbrauchs- und Emissionssituation der deutschen Textilveredlungsindustrie erfasst, nach der es derzeit 26 direkteinleitende Betriebe gibt (Schönberger, 2000).
- Zum Stand 1996 erfolgten nur in wenigen direkteinleitenden Betrieben weitergehende Abwasserbehandlungsmaßnahmen (biologische Behandlung, Fällung/Flockung). Allerdings waren in den meisten dieser Betriebe Maßnahmen im Abwasserbereich geplant (Hillenbrand et al., 1999). Eine der Ursachen dieser Situation ist sicherlich, dass für die Genehmigung von Abwassereinleitungen bislang noch die 38. AbwVwV von 1984 gültig war, bevor der neue Anhang 38 im Mai 2000 in Kraft trat. Nach der alten Regelung wurden im Bereich der Schwermetalle Anforderungen für Cr (2 mg/l), Cu (1 mg/l) und Zn (3 mg/l) gestellt. Grundsätzlich sind die Schwermetallkonzentrationen im Textilabwasser niedrig; teilweise werden (noch) schwermetallhaltige Farbstoffe eingesetzt (Co, Cu, Cr, seltener Ni).
- Im Rahmen des o.g. Projektes von Schönberger wurde eine detaillierte Bestandsaufnahme der Abwassersituation im Textilbereich erarbeitet. Grundlage dieser Analyse waren die Ergebnisse der behördlichen Überwachungen. Insgesamt konnten Daten für 23 Direkteinleiter in die Auswertungen einbezogen werden. Da für die meisten Betriebe keine Angaben zu den Jahresfrachten vorlagen, mussten diese aus den einzelnen Überwachungsergebnissen und den verfügbaren Angaben zur Abwassermenge hochgerechnet werden. Die Daten stammten i.d.R. aus den Jahren 1997 und 1998, teilweise lagen auch nur neuere Daten vor. Die von den Ländern übermittelten Daten waren dagegen unvollständig: ein Teil der Direkteinleiter war nicht erfasst bzw. es lagen keine Schwermetalldaten für diese Betriebe vor oder es waren nur Genehmigungsdaten verfügbar. Diese Daten konnten deshalb nur ergänzend verwendet werden.

3.3.11 Anhang 39: Nichteisenmetallherstellung

- Dieser Anhang gilt für Abwasser, dessen Schmutzfracht im Wesentlichen aus der Herstellung und dem Gießen der Nichteisenmetalle Blei, Kupfer, Zink, Aluminium und der dabei anfallenden Nebenprodukte sowie aus der Halbzeugherstellung stammt.
- Das Abwasser bei der Nichteisenmetallherstellung fällt im Wesentlichen aus hydrometallurgischen Gewinnungsverfahren aus Direktkühlungen, z. B. Gießmaschinen, Schlackengranulation, Abgaskühlung und Abgaswäschen, aus Nass-Gasreinigungsanlagen und als Schmutz- und Niederschlagswasser von Betriebsflächen an. Im Anhang 39 werden Konzentrationsgrenzwerte für alle im Forschungsvorhaben betrachteten Schwermetalle aufgeführt.
- Die Zahl der erhobenen direkteinleitenden Betriebe in Deutschland nach Anhang 39 beträgt 19 nach der Länder-Auswertung. Für Bayern und NRW lässt sich keine Zuordnung nach Anzahl der Betriebe treffen. Die zuordenbaren Betriebe teilen sich wie folgt auf: Zum Teil A des Anhangs (Blei-Zink-Kupfer-Herstellung) gehören 7 Metallhütten, zum Teil B (Aluminumoxidherstellung) 1 Betrieb, zum Teil C (Aluminiumverhüttung) 4 Betriebe und zum Teil D (Gießen von Aluminium) 2 Betriebe.
- Dominiert wird die Fracht aus Unternehmen dieses Anhangs durch eine Einleitung in Sachsen-Anhalt. Bei dieser wird ein Altstandort des Kupferschieferbergbaus nach Anhang 39 entwässert.
- Aus der Statistik des Statistischen Bundesamts ergeben sich 1995 für Direkteinleiter aus dem Bereich der Nichteisenerzeugenden Industrie folgende Abwassermengen für die einzelnen Flussgebiete (behandeltes Abwasser, abgeleitet in Oberflächengewässer):

Tabelle 3.3-7: Übersicht über die Abwassermengen der Direkteinleiter 1995 in Mio. m³/a (StaBu, 1999)

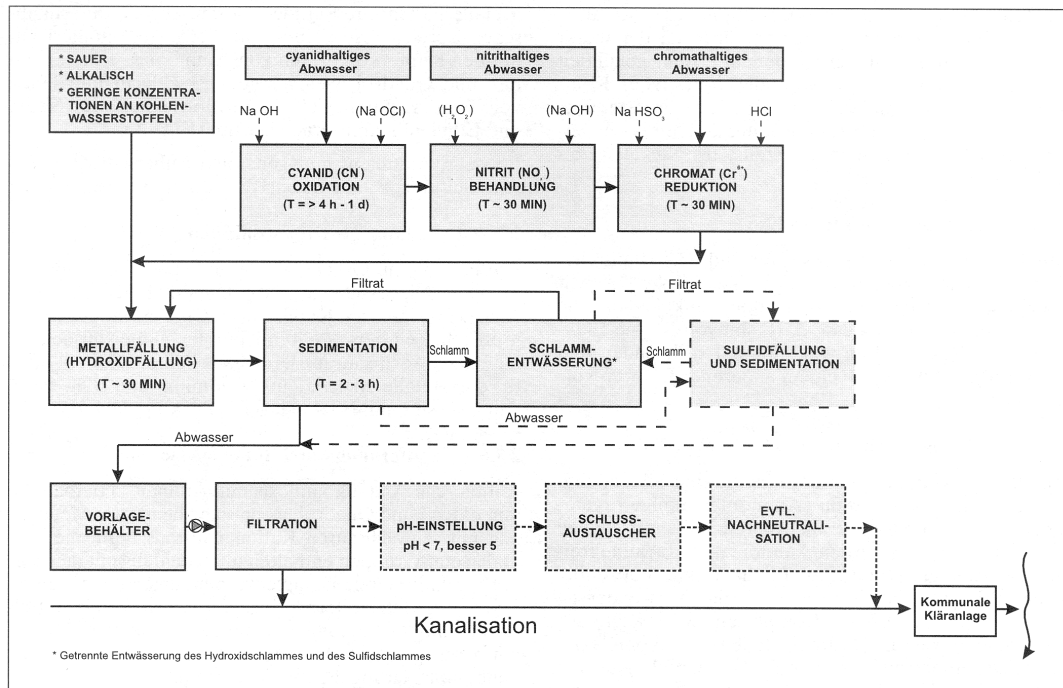
		ge-samt	Donau	Rhein	Ems	Weser	Elbe	Oder	Küste
27.4	Erzeugung u. erste Bearb. v. NE-Metallen	11,2	0,4	5,4	.	0,7	4,6	-	-
27.42	Erzeugung u. erste Bearb. v. Aluminium	2,3	.	1,6	.	0,1	0,3	-	-
27.43	Erzeugung u. erste Bearb. v. Blei, Zink u. Zinn	2,8	-	3,2	-	.	-	-	-
27.44	Erzeugung u. erste Bearb. v. Kupfer	4,9	0,1	0,5	-	.	.	-	-
27.5	Gießereiindustrie	0,8	0,7	0,0	.	0,0	0,1	-	-
27.53	Leichtmetallgießerei	0,1	-	-	-	0,0	.	-	-

3.3.12 Anhang 40: Metallbearbeitung, Metallverarbeitung

- Der für die Metallbe- und –verarbeitung relevante Anhang 40 beinhaltet die folgenden, sehr unterschiedlichen Herkunftsbereiche:
1. Galvanik, 2. Beizerei, 3. Anodisierbetrieb, 4. Brüniererei, 5. Feuerverzinkelei/Feuerverzinnerei, 6. Härterei, 7. Leiterplattenherstellung, 8. Batterieherstellung, 9. Emaillierbetrieb, 10. Mechanische Werkstätten, 11. Gleitschleiferei, 12. Lackierbetrieb. Für die Schwermetalle bestehen in der Regel Konzentrationsgrenzwerte, in wenigen Fällen (Cd, Pb bei Herkunftsbereich 1 bzw. 8) auch auf Frachten bezogene Grenzwerte. Inhalt des Anhang 40 sind außerdem weitergehende prozessintegrierte Anforderungen.
- Schwermetalle werden durch die bei der Metallbe- und –verarbeitung eingesetzten Chemikalien und Materialien eingetragen. Entsprechend den prozessintegrierten Anforderungen ist für besondere Abwasserteilströme (cyanid-, nitrit- oder chromathaltiges Abwasser) eine getrennte Vorbehandlung notwendig; Behandlungsschritte für das Gesamtabwasser sind i.d.R. Metallfällung mit Sedimentation und ggf. abschließende Behandlung in einem Ionenaustauscher (s. Abbildung 3.3-4). Besondere Probleme bereitet dabei die Fällung aus komplexbildnerhaltigem Abwasser; bei der Einhaltung der Schwermetall-Grenzwerte kann es deshalb am ehesten zu Problemen bei Cu und Ni kommen.
- Die Zahl der Betriebe in diesem Bereich ist sehr groß, da metallbe –und –verarbeitende Prozesse in einem großen Teil der verarbeitenden Industrie eingesetzt werden. Allerdings ist die überwiegende Zahl dieser Betriebe Indirekteinleiter; Direkteinleiter sind vor allem Großbetriebe aus dem Bereich Fahrzeug- und Maschinenbau. Bislang lagen allerdings noch keine näheren Angaben über die Zahl der Direkteinleiter in Deutschland vor. Nach den Angaben der Bundesländer liegt die Zahl der direkteinleitenden Betriebe, die nach Anhang 40 geregelt sind, bei über 70⁴. Da für Bayern keine getrennten Daten für die Flussgebiete verfügbar waren, wurden die Angaben entsprechend der Aufteilung der Gesamtfrachten der einzelnen Parameter den Flussgebieten Rhein und Donau zugeordnet.

⁴ Eine genaue Zahl kann nicht angegeben werden, da für zwei Bundesländer nur aggregierte Daten für die einzelnen Flussgebiete verfügbar waren.

Abbildung 3.3-4: Typische Verfahrensschritte bei der Behandlung von Abwasser aus dem Bereich Metallbe- und -verarbeitung (BMU, LAWA, 1999a)



- Entsprechend den Angaben der Bundesländer sowie den Angaben in den Umwelterklärungen liegen die Schwermetallkonzentrationen in den gereinigten Abwässern deutlich unter den Grenzwerten (s. Tabelle 3.3-8). Teilweise liegen die Konzentrationen sogar unter den Schwellenwerten nach dem Abwasserabgabengesetz.
- Auf Grund der im Verhältnis zu anderen Branchen relativ großen Zahl an Direkteinleitern und den niedrigen Konzentrationen ist ähnlich wie bei der Zellstoff- und Papierindustrie mit größeren Unsicherheiten bzgl. der Vollständigkeit und der Genauigkeit der Daten zu rechnen. Zur Plausibilitätsprüfung wurden deshalb über durchschnittliche Abwasserkonzentrationen und Abwassermengen nach der Statistik des Statistischen Bundesamtes (StaBu, 1998b) die Abwasserfrachten für diesen Bereich abgeschätzt und den Daten der Länder gegenübergestellt (s. Tabelle 3.3-8). Allerdings ist die Verwendung der in der StaBu-Statistik angegebenen Abwassermengen für diesen Bereich ungenau, da der Bereich Metallbe- und -verarbeitung eine Mischung unterschiedlicher Branchen nach dem NACE-Code beinhaltet; am ehesten ist die Summe der Bereiche 29 (Maschinenbau), 30 (Herstellung von Büromaschinen,...), 31 (Herst. von Geräten der Elektrizitätserzeugung), 32 (Rundfunk,...), 33 (Herst. von Medizintechnik,...), 34 und 35 (Fahrzeugbau) zu verwenden. Die insgesamt aus diesen Bereichen (Zahl der Betriebe: 2257, davon 967 mit Abwasserbehandlungsanlagen) direkt eingeleitete,

behandelte Abwassermenge lag 1995 bei 12,5 Mio. m³. Die damit berechneten Frachten bestätigen in etwa die anhand der Länderdaten berechneten Ergebnisse.

Tabelle 3.3-8: Mittlere Schwermetallkonzentrationen im gereinigten Abwasser von Betrieben des Bereichs Metallbe- und -verarbeitung

		Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
mittlere Konzentration nach Überwachungswerten der Bundesländer	µg/l	0,54	69	102	Werte < NG	155	42	391
mittlere Konzentration nach Umwelterklärungen/ Umweltberichten	µg/l	0,50	46	36	0,68	119	51	297
gewichtete, mittlere Konzentration	µg/l	0,54	64	87	-	145	45	357
Grenzwerte	µg/l	200 / 100	500	500	50	500	500	2000
Schwellenwerte nach AbAG	µg/l	5	50	100	1	50	50	
<i>Emissionsfracht, berechnet über mittlere Konzentration *</i>	kg/a	7	802	1091		1816	560	4469
<i>Emissionsfracht nach Daten der Bundesländer</i>	kg/a	29	761	1044	0,7	1384	696	3528

*berechnet anhand der mittleren Konzentration und einer Abwassermenge von 12,5 Mio. m³/a nach Statistischem Bundesamt: direkt eingeleitete, behandelte Abwassermenge der Bereiche 29 (Maschinenbau), 30 (Herstellung von Büromaschinen,...), 31 (Herst. von Geräten der Elektrizitätserzeugung,...), 32 (Rundfunk,...), 33 (Herst. von Medizintechnik,...), 34 und 35 (Fahrzeugbau) in 1995

3.3.13 Anhang 41: Herstellung und Verarbeitung von Glas und künstlichen Mineralfasern

- Anwendungsbereich ist Abwasser, dessen Schmutzfracht im Wesentlichen aus der Herstellung und Verarbeitung einschließlich der Bearbeitung stammt. Ausgenommen ist Abwasser aus Kühlsystemen, der Betriebswasseraufbereitung und der Galvanisierung von Glas (daher sind glasverarbeitende Betriebe teilweise unter Anhang 40 erfasst).
- Für die mechanische Bearbeitung gelten Konzentrationsgrenzwerte für Arsen, Blei, Barium und Antimon, für die chemische Oberflächenbehandlung auf den Flusssäureeinsatz bezogene Frachtwerte für Arsen und Blei, für die Spiegelherstellung produktionsspezifische Frachten (bezogen auf die Kapazität an Glasfläche) für Kupfer, Zink und Silber sowie für Hilfs- und Zusatzstoffe bei der Glasbearbeitung Konzentrationsgrenzwerte für Cadmium, Chrom, Kupfer und Nickel.

- Schwermetalle werden in dieser Branche ganz überwiegend eingetragen durch Zugabe von Blei-, Arsen-, Zink-, Antimonoxiden als wesentliche Mengenanteile bestimmter Glassorten (Bleikristallglas, Fernsehschirmglas, Röhrenglas, Hochtemperaturgläser) oder als Läuterungsmittel für die Glasschmelze. In kleinerem Umfang spielen Schwermetalle auch für die Glasfärbung eine Rolle. Zur Verspiegelung von Flachglas werden ebenfalls Schwermetalle (Kupfer, Silber, Zink) benötigt (vgl. hierzu auch IPPC, 1999a; ATV, 1995).
- Im Hinblick auf die Schwermetallbelastungen des Abwassers sind weitgehend nur die Betriebe von Bedeutung, die Bleiglas oder Spezialglas herstellen und bearbeiten. Die Herstellung dieser Gläser erfolgt in kleineren Glasöfen, häufig diskontinuierlich. Abgase dieser Öfen enthalten je nach Zusammensetzung der Schmelze und abhängig von der Schmelztemperatur Schwermetallverbindungen. Teilweise werden diese Abgase und auch Abgase aus der thermischen Beschichtung und Oberflächenvergütung von Glas mit Nasswäschern behandelt, wodurch Abwasserbelastungen entstehen. Weitere schwermetallhaltige Abwässer entstehen bei der chemischen Behandlung von Glasoberflächen (Säurepolitur von Bleikristall, chemische Verspiegelung aus der flüssigen Phase) durch die anschließende Spülung mit Wasser. Schließlich enthält das Kühlwasser aus der mechanischen Bearbeitung von Glas (Schneiden, Schleifen, Polieren) Schwermetalle, die allerdings in der Glasmatrix eingebunden sind.
- Für die Behandlung der Abwässer werden je nach Art und Umfang der Inhaltsstoffe (neben Schwermetallen auch organische Verbindungen, die als Reinigungsmittel, Kühlschmiermittel und zur Beschichtung benötigt werden) die unterschiedlichsten Behandlungsverfahren eingesetzt. Im Hinblick auf die Schwermetalle sind die Sedimentation (teils mit Flockungshilfsmitteln), die chemische Fällung und die Nachbehandlung durch Filtration von Bedeutung.
- Je nach Produktionslinie, d.h. abhängig vom Produktspektrum, können bei den großen Spezialglasherstellern die in der Abwasseranlage zu behandelnde Wassermenge und deren Schwermetallbelastung sehr unterschiedlich sein. Für die Schwermetallemissionen spielt zudem noch die Art der Behandlung eine entscheidende Rolle. Für die Bilanzierung der Branche konnten daher keine spezifischen Emissionswerte verwendet werden, sondern es wurde ausschließlich auf die Angaben der einzelnen Bundesländer zurückgegriffen.
- Für die Herstellung von Spezialglas und optischen Gläsern gibt es nur wenige größere Betriebe. Die Hersteller von Bleikristallglas sind in der Regel kleinere Betriebe, die vorwiegend im Bayerischen Wald angesiedelt sind. Insgesamt gibt es nur noch wenige direkteinleitende Betriebe.
- Aus der StaBu-Statistik für 1995 (StaBu, 1998b) ergibt sich für Direkteinleiter aus der Herstellung und Verarbeitung von Glas (NACE-Code 26.1) eine behandelte Abwassermenge von 0.8 Mio m³. Die Herstellung von Bleikristall- und Spezialglas macht mengenmäßig einen Anteil von etwa 10 % aus.

3.3.14 Anhang 42: Alkalichloridelektrolyse

- Dieser Anhang gilt für in Gewässer einzuleitendes Abwasser, dessen Schmutzfracht im Wesentlichen aus Alkalichloridelektrolysen nach dem Amalgamverfahren stammt. Quecksilber wird in der Elektrolysezelle zum Abscheiden des Natriums in Form von Amalgam genutzt.
- Quecksilber gelangt durch den Prozess und durch Waschwasser bei der Reinigung von Anlagenteilen in das Abwasser. Wichtige Quellen innerhalb des Prozesses sind die Reinigung der Salzlauge, Wässer aus der Aufbereitung des Chlors, Wässer aus der Trocknung des Wasserstoffs, Leckagen, durch welche Salzsole austritt und Ionenaustauscher-Eluate (Ullmann, 1986).
- Die produktionsspezifischen Frachtwerte für Quecksilber in g/t beziehen sich auf das Abwasser im Ablauf der Abwasserbehandlungsanlage der chlorproduzierenden Einheit und auf die dem wasserrechtlichen Bescheid zu Grunde liegende Chlorproduktion in 24 Stunden.
- Insgesamt werden in Deutschland an 15 Standorten Chloralkali-Elektrolysen nach dem Amalgamverfahren betrieben, vergleiche Tabelle 3.3-9 (IPPC, 1999b). Gemeldet wurde von den Ländern nur eine Anlage in NRW, die nach dem Anhang 42 geregelt wird. Es ist davon auszugehen, dass die anderen Standorte vor allem in den Frachten der nach Anhang 22 geregelten Betriebe mitenthalten sind.

Tabelle 3.3-9: Produktionskapazitäten zur Herstellung von Chlor nach dem Amalgamverfahren 1998 (IPPC, 1999b)

Unternehmen	Standort	Kapazität
BASF	Ludwigshafen	150.000
Bayer	Dormagen	300.000
Bayer	Leverkusen	300.000
Bayer	Uerdingen	130.000
BSL	Schkopau	200.000
Celanese	Knapsack	150.000
Clariant	Gersthofen	60.000
ECI	Bitterfeld	65.000
ECI	Ibbenbüren	120.000
Hüls	Lülsdorf	98.000
ICI	Wilhelmshafen	130.000
LII	Hoechst-Frankfurt	150.000
Vestolit	Marl	180.000
Vinnolit	Gendorf	72.000
Wacker	Burghausen	157.000
Summe		2.262.000

- Die spezifischen Frachten als Gramm Quecksilber pro Tonne Chlor-Kapazität sind von 25 g Hg/t_{Chlor} 1972 (FCI, 1992) auf 0,02 g Hg/t_{Chlor} im Jahr 1997 gesenkt worden⁵. Die nach der PARCOM Entscheidung 90/3 für Deutschland berichteten Hg-Emissionen aus dem Bereich der Chloralkalielektrolyse lagen im Jahr 1997 bei ca. 50 kg/a.

3.3.15 **Anhang 43: Herstellung von Chemiefasern, Folien und Schwammtuch nach dem Viskoseverfahren sowie Celluloseacetatfaser**

- Der Anhang beinhaltet die vier Herkunftsbereiche Viskosefilamentgarn, Kunstdarm und Schwammtuch auf Viskosebasis, Zellglas⁶ sowie Celluloseacetatfaser.
- Bei der Herstellung von Viskosefasern wird ZnSO₄ zusammen mit Schwefelsäure und Natriumsulfat im Spinnbad eingesetzt, in welchem die Faser ausfällt. Zinksulfat wird zur Mantelbildung der Fäden gebraucht. Ein Teil des Spinnbades gelangt in das Abwasser.
- Das Abwasser darf nur eingeleitet werden, wenn seine Schadstofffracht nach Prüfung der Möglichkeiten im Einzelfall durch folgende Maßnahmen gering gehalten wird:
 1. Einsatz wassersparender Verfahren bei Wasch- und Reinigungsvorgängen (z.B. Spulenwäsche, Kabelwäsche, Filtertuchwäsche) wie Gegenstromwäsche und Kreislaufführung,
 2. Kondensation von Brüden (z.B. bei der Spinnbadaufbereitung) durch Indirektkühlung oder über Kühlturmkreislauf,
 3. Einsatz abwasserfreier Verfahren zur Vakuumerzeugung,
 4. Verminderung von Spinnbadverlusten (z.B. bei der Rinnenspülung),
 5. Wiederaufbereitung und Rückführung von überschüssiger Lauge,
 6. Rückgewinnung und Wiedereinsatz von Essigsäure und Aceton bei der Herstellung von Celluloseacetatfasern,
 7. Einsatz von Zellstoff, der keinen höheren Gehalt an organisch gebundenen Halogenen, gemessen als AOX, als 150 g je Tonne Zellstoff enthält,
 8. Einsatz von Bleichbädern, die Chlor oder chlorabspaltende Mittel nicht enthalten,

⁵ Mit dem spezifischen Wert von 25 g pro Tonne Chlor und der Chlorproduktion von ca. 2 Mio. Tonnen (1972) ergibt sich eine damalige Gesamtfracht von 50 t Hg. Die im vorliegenden Vorhaben erhobene Gesamtfracht, inkl. diffuser Einträge, liegt mit ca. 7 t bei einem Siebentel der damaligen Fracht..

⁶ Aus regenerierter Cellulose, Verwendung als Zellglasfolien

9. Verwendung von Präparationen, die einen DOC-Eliminationsgrad nach sieben Tagen von 80 % entsprechend der Nummer 408 der Anlage "Analysen- und Meßverfahren" erreichen, oder Rückhaltung, Wiederverwertung, getrennte Entsorgung oder Behandlung von unverbrauchten Präparationen aus dem Auftragen auf Fasern oder Folien aus der Ansetzstation und aus den Zuleitungen.
- Es bestehen für Zn im Bereich Viskosefilamentgarn mit 1 mg/l und Cu für den Herkunftsbereich Celluloseacetatfasern mit 7 g/t Anforderungen an das Abwasser vor Vermischung.
 - Für Abwasser aus der Spulenwäsche, Kabelwäsche, Spinnerei sowie Spinnbad-aufbereitung gilt für die Herstellung von Viskosefilamentgarn eine produktionsspezifische Fracht für Zink von 8 kg/t in der qualifizierten Stichprobe oder der zwei Stunden-Mischprobe. Für vorhandene Einleitungen von Abwasser gilt für das Herstellungsverfahren mit integrierter Fadenwäsche in der Spinnmaschine ein produktionsspezifischer Frachtwert von 12 kg/t Zink.
 - Die Zahl der direkteinleitenden Betriebe des Anhangs 43 beträgt nach der Länder-Auswertungen 8. Der einzige Hersteller von Celluloseacetat-Fasern ist Indirekteinleiter bzgl. seines schwermetallhaltigen Abwasserteilstroms. Für die Zinkeinträge wird die Bedeutung der Branche ersichtlich, wenn man bedenkt, dass drei Firmen des Anhang 43 zu den größten zehn Einleitern in Deutschland gehören.
 - Aus der StaBu-Abwasserstatistik ergeben sich für 1995 für Direkteinleiter aus dem Bereich Herstellung von Chemiefasern nach NACE-Code 24.7 die in der Tabelle 3.3-10 dargestellten Abwassermengen (behandeltes Abwasser; StaBu 1999). Unterstellt man, dass das gesamte Abwasser aus der Herstellung von Viskosefilamentgarn käme und eine Zinkkonzentration < 1 mg/l einzuhalten wäre, wäre die Fracht 24,6 t/a. Dieser Wert stimmt mit dem erhobenen Wert von 33,3 t/a für 1997 relativ gut überein.

Tabelle 3.3-10: Abwassermengen bei der Chemiefaserproduktion 1995 in Mio. m³/a (StaBu, 1999)

		Ge-samt	Donau	Rhein	Ems	Weser	Elbe	Oder	Küste
24.7	H. v. Chemiefasern	24,9	.	14,9	-	-	10,0	-	-

3.3.16 44. AbwasserVwV: Herstellung von mineralischen Düngemitteln außer Kali

- Die Regelung gilt für die Herstellung von Stickstoff- und Phosphatdüngemitteln. Ammoniak ist die Basis für die Herstellung von Stickstoffdüngemitteln, während

Phosphorsäure die Grundlage von Phosphatdüngemitteln ist. Hierzu wird Rohphosphat gemahlen und mit Schwefel- oder Phosphorsäure aufgeschlossen. Die wichtigsten Stickstoffeinzeldüngemittel sind die ammoniumnitrathaltigen Düngemittel, wie Kalkammonsalpeter, sowie Harnstoff (ATV, 1986). Sämtliche Düngemittel werden als Granulat hergestellt.

- Wie bei allen anorganischen industriellen Prozessen hängt der Schwermetallgehalt des Abwassers überwiegend vom Schwermetallgehalt der Rohstoffe ab. Bei der Herstellung von Ammoniak als Vorprodukt der stickstoffhaltigen Düngemittel ist das Ausgangsmaterial für das Synthesegas entscheidend: zum Teil werden preisgünstige Destillationsrückstände aus Raffinerien zur Vergasung verwendet, in denen sich Nickel und Vanadium aufkonzentriert haben. Ein Teil dieser Metalle ist an Partikel gebunden und kann bei der Gasreinigung ins Abwasser gelangen. Die Düngemittelproduzenten stehen bei der Verwertung der Rückstände im Wettbewerb mit der Schifffahrt, welche die mit leichter siedenden Fraktionen versetzten Rückstände als Bunkeröl nutzt ⁷.
- Das Abwasser aus der Herstellung von Phosphorsäure und Phosphat-Düngern fällt bei dem Aufschluss des Rohphosphates an. Die in der AbwasserVwV gestellten Mindestanforderungen betreffen Frachtwerte für Cadmium als Begleitmetall im Rohphosphat, die sich auf den Gehalt im Phosphat, berechnet als P_2O_5 , beziehen.
- Wegen der geringen Cadmiumemissionen, $< 0,5 \text{ mg/l}$ im Abwasser, ist eine direkte Cadmiumfällung schwierig. Cadmium wird dennoch bei der Phosphat- und Fluoridfällung in geringem Maße mitgefällt (ATV, 1986). Die im Abwasser enthaltenen Feststoffe, hauptsächlich Calciumphosphat und Calciumfluorid, setzen sich als Schlamm im Absetzbecken ab. Dieser Schlamm ist wegen seines Phosphorgehaltes düngewirksam und kann ggf. auf landwirtschaftlich genutzte Flächen aufgebracht werden, wenn die Grenzwerte der Klärschlammverordnung eingehalten werden.
- Da die Düngemittelproduzenten häufig nach anderen Anhängen wie z. B. dem Anhang 22 (Chemische Industrie) geregelt sind, beträgt die Zahl der direkteinleitenden Betriebe nach der 44. AbwasserVwV aus den Länder-Auswertungen nur zwei.

⁷ Unterstellt man, dass die Nickel-Konzentration im Bunkeröl 24 ppm beträgt (Grenzwert für die Nutzung für energetische Zwecke an Land), ergibt sich für 1,5 Mio Tonnen Öl, die 1997 zur Bunkerung von Schiffen eingesetzt wurden (MWV, 2000), überschlägig eine Menge von 36 t Nickel. Das ist etwa das 1,5-fache der gesamten industriellen Einträge.

3.3.17 Anhang 47: Wäsche von Rauchgasen aus Feuerungsanlagen

- Der Anhang regelt die Abwässer aus Rauchgaswäschen. Braunkohle- und Steinkohlekraftwerke sowie Hausmüllverbrennungsanlagen sind einzeln im Anhang 47 geregelt. Allgemein werden Konzentrationsgrenzwerte für Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb und Zn angegeben. Für die Steinkohlekraftwerke ist eine Fracht in mg pro kg Chloridgehalt der verfeuerten Kohle einzuhalten. In Braunkohlekraftwerken wird eine einzuhaltende Fracht in Gramm je Stunde und je 300 Megawatt installierte elektrische Leistung gefordert. Abwasser aus der Rauchgasreinigung von Hausmüllverbrennungsanlagen darf nicht eingeleitet werden, in Ausnahmefällen, wenn beim Betrieb der Rauchgaswaschanlage entstehende Reststoffe nicht ordnungsgemäß und schadlos entsorgt werden können, sind Frachten in mg je Tonne Abfall einzuhalten.
- Im Bereich der Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle (60 in Deutschland) haben nur noch zwei, die MHKWs Bremerhaven und Bamberg (Achternbosch et al., 1997; VGB, 1999; Betreiber, 1999; Bart et al., 1999) nasse Rauchgaswäschen. Die Betreiber unterhalten zusätzlich jeweils in Nachbarschaft eine kommunale Kläranlage, in welche die Abwässer der Rauchgasreinigung eingeleitet werden; sie sind also Indirekteinleiter. Diese Konstellation wird auch von den 15 Klärschlammverbrennungsanlagen in Deutschland genutzt (Bart et al., 1998). Auch die öffentlichen Sonderabfallverbrennungsanlagen haben in der Regel kein Abwasser aus der Rauchgasreinigung.
- Bei Kraftwerken (ca. 69 in Deutschland) wird Wasser in der Rauchgasreinigung mehrmals im Kreislauf gefahren, ehe es ausreichend eingedickt ist (Chloridkonzentrationen um $> 30 \text{ g/l}$) und aufbereitet werden muss, wobei die Konzentrationen und Frachten des Anhangs 47 in der Regel sicher eingehalten werden (Hildebrand, 1991; VGB, 1999). Ein Betreiber berichtete von Schwierigkeiten bei der Quecksilberemission, wenn bestimmte Kohlesorten eingesetzt werden und dieser Umstand bei der Steuerung der Anlage nicht bedacht wird. 10 % der Gesamtemission an Cadmium dieses Anhangs wurden 1997 durch einen Störfall verursacht.
- Insgesamt konnten die Daten von 28 Standorten nach Anhang 47 in das Forschungsvorhaben aufgenommen werden.

3.3.18 Anhang 48: Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe

- Dieser Anhang dient der Umsetzung der EU Richtlinien 76/464/EWG⁸, 83/513/EWG⁹, 84/156/EWG¹⁰, 84/491/EWG¹¹, 86/280/EWG¹², 87/217/EWG¹³,

⁸ Richtlinie 76/464/EWG des Rates betreffend die Verschmutzung infolge der Ableitung bestimmter gefährlicher Stoffe in die Gewässer der Gemeinschaft

88/347/EWG¹⁴ 90/415/EWG¹⁵ und 92/112/EWG¹⁶ sowie der Verpflichtung der Vertragsstaaten auf Grund der Ergänzung des Anhangs IV vom 10. Juli 1990 des Übereinkommens zum Schutze des Rheins gegen Verunreinigungen.

- Anhang 48 gilt für Abwasser, dessen Schmutzfracht im Wesentlichen aus der Verwendung von gefährlichen Stoffen stammt. Als Verwendung gilt jedes industrielle Verfahren, bei dem die Stoffe Quecksilber (aus anderen Anlagen als der Alkalichloridelektrolyse), Cadmium, Hexachlorcyclohexan, DDT, Pentachlorphenol, Endosulfan, Aldrin, Dieldrin, Endrin, Isodrin, Asbest, Tetrachlormethan, Hexachlorbenzol, Hexachlorbutadien, Trichlormethan, Trichlorethen, Tetrachlorethen, Dichlorethan, Trichlorbenzol und Titandioxid hergestellt oder benutzt werden, oder jedes andere industrielle Verfahren, bei dem diese Stoffe auftreten.
- Für Quecksilber und Cadmium werden im Teil 3 und 4 des Anhangs einzelne Anforderungen festgelegt. Für Hg gilt grundsätzlich eine Anforderung von 0,05 mg/l; aber bei Verwendung quecksilberhaltiger Katalysatoren gilt für die Vinylchloridproduktion eine Anforderung von 0,1 g/t Produktionskapazität Vinylchlorid, für andere Produktionszweige von 5 g/kg verwendetem Quecksilber. Bei Herstellung von quecksilberhaltigen Katalysatoren zur Verwendung für die Vinylchloridproduktion gilt eine Anforderung von 0,7 g/kg verwendeten Quecksilber, bei der Herstellung von anderen Quecksilberverbindungen eine Anforderung von 0,05 g/kg. Für Cadmium gilt eine Anforderung von 0,2 mg/l, jedoch nicht für die Herstellung von Phosphorsäure und Düngemittel. Zusätzlich gelten folgende Anforderungen: 0,5 kg/t für die Herstellung von Cadmiumverbindungen,

-
- ⁹ Richtlinie 83/513/EWG des Rates vom 26. September 1983 betreffend Grenzwerte und Qualitätsziele für Cadmiumableitungen
- ¹⁰ Richtlinie 84/156/EWG des Rates betreffend Grenzwerte und Qualitätsziele für Quecksilberableitungen mit Ausnahme des Industriezweigs Alkalichloridelektrolyse
- ¹¹ Richtlinie 84/491/EWG vom 9. Oktober 1984 betreffend Grenzwerte und qualitätsziele für Ableitungen von HCH
- ¹² Richtlinie 86/280/EWG des Rates betreffend Grenzwerte und Qualitätsziele für die Ableitung bestimmter gefährlicher Stoffe im Sinne der Liste I im Anhang der Richtlinie 76/464/EWG (Tetrachlorkohlenstoff, DDT, Pentachlorphenol)
- ¹³ Richtlinie 87/217/EWG vom 19. März 1987 zur Verhütung und Verringerung der Umweltverschmutzung durch Asbest
- ¹⁴ Richtlinie 88/347/EWG vom 16. Juni 1988 betreffend Grenzwerte und Qualitätsziele für Ableitungen von Hexachlorbenzol, Hexachlorbutadien, Trichlormethan und Aldrin, Dieldrin, Endrin, Isodrin
- ¹⁵ Richtlinie 90/415/EWG vom 27. Juli 1990 betreffend 1,2-Dichlorethan, Trichlorethen, Tetrachlorethen und Trichlorbenzol
- ¹⁶ Richtlinie 92/112/EWG des Rates über die Modalitäten zur Vereinheitlichung der Programme zur Verringerung und späteren Unterbindung der Verschmutzung durch Abfälle der Titandioxid-Industrie

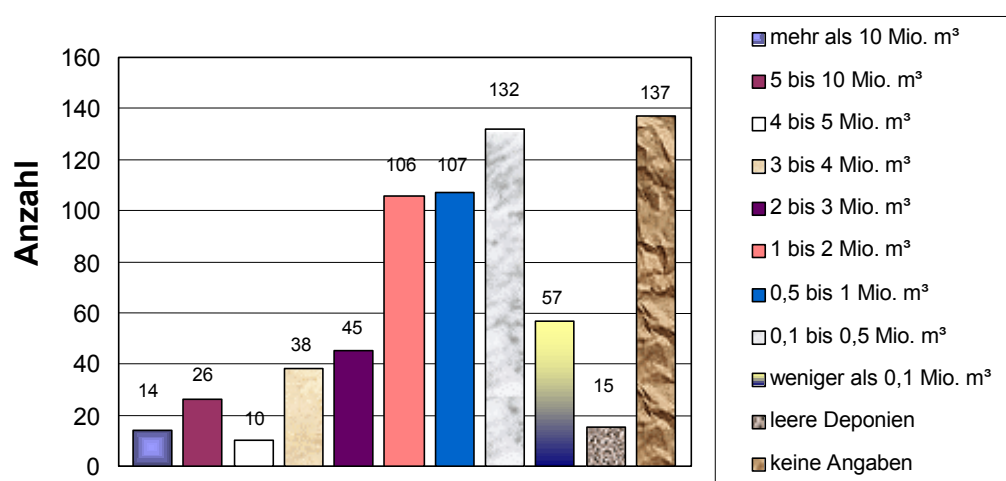
0,15 kg/t für die Pigmentherstellung und 0,5 kg/t für die Herstellung von Stabilisatoren.

- Es wurden von den Bundesländern vier Chemieunternehmen genannt, die nach dem Abwasserherkunftsbereich Anhang 48 geregelt sind. Bei einzelnen dieser Unternehmen sind Einleitungen nach bis zu drei weiteren Anhängen geregelt.

3.3.19 Anhang 51: Oberirdische Ablagerung von Abfällen

- Für die Schwermetalle Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn und As sind Konzentrationsgrenzwerte im Anhang genannt, wobei die Parameter nur dann in den wasserrechtlichen Bescheid aufgenommen werden müssen, wenn sie im Abwasser zu erwarten sind.
- Die Gesamtzahl der Deponien in Deutschland liegt bei ca. 640 (in Betrieb befindliche und stillgelegte; Ökobase, 1998). Die Menge der abgelagerten Abfälle ist sehr unterschiedlich (vergleiche Abbildung 3.3-5). Die Zahl der direkteinleitenden Deponien nach Anhang 51 ist nicht bekannt. Eine orientierende Kurzumfrage bei 60 Betreibern großer Deponien ergab 14 Antworten, davon 5 Direkteinleiter, 1 Betreiber mit Beseitigung des Abwassers über chemisch-physikalische Behandlung und 8 Indirekteinleiter. Insgesamt wurden 23 direkteinleitende Standorte nach Anhang 51 ausgewertet, wovon 20¹⁷ von den Bundesländern genannt wurden.

Abbildung 3.3-5: Größenklassen der Deponien in Deutschland 1997



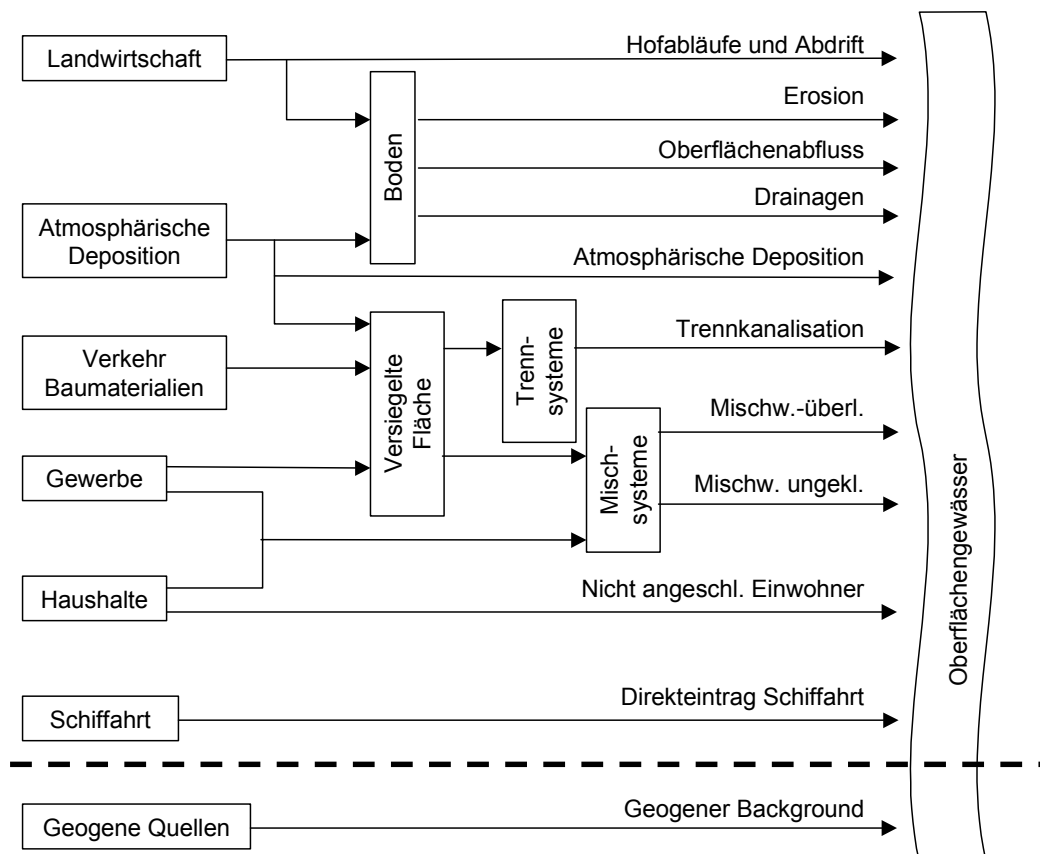
¹⁷ Es wurden von den Bundesländern aber nur für 15 Deponien Frachten mitgeteilt.

4 Beschreibung des Vorgehens und der Datensituation bei den diffusen Emissionen

Die Bilanzierung der diffusen Einträge erfolgte für die Mehrzahl der Pfade durch Anpassung des Modells MONERIS (MODelling Nutrient Emissions in River Systems, Behrendt et al., 1999) in Zusammenarbeit mit dem Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB).

Die Einträge aus Hofabläufen, Abdrift und Abschwemmung von Düngemitteln sowie die Direkteinträge durch die Schifffahrt wurden nach dem Verfahrensvorschlag der IKSR (IKSR, 1999) berechnet. Abbildung 4-1 zeigt in schematisierter Form die in diesem Vorhaben berücksichtigten diffusen Eintragspfade und deren Verknüpfung.

Abbildung 4-1: Diffuse Quellen und Eintragspfade für Schwermetalle (nach IKSR, 1999)



4.1 Hofabläufe und Abdrift

Mit diesem Eintragspfad werden alle Schwermetalleinträge erfasst, die infolge der in landwirtschaftlichen Betrieben verwendeten Düngemittel direkt von Hofflächen in die Oberflächengewässer gelangen. Die Berechnung der Schwermetalleinträge aus diesem Eintragspfad wurde entsprechend der Vorgehensweise der IKS_R (1999) vorgenommen:

$$E_{HA} = a \cdot b \cdot c$$

E_{HA} = Einträge von Hofabläufen und Abdrift [kg/a]

a = Düngemittelaufwand [kg/a]

b = Anteil der aufgewendeten Düngemittel, der direkt in die Oberflächengewässer gelangt

c = Schadstoffgehalt im Düngemittel (separat nach Hof- und Mineraldünger) [mg/kgTS]

Die Düngemittel werden in Wirtschaftsdünger (organische Dünger) und Mineraldünger unterschieden. Der prozentuale Anteil der aufgewendeten Düngemittel, der durch Hofabläufe und Abdrift in die Gewässer gelangt, wird von der IKS_R für Wirtschaftsdünger mit 0,2 % und für Mineraldünger mit 0,01 % angegeben.

Das Statistische Bundesamt (1996a) gibt den Viehbesatz (Rinder, Schweine, Geflügel) für jedes Bundesland an. Anhand des Wirtschaftsdüngeraufkommens für die gesamte BRD nach Eurich-Menden (1997) konnte der Wirtschaftsdüngeranfall je Vieh berechnet werden.

Die Mineraldünger werden in Stickstoff-, Phosphat-, Kali- und Kalkdünger eingeteilt. Die angewandte Mineraldüngermenge wurde über den Inlandabsatz ermittelt (Statistisches Bundesamt, 1998c).

Die Umrechnung der auf Ebene der Bundesländer angegebenen Informationen auf die Flussgebiete erfolgte anhand der prozentualen Flächenanteile der Bundesländer an einem Einzugsgebiet. Die Schadstoffgehalte in den Düngemitteln sind Tabelle 4.1-1 zu entnehmen.

Tabelle 4.1-1: Schwermetallgehalte in Düngemitteln in mg/kg Trockensubstanz (IKSR, 1999)

Düngerart	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
[mg/kgTS]	Wirtschaftsdünger						
Rinder	0,3	7	40	0,2	9	12	170
Schweine	0,6	11	370	0,4	17	13	880
Geflügel	0,3	11	70	0,1	14	9	380
[mg/kgTS]	Mineraldünger						
P-Dünger	14	710	27	0,03	21	9	180
N-Dünger	0,2	4	8	0,01	5	6	50
K-Dünger	0,2	4	5	0,02	5	6	25
Ca-Dünger	0,2	2	6	0,01	3	13	98

4.2 Oberflächenabfluss von unbefestigten Flächen

Mit diesem Eintragspfad wird der Anteil der **gelösten Schwermetalle** erfasst, der durch Abschwemmung mit dem Oberflächenabfluss von Wald-, Grün- und Ackerflächen bei Starkregenereignissen in die Gewässer gelangt.

Der Anteil des Oberflächenabflusses am Gesamtabfluss wurde von Behrendt et al. (1999) im Rahmen der Bilanzierung der Nährstoffeinträge für die großen Flussgebiete ermittelt und als Eingangsgröße für die Frachtermittlung übernommen. Die Berechnungsmethode basiert auf einem vereinfachten Ansatz nach Liebscher/Keller (1979), wobei der Oberflächenabfluss und der gesamte mittlere Jahresabfluss über den mittleren Jahresniederschlag, den mittleren Niederschlag im Sommerhalbjahr und den mittleren Niederschlag im Winterhalbjahr abgeleitet werden.

Für die Schwermetallkonzentration im Oberflächenabfluss von Wald-, Grün- und Ackerflächen liegen in der Literatur keine Messwerte vor. Deshalb wurde für die Frachtberechnung auf Schwermetallkonzentrationen im Niederschlag (UBA, 1997) zurückgegriffen. Inwieweit der Niederschlagsabfluss zu einer Lösung von Metallen aus dem Oberboden führt ist u.a. abhängig von den Bodeneigenschaften (Schwermetallkonzentration im Oberboden, pH-Wert) und konnte im Rahmen dieses Vorhabens nicht berücksichtigt werden. Generell kann für Schwermetalle auf Grund ihrer physiko-chemischen Eigenschaften ein Transport in der gelösten Phase jedoch als unbedeutend angesehen werden (Hahn et al., 1992; Wilcke/Döhler, 1995).

Für die Metalle Cadmium, Kupfer, Blei und Zink liegen aktuelle Jahresfrachten für die nasse Deposition aus dem UBA-Messnetz (UBA, 1997) vor. Aus den angegebe-

nen Frachten wurden mittlere Konzentrationswerte für Deutschland errechnet, wobei ein mittlerer Jahresniederschlag von 800 mm zu Grunde gelegt wurde. Die nicht im UBA-Messnetz erfassten Metalle wurden durch Literaturangaben ergänzt (vgl. Tabelle 4.2-1).

Für Acker- und landwirtschaftlich genutzte Grünflächen muss für den Eintragspfad Oberflächenabfluss zusätzlich zur Fracht aus dem abfließenden Niederschlag der Anteil der Schwermetalle berücksichtigt werden, der durch Abschwemmung von Mineral- und Wirtschaftsdünger in die Oberflächengewässer gelangt. Die Berechnung der zusätzlichen Fracht durch Abschwemmung von Düngemitteln (E_{AD}) erfolgte nach dem Verfahren der IKS (1999) mit der schon in Kapitel 4.1 dargelegten Gleichung. Das Düngemittelaufkommen sowie der Schwermetallgehalt in Düngemitteln wurden ebenfalls aus Kapitel 4.1 übernommen. Der in die Oberflächengewässer gelangende Anteil an Mineral- und Wirtschaftsdünger infolge der Abschwemmung von Düngemitteln beträgt nach Angaben der IKS (1999) 0,3 % für Wirtschafts- und Mineraldünger.

Der Gesamteintrag von Schwermetallen mit dem Oberflächenabfluss ergibt sich somit aus nachfolgender Gleichung:

$$E_{OA} = \frac{Q_{OA} \cdot C_{OA}}{1.000.000} + E_{AD}$$

E_{OA} = Schwermetalleinträge durch Oberflächenabfluss von unbefestigten Flächen [kg/a]

Q_{OA} = Oberflächenabfluss von unbefestigten Flächen [m^3/a]

C_{OA} = Schwermetallkonzentration im Oberflächenabfluss [$\mu g/l$]

E_{AD} = Schwermetallfracht durch Abschwemmung von Wirtschafts- und Mineraldünger im Oberflächenabfluss von Acker- und Grünlandflächen [kg/a] (Berechnung entsprechend Kapitel 4.1)

Tabelle 4.2-1: Schwermetallkonzentrationen im Niederschlag [$\mu g/l$]

Werte in $\mu g/l$	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Verwendete Konzentration	0,14	0,4	2,0	0,002	0,59	1,5	11,8
Mittelwert aus UBA-Messnetz (UBA, 1997)	0,14	-	2,0	-	-	1,5	11,8
Westerland (Oslo and Paris Commissions, 1994)	0,06	0,05	1,6	0,002	0,59	1,3	12
Norddeutsche Waldstandorte (Schultz, 1987)	0,25	0,4	2,7	-	0,86	13	26
Ländliches Einzugsgebiet (Hahn et al., 1992)	0,21	-	6,9	-	-	5,3	-

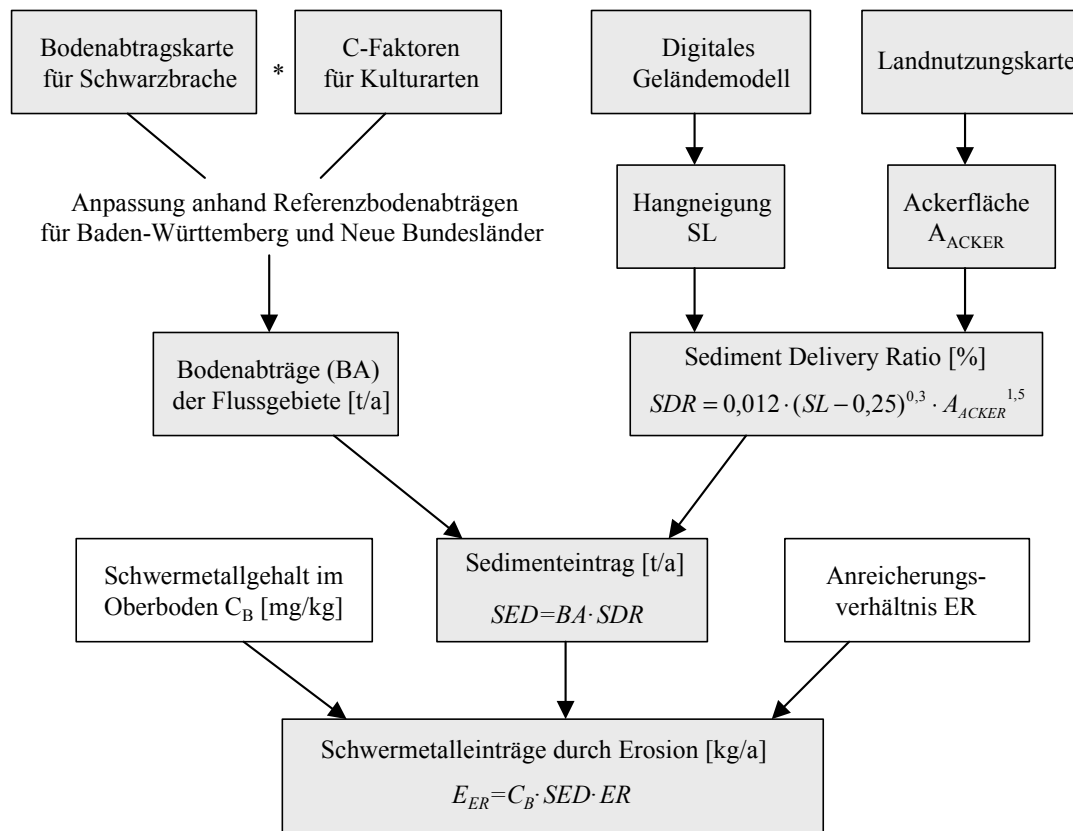
4.3 Erosion

Die Schwermetalleinträge durch Erosion werden maßgeblich durch den Sedimenteintrag in die Oberflächengewässer bestimmt. Behrendt et al. (1999) entwickelten für MONERIS ein für alle Flussgebiete Deutschlands anwendbares Modell zur Quantifizierung des Sedimenteintrages. Das Verfahren ist vereinfacht in Abbildung 4.3-1 dargestellt.

Als Grundlage für die Bodenabträge diente eine Rasterkarte der Schwarzbrancheabträge nach der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (Schwertmann et al., 1987). Mit Hilfe der C-Faktoren für die Kulturarten wurden die Bodenabträge für Deutschland berechnet und anhand vorhandener Bodenabtragswerte für die Neuen Bundesländer (Deumlich/Frielinghaus, 1994) und Baden-Württemberg (Gündra et al., 1995) angepasst.

Für die Bestimmung des Sedimenteintragsverhältnis (Sediment Delivery Ratio) wurden mit einer GIS-gestützten Methode in einem ersten Schritt detailliert für einige Teileinzugsgebiete diejenigen Flächen ausgewiesen, für die überhaupt ein Übertritt des erodierten Sediments in die angrenzenden Gewässer angenommen werden kann. Die Übertragung auf die anderen Flussgebiete erfolgte anhand der Gebietsparameter Hangneigung und Ackerfläche. In einem zweiten Schritt wurde dann das Sedimenteintragsverhältnis durch Vergleich des potenziellen Sedimenteintrags (Bodenabtrag der zuvor ausgewiesenen Flächen) mit Schwebstofffrachten für Messstationen in Bayern und Baden-Württemberg ermittelt und durch Eichung der Koeffizienten auf die restlichen Flussgebiete übertragen.

Abbildung 4.3-1: Vorgehensweise bei der Bestimmung der Schwermetalleinträge durch Erosion (nach Behrendt et al., 1999)



Die Berechnung der Schwermetalleinträge durch Erosion erfolgt anschließend durch Multiplikation der Sedimenteinträge mit dem Schwermetallgehalt im Oberboden und einem transportbedingten Anreicherungsfaktor:

$$E_{ER} = C_B \cdot SED \cdot ER \cdot 1.000$$

E_{ER} = Schwermetalleinträge durch Erosion [kg/a]

C_B = Schwermetallgehalt im Oberboden [mg/kg]

SED = Sedimenteintrag [t/a]

Die Schwermetallgehalte im Oberboden wurden von der Länderarbeitsgemeinschaft Boden (LABO, 1998) als Hintergrundwerte für die Nutzungen Acker, Grünland und Wald für die Bundesländer zusammengestellt (vgl. Tabelle 4.3-1). Der Hintergrundwert beschreibt den chemischen Gehalt eines Bodens, der sich aus dem geogenen Grundgehalt und der ubiquitären Stoffverteilung als Folge diffuser Einträge in den Boden zusammensetzt. Dies bedeutet also eine Überprägung des geogenen Grundgehaltes durch Stoffeinträge aller Art, wie zum Beispiel anthropogene Kontaminationen (LABO, 1998). Anhand der mittleren Hintergrundwerte für Schwermetalle im Ackeroboberboden der Bundesländer wurden anschließend für die Fluss-

gebiete mittlere Gehalte entsprechend der Flächenanteile der Bundesländer an einem Flussgebiet berechnet.

Tabelle 4.3-1: Schwermetallgehalte im Ackeroboberboden [mg/kg] (LABO, 1998)

Bundesland	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Baden-Württemberg	0,2	36	19	0,1	27	27	60
Bayern	0,23	48,75	16,7	0,08	25,7	34,7	73,25
Saarland	0,29	25,59	13,7	0,06	20,5	28,8	76,6
Rheinland-Pfalz	0,29	30,5	16,5	0,125	24	24	62,5
Hessen	0,24	33,7	15,2	0,07	25,1	25,2	62,3
Sachsen	0,418	37	95,5	0,1	13,8	52,5	71
Nordrhein-Westfalen	0,42	25	12	-	12	30	67
Niedersachsen	0,25	22,26	12,8	0,078	13,9	26,2	59,5
Bremen	0,1	13	8	0,05	3	50	31
Sachsen-Anhalt	0,15	22,25	12,5	0,086	17,3	26,8	56,5
Brandenburg	0,1	4	4,5	<0,05	2	11,5	15,5
Hamburg	Gleiche Schwermetallgehalte wie Schleswig-Holstein						
Berlin	0,15	2,2	10	-	0,8	22	16
Schleswig-Holstein	0,12	12,19	8,24	0,038	8,88	13,5	34,25
Thüringen	0,23	45,2	21,9	0,085	29,4	31,8	76,2
Mecklenburg-Vorpomm.	0,133	22,7	13,33	-	12,7	16,7	45,33

Auf Grund des bevorzugten Transportes von feinen Bodenpartikeln kommt es während des Erosionsprozesses zu einer Anreicherung von Schwermetallen im abgetragenen Sediment, da diese überwiegend an die Tonfraktion gebunden sind (Scheffer/Schachtschabel, 1992). Die Schwermetallanreicherung im Erosionsgut wird durch das Anreicherungsverhältnis ER im Vergleich zum Ausgangsgehalt im Ackeroboberboden beschrieben:

$$ER = \frac{C_{SED}}{C_B}$$

C_{SED} = Schwermetallgehalt in erodierten Sedimenten [mg/kg]

C_B = Schwermetallgehalt im Ackeroboberboden [mg/kg]

Der Anreicherungsprozess wirkt umso selektiver, je geringer der Bodenabtrag ist (Auerswald, 1989). Vink (2000) ermittelte Anreicherungs-faktoren für die Metalle Cadmium, Blei, Kupfer, Quecksilber und Zink anhand des Verhältnisses von Schwermetallgehalten in Schwebstoffen zum Schwermetallgehalt im Oberboden für kleine Einzugsgebiete der Donau, des Rheins und in Mecklenburg-Vorpommern, für die angenommen werden kann, dass der Eintrag aus punktuellen Quellen sowie

von autochthonem Material vernachlässigbar ist. Die Variation der Anreicherungsfaktoren in den verschiedenen Einzugsgebieten lässt sich am besten als Funktion der spezifischen Schwebstofffracht beschreiben. Aus den von Vink (2000) ermittelten nichtlinearen Regressionen zur Berechnung der Anreicherungsfaktoren wurden die Anreicherungsfaktoren für alle Flussgebiete berechnet.

$$\begin{aligned}\text{Cadmium:} & \quad ER = 12,01 \cdot I_{AFS}^{-0,47} \\ \text{Kupfer:} & \quad ER = 11,7 \cdot I_{AFS}^{-0,47} \\ \text{Quecksilber:} & \quad ER = 17,22 \cdot I_{AFS}^{-0,47} \\ \text{Blei:} & \quad ER = 8,25 \cdot I_{AFS}^{-0,47} \\ \text{Zink:} & \quad ER = 16,3 \cdot I_{AFS}^{-0,47}\end{aligned}$$

ER = Anreicherungsverhältnis [-]

I_{AFS} = spezifische Schwebstofffracht [t/km²·a]

Die resultierenden mittleren Anreicherungsfaktoren sowie Vergleichswerte aus der Literatur sind Tabelle 4.3-2 zu entnehmen. Für die Metalle Chrom und Nickel wurde das Anreicherungsverhältnis anhand der Schwermetallgehalte in Schwebstoffen von baden-württembergischen Fließgewässern (LfU, 1998) im Vergleich zum mittleren Schwermetallgehalt im Ackeroberboden von Baden-Württemberg (LABO, 1998) berechnet (vgl. Tabelle 4.3-2).

Tabelle 4.3-2: Anreicherungsfaktoren für Schwermetalle

	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Verwendete ER	3,9	1,8	3,6	1,6	1,7	2,6	5,2
ER berechnet nach Vink (2000)	3,9	-	3,6	1,6	-	2,6	5,2
ER für Baden-Württemberg	3,3	1,8	3,1	3,4	1,7	1,6	3,5
ER für Rhein (Haider, 1996)	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
Novotny (1995) ^{a)}	1,0	1,9	1,8	-	2,6	2,0	4,0
Salomons/Förstner (1984) ^{b)}	5,3	2,2	2,1	8,7	1,3	4,1	3,5

^{a)}kleines Einzugsgebiet in Wisconsin

^{b)}Zusammenstellung des mittleren Anreicherungsverhältnis für Schwermetalle aus verschiedenen Literaturangaben

4.4 Dränagen

Für die Quantifizierung des Eintrages mit dem Dränagewasser werden die Größe der dränierten Fläche, die Dränspende und die Schwermetallkonzentration im Dränagewasser benötigt:

$$E_{DR} = \frac{Q_{DR} \cdot A_{DR} \cdot C_{DR}}{1.000.000}$$

D_{ER} = Schwermetalleinträge aus Dränagen [kg/a]

Q_{DR} = Dränspende [$m^3/m^2 \cdot a$]

A_{DR} = Größe der dränierten Fläche [m^2]

C_{DR} = Schwermetallkonzentration im Dränagewasser [$\mu g/l$]

Die Dränspende sowie die Größe der dränierten Fläche wurden dem Modell MONERIS entnommen. Die dränierte Fläche wurde für die Neuen Bundesländer anhand von Unterlagen der ehemaligen Meliorationsbetriebe der DDR abgeleitet. Eine flächendeckende Übertragung der Angaben erfolgte anhand von Bodenstandorttypen. Für die Alten Bundesländer wurden von Bach et al. (1998) Umfragen bei Landwirtschaftsverwaltungen bezüglich des Dränflächenanteils durchgeführt. Die Dränspende wurde in Anlehnung an Kretschmar (1977) berechnet und setzt sich aus 50 % der Winter- und 10 % der Sommerniederschläge zusammen.

Für die Schwermetallkonzentration im Dränagewasser liegen kaum Messwerte vor. Alternativ können Konzentrationen im Sickerwasser unter der Wurzelzone als Abschätzungshilfe herangezogen werden. Untersuchungen zur Schwermetallauswaschung wurden überwiegend für Waldökosysteme durchgeführt (Schultz, 1987; Heinrichs/Mayer, 1982). Waldböden weisen jedoch auf Grund der niedrigeren pH-Werte und dem höheren Anteil an komplexierungsfähigen gelösten organischen Substanzen höhere Konzentrationen im Bodensickerwasser auf (vgl. Tabelle 4.4-1).

Tabelle 4.4-1: Schwermetallkonzentrationen im Dränage- bzw. Sickerwasser [$\mu g/l$]

Werte in $\mu g/L$	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Verwendete Konzentration	0,4	1,2	7,1	0,05	1,8	2,0	80
Mittlere Konzentrationen im Sickerwasser (Wilcke/Döhler, 1995)	0,4	1,2	7,1	-	1,8	2,0	80
Konzentration in Dränagen (IKSR, 1999)	2	3	15	0,05	10	15	200
Konzentrationen in Dränagen (Hahn et al., 1992)	< 0,02	-	< 3	-	-	< 1,9	-
Konzentrationen im Bodensickerwasser (Fiedler/Rösler, 1993)	2-6	0,7-10	2-30	-	3-20	1-40	5-550
Bodensickerwasser von Waldböden (Heinrichs/Mayer, 1982)	2,9-7,2	1,9-3	14-20	-	5,5-14	1,7	201-630

Für diese Abschätzung wurden deshalb mittlere jährliche Austragsfrachten mit dem Sickerwasser verwendet, die von Wilcke/Döhler (1995) im Rahmen einer Bilanzie-

rung von Schwermetallströmen für landwirtschaftliche Nutzflächen ermittelt wurden. Aus den als Jahresfrachten angegebenen Werten wurden Konzentrationswerte unter der Annahme einer mittleren Versickerungsrate von 300 mm rückgerechnet. In Tabelle 4.4-1 sind die verwendeten Konzentrationen sowie Vergleichswerte aus der Literatur in Drän- und Sickerwässern aufgelistet.

4.5 Atmosphärische Deposition

Die durch atmosphärische Deposition direkt in die Oberflächengewässer eingetragenen Schwermetalle werden nach folgender Gleichung berechnet:

$$E_D = A_{GEW} \cdot D \cdot 1.000$$

E_D = Schwermetalleinträge durch atmosphärische Deposition [kg/a]

A_{GEW} = Gesamtfläche der Oberflächengewässer [ha]

D = atmosphärische Deposition für Schwermetalle [g/ha·a]

Die Wasserfläche der Flusseinzugsgebiete wurde von Behrendt et al. (1999) für das Modell MONERIS ermittelt und in diesem Vorhaben übernommen. Die Abschätzung erfolgte auf Basis der Landnutzungskarte (CORINE Landcover) und wurde anschließend in Abhängigkeit von der Einzugsgebietsgröße angepasst, da die Gewässerflächen bei CORINE Landcover auf Grund des groben Rasters unterschätzt werden.

Aktuelle Messwerte zur Gesamtdosition von Schwermetallen liegen nicht flächendeckend für Deutschland vor. Im Rahmen des UBA-Messnetzes (UBA, 1997) wird nur die nasse Deposition für die Metalle Cadmium, Kupfer, Blei und Zink erfasst.

Untersuchungen der Schwermetallgehalte in Moosen belegen einen Rückgang der atmosphärischen Emissionen für Schwermetalle in Europa in den letzten 10-20 Jahren (Nordic Council of Ministers, 1994), weshalb nur aktuelle Literaturangaben verwendet werden dürfen. Für diese Abschätzung wurden deshalb die Angaben zur Gesamtdosition aus der Bestandsaufnahme für den Rhein (IKSR, 1999) übernommen. Die verwendeten Gesamtdositionsraten sowie Vergleichswerte aus der Literatur sind Tabelle 4.5-1 zu entnehmen.

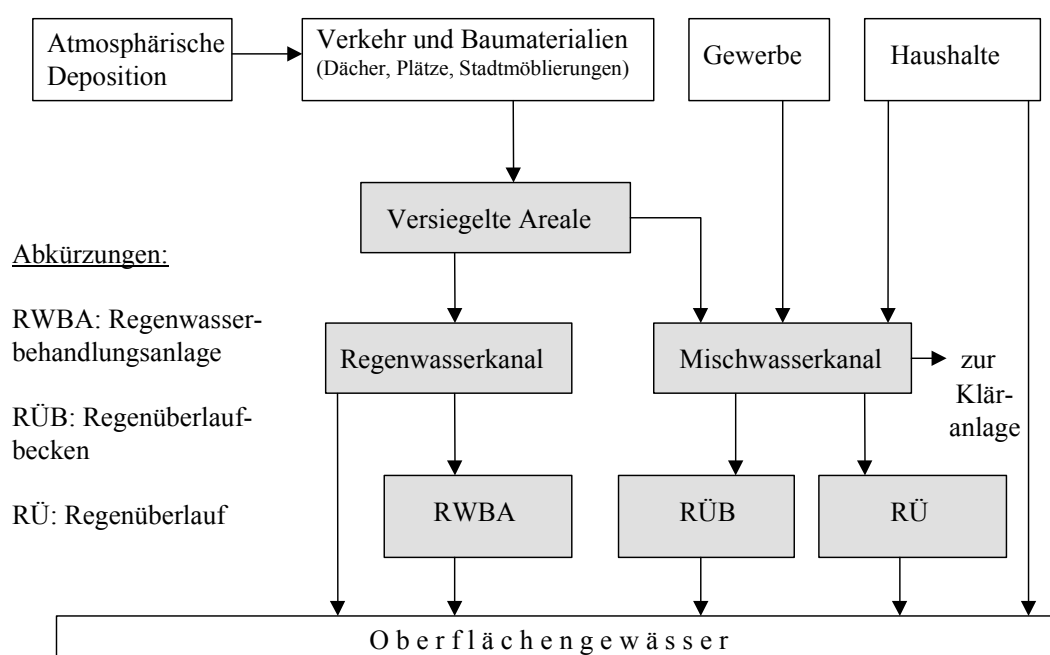
Tabelle 4.5-1: Gesamtdeposition für Schwermetalle [g/ha·a]

Werte in g/ha·a	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
IKSR (1999)	2	5	30	0,2	15	40	250
Wilcke/Döhler (1995)	2,5	7	52,6	-	11	57,2	540
Müller et al. (1991)	1,0	10	25	-	9	63	140
Severin et al. (1991)	5	10	-	-	-	53	468
Peters (1990)	20	-	73	-	-	47	334

4.6 Urbane Flächen: Kanalisationen und nicht angeschlossene Einwohner

In diesem Pfad werden die diffusen Schwermetalleinträge aus der Siedlungsentwässerung zusammengefasst. Dazu zählen Einträge von versiegelten Flächen über Mischwasserentlastungen und Trennkanalisationen, sowie Haushalte, die nicht an eine Kläranlage angeschlossen sind (mit und ohne Anschluss an die Kanalisation). Die Herkunftsbereiche und Eintragspfade von Schwermetallen aus diffusen Quellen der Siedlungsentwässerung sind schematisch in Abbildung 4.6-1 dargestellt.

Abbildung 4.6-1: Herkunftsbereiche und Eintragspfade für Schwermetalle aus diffusen Quellen der Siedlungsentwässerung (verändert nach Stotz/Knoche, 2000)



Die regional unterschiedliche relative Bedeutung der in Abbildung 4.6-1 dargestellten Haupteintragspfade (Mischsystem, Trennsystem und Direkteinleitungen aus Haushalten) lässt sich anhand der Verbreitung der Entwässerungssysteme, ihrem Ausbaugrad und dem Anschlussgrad an Kläranlagen ableiten. In Tabelle 4.6-1 sind die dazu erforderlichen Angaben zusammengestellt.

Tabelle 4.6-1: Anschlussgrad an Kanalnetz und öffentliche Abwasserbeseitigungsanlagen, sowie Verteilung von Trenn- und Mischsystem (mit Ausbaugrad des Speichervolumens) (Statistisches Bundesamt, 1998a; Behrendt et al., 1999)

Bundesland	Anschlussgrad Kanalnetz [%]	Anteil Trennkanalisation [%]	Anteil Mischkanalisation [%]	Speichervol. [%]	Anschlussgrad Kläranlagen [%]	Bev. ohne Anschluss [%]
Baden-Württemberg	98,2	21,8	78,2	94,8	97,6	1,8
Bayern	92,2	29,3	70,7	66,9	90,5	7,8
Berlin	98,0	77,9	22,1	6,0	98,0	2,0
Brandenburg	61,9	78,4	21,6	11,4	61,1	38,1
Bremen	100,0	70,5	29,5	79,4	100,0	0,0
Hamburg	96,7	76,0	24,0	27,2	96,7	3,3
Hessen	99,3	20,2	79,8	60,4	97,2	0,7
Mecklenburg-Vorp.	75,3	83,4	16,6	11,6	70,7	24,7
Niedersachsen	90,5	93,4	6,6	53,3	90,3	9,5
Nordrhein-Westfalen	95,5	45,7	54,3	78,9	95,3	4,5
Rheinland-Pfalz	97,5	19,9	80,1	62,0	94,1	2,5
Saarland	98,8	13,5	86,5	35,6	76,8	1,2
Sachsen	78,8	42,0	58,0	11,9	64,2	21,2
Sachsen-Anhalt	79,4	53,4	46,6	11,1	63,5	20,6
Schleswig-Holstein	90,5	91,2	8,8	50,8	89,9	9,5
Thüringen	89,4	23,6	76,4	9,4	53,6	10,6
Alte Bundesländer	95,2	45,8	54,2	72,5	94,0	4,8
Neue Bundesländer	77,3	51,6	48,4	9,6	62,5	22,7
Deutschland	90,2	46,5	53,5	61,6	85,7	9,8

4.6.1 Schwermetalleinträge über Kanalsysteme

Hauptquellen des Eintrages umweltrelevanter Stoffe in die Kanalisation und letztlich in die Gewässer sind die atmosphärische Deposition, der Straßenverkehr sowie Verunreinigungen wie z.B. Pflanzenreste und Tierexkremente (Muschack, 1989). Der Niederschlag nimmt bereits bei seinem Weg durch die Atmosphäre eine Reihe von staub- und gasförmigen Stoffen auf. Diese Belastung wird durch die Verschmutzung der abflusswirksamen Oberflächen je nach Materialeigenschaften und Dauer der Trockenperiode um ein Vielfaches erhöht. Zusätzlich kommt es im Kanalsystem zur Erosion der auf die vorangegangene Trockenwetterperiode zurückzuführenden Kanalablagerungen und der an Kanalwandungen wachsenden Sielhäute (Stotz/Knoche, 2000).

Die Bilanzierung der Einträge aus Kanalisationen erfolgte mit flächenspezifischen Abtragspotenzialen. Diese Methode unterscheidet sich von dem von der IKS an angewendeten Verfahren, nach dem die in Gewässer abgeschlagenen Wassermengen aus Kanalsystemen mit mittleren Schwermetallkonzentrationen im Regenwasserkanal bzw. im Mischwasserüberlauf zu multiplizieren sind (IKS, 1999). Erfahrungen aus der Urbanhydrologie haben jedoch gezeigt, dass die von Oberflächen abgespülten jährlichen Schadstofffrachten in erster Linie von der Schmutzstoffdeposition auf der Oberfläche und weniger von der Niederschlagsabflussmenge bestimmt werden. Zudem handelt es sich bei Flächenabtragspotenzialen um ereignisgewichtete langjährige Mittelwerte (Fuchs/Hahn, 1999).

Die verwendeten flächenspezifischen Abtragspotenziale für versiegelte urbane Flächen sowie Vergleichswerte aus der Literatur sind in Tabelle 4.6-2 aufgelistet. Generell liegen in der Literatur nur sehr wenige Werte für die Metalle Quecksilber, Chrom und Nickel vor (Stotz/Knoche, 2000).

Tabelle 4.6-2: Flächenspezifische Abtragspotenziale für urbane befestigte Flächen [g/ha·a]

Werte in g/ha·a	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Verwendetes Potenzial	7	70	312	2	88	154	2130
Stotz/Knoche (2000)	7	18	58	2	22	169	2130
Fuchs et al. (1999)	18	70	312	-	88	154	4300
Vink (2000)	11,2	-	340	3,5	-	197	2101

Für die Berechnung der Schwermetalleinträge aus Trenn- und Mischsystemen in die Oberflächengewässer wurden für alle Flussgebiete einheitliche Emissionsfaktoren (Abtragspotenziale) angenommen, da eine regionale Differenzierung zur Zeit weder sinnvoll noch möglich erscheint (Stotz/Knoche, 2000).

Als weitere Berechnungsgrundlage geht der von Behrendt et al. (1999) ermittelte versiegelte Flächenanteil ein. Die gesamte versiegelte urbane Fläche wurde auf die verschiedenen Kanalisationssysteme aufgeteilt. Dazu wurden die Statistiken der Bundesländer über die Längen der Misch-, Schmutzwasser- und Trennkanäle verwendet.

Schwermetalleinträge über Trennkanalisationen

Im Trennverfahren wird der Schmutzwasserabfluss separat vom Regenabfluss in die Kläranlage abgeführt. Insgesamt entfallen 46,5 % der Kanallänge in Deutschland auf das Trennsystem, wobei die nördlichen Bundesländer überwiegend (ca. 80 %) im Trennverfahren entwässert werden (vgl. Tabelle 4.6-1).

Für das Trennsystem sind als direkte Eintragspfade **Regenwasserkanalabläufe** und Abläufe aus **Regenklärbecken** in die Vorfluter zu berücksichtigen (vgl. Abbildung 4.6-1). Das Speichervolumen von Regenklärbecken bei Trennsystemen beträgt im gesamten Bundesgebiet $705,8 \cdot 10^3 \text{ m}^3$, was ca. 10 % der gesamten über Regenwasserkanäle in die Oberflächengewässer abgeschlagenen Wassermenge entspricht (Statistisches Bundesamt, 1998a). Stotz/Knoche (2000) bewerten im Rahmen einer Literaturrecherche die veröffentlichten Zitate für den Eintragspfad **Regenklärbecken** auf Grund des Einzelcharakters der Untersuchungen, die sich auf kurze Zeiträume und eine kleine Datenbasis beziehen, als wenig aussagekräftig und somit ungeeignet zur Frachtbilanzierung. Auf Grund des geringen Ausbaugrades sowie der mangelnden Datenbasis wurde der Einfluss der Regenwasserbehandlung auf die Schwermetalleinträge aus Trennsystemen nicht berücksichtigt.

Die Einträge von versiegelten Flächen über Regenwasserkanäle wurden anhand der folgenden Formel berechnet:

$$E_{UT} = AS_{URB} \cdot A_{URBVT} \cdot 100$$

E_{UT} = Schwermetallemissionen aus Trennkanalisationen [kg/a]

AS_{URB} = spezifische Schwermetallabschwemmungsrate von versiegelten Oberflächen [kg/ha·a]

A_{URBVT} = an die Trennkanalisation angeschlossene versiegelte urbane Fläche [km²]

Schwermetalleinträge über Mischkanalisationsüberläufe

Bei der Mischkanalisation werden die Einträge aus Haushalten, den industriellen Indirekteinleitern und die Niederschlagsabflüsse in einem Kanal erfasst und der Kläranlage zugeführt. Bei Starkregenereignissen ist das System nur zum Teil in der Lage die Wassermengen zwischenzuspeichern, um sie nach dem Ereignis der Kläranlage zuzuleiten. Die nicht behandel- bzw. speicherbaren Wassermengen werden

über Regenüberläufe, Stauraumkanäle oder Regenüberlaufbecken in die Gewässer entlastet.

Das Ausmaß der frachtbezogenen Gewässerbelastung aus Mischsystemen ist abhängig von der jährlichen Überlaufdauer. Dieser Parameter wird durch den Ausbaugrad, d.h. das verfügbare Speichervolumen, und durch die Betriebsweise des Systems gesteuert. Die dabei zu berücksichtigenden Zusammenhänge sind komplex und weisen eine hohe räumliche und zeitliche Spezifität auf. Dies erschwert eine realitätsnahe Abschätzung der in die Gewässer eingetragenen Frachten erheblich. Als Hilfsmittel zur Abschätzung der über diesen Pfad entlasteten Metallfrachten kann die sogenannte Entlastungsrate herangezogen werden, die auch bei der Bemessung von Regenüberlaufbecken als Kontrollgröße berechnet wird und angibt, welcher Teil der Jahresschmutzfracht entlastet wird. Diese Entlastungsrate wurde nach Meißner (1991) für jedes Flussgebiet mit folgender Gleichung bestimmt. Für die Regenabflussspende wurde 1 l/s·ha angenommen.

$$RE = \frac{\frac{4000 + 25 \cdot q_R}{0,551 + q_R}}{V_S + \frac{36,8 + 13,5 \cdot q_R}{0,5 + q_R}} - 6 + \frac{N_J - 800}{40}$$

RE = Entlastungsrate des Mischsystems [%]

q_R = Regenabflussspende [l/ha·a]

V_S = Speichervolumen [m³]

N_J = Jahresniederschlag [l/m²·a]

Die so berechenbare Entlastungsfracht enthält neben der von den versiegelten Flächen abgespülten Fracht auch einen Schmutzwasseranteil. Behrendt et al. (1999) schätzen den schmutzwasserbürtigen Anteil für Nährstoffe in Abhängigkeit von der Anzahl der effektiven Starkregentage im Jahr ab. Für die Schwermetalle wurde eine davon abweichende Berechnungsmethode gewählt und die tatsächlich wirksame Entlastungsdauer zu Grunde gelegt. Diese wird von Brombach/Wöhrle (1997) als Median für Durchlaufbecken mit 230 h im Jahr angegeben. Die Berechnung der gewerblichen Abwassermenge basiert auf Angaben von Mohaupt et al. (1998), wobei der Anteil der Gewerbeflächen an der gesamten urbanen Fläche mit 0,8 % und eine gewerbliche Abflussspende von 0,5 l/ha·s angenommen wurde.

Die Berechnung der über die Mischkanalisationen ausgetragenen Schwermetallfrachten erfolgte nach der folgenden Formel:

$$E_{UM} = (AG_E \cdot E_{KA} + C_{GEW} \cdot Q_{GEWM}) \cdot TE + (AS \cdot A_{URBVM} \cdot 100) \cdot \frac{RE}{100}$$

E_{UM} = über die Mischkanalisation eingetragene Schwermetallfracht [kg/a]

AG_E = einwohnerspezifische Schwermetallabgabe [mg/E·h]

E_{KA} = an Kläranlagen angeschlossene Einwohner

C_{GEW} = Schwermetallkonzentration im gewerblichen Abwasser [$\mu\text{g/l}$]

Q_{GEWM} = Abfluss von Gewerbegebieten mit Mischkanalisationsanschluss [l/h]

TE = Entlastungsdauer pro Jahr [h]

AS = Schwermetallabschwemmrate von der Oberfläche [$\text{g/ha}\cdot\text{a}$]

A_{URBVM} = an ein Mischsystem angeschlossene versiegelte urbane Fläche [km^2]

RE = Entlastungsrate

Die Parameter für die Berechnung der Schmutzwasserfracht im Entlastungsfall sind in den Tabellen 4.6-3 und 4.6-4 aufgelistet. Die flächenspezifischen Abtragspotenziale entsprechen den für die Trennkanalisation verwendeten Werten (Tabelle 4.6-2).

Zur Überprüfung der Plausibilität der getroffenen Annahmen wurden der Schmutzwasseranteil an der Gesamtfracht und die Konzentrationen im Entlastungsabfluss berechnet. Der berechnete Schmutzwasseranteil liegt mit 5-15 % in einer plausiblen Größenordnung, wenn man berücksichtigt, dass vor der Entlastung ein Mindestmischungsverhältnis von 1:7 (Schmutzwasser/Regenwasser) einzuhalten ist (ATV-A 128, 1999b). Der Anteil der gewerblich bedingten Schwermetallfracht an der gesamten entlasteten Schmutzwasserfracht (Haushalte und Gewerbe) beträgt nach diesen Berechnungen nur 3-5 %.

Tabelle 4.6-3: Einwohnerspezifische Schwermetallabgabe

Werte in mg/E-d	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
verwendete Fracht: Gesamteintrag	0,45	4,5	22,5	0,15	6,0	15,1	74,5
verwendete Fracht: gelöster Eintrag	0,35	4,4	21	0,15	5,8	14,8	65,8
De Waal Malefijt (1982)	0,45	4,5	22,5	0,15	6,0	15,1	74,5
Koppe/Stozek (1999)	1,0	6,0	31,25	-	8,0	20,0	100

Tabelle 4.6-4: Grobe Abschätzung der Schwermetallkonzentrationen in gewerblichem Abwasser (Schäfer, 1999)

Werte in $\mu\text{g/l}$	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Gewerbliches Abwasser	4,6	44	149	1,5	50	152	523

Die Schwermetallkonzentrationen im Entlastungsabfluss werden in Tabelle 4.6-5 dargestellt und mit aktuellen Messwerten aus der Literatur verglichen. Generell weisen die veröffentlichten Daten eine hohe Schwankungsbreite auf, jedoch liegen die berechneten Konzentrationen in dem von der Literatur angegebenen Spektrum.

Tabelle 4.6-5: Berechnete Schwermetallkonzentrationen im Mischwasserüberlauf und aktuelle Messwerte aus der Literatur

Werte in µg/l	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
berechnete Konz. im Entlastungsabfluss	2,1	20,5	92,1	0,6	25,9	46,7	606
Mohaupt et al. (1998)	2	10	60	0,5	30	60	280
Stotz/Knoche (2000):							
Fangbecken	0,4	21	75	0,1	12	24	218
Durchlaufbecken	0,3	22	95	0,02	12	44	268
Schäfer et al. (1997)	0,7	-	58	-	-	48	-
Fuchs et al. (1997)	0,3	-	71	-	-	26	-
Brombach et al. (1993)	1,4	-	73	-	30	54	810
Sieker et al. (1993)	0,7-3	-	>101	-	-	41-338	110-1140

Einwohner, die nur an die Kanalisation angeschlossen sind

In diesem Pfad werden Schwermetalleinträge von urbanen Flächen sowie Haushalten und Gewerbebetrieben berücksichtigt, die zwar an eine Kanalisation aber nicht an eine Kläranlage angeschlossen sind. Die Bilanzierung dieses Eintragspfades erfolgte mit dem Modell MONERIS entsprechend der Vorgehensweise für die Nährstoffe:

$$E_{UK} = E_{UAK} + E_{EWK} \cdot AG_{EG} \cdot 365 + E_{GEWK}$$

E_{UK} = Einträge von nur an die Kanalisation angeschlossen urbanen Flächen und Einwohnern [kg/a]

E_{UAK} = Einträge von nur an die Kanalisation angeschlossen versiegelten Flächen [kg/a]

E_{EWK} = Anzahl der Einwohner die nur an die Kanalisation angeschlossen sind

AG_{EG} = einwohnerspezifische Schwermetallemission, gelöster Anteil [kg/E·d]

E_{GEWK} = Einträge von nur an die Kanalisation angeschlossen Gewerbebetrieben [kg/a]

Die urbanen Flächen können bezüglich des Stoffeintrages wie die Flächen mit Trennkanalisation betrachtet werden (Tabelle 4.6-2). Zusätzlich sind die Schwermetalleinträge durch die Haushalte sowie von Gewerbebetrieben zu berücksichtigen, die nur an die Kanalisation angeschlossen sind. Bei diesem Bevölkerungsteil wird davon ausgegangen, dass der partikuläre Anteil der Schwermetallabgabe aus Haushalten in die Kläranlage transportiert wird, wohingegen der gelöste Anteil vollständig der Kanalisation zugeführt wird. Im Falle der Schwermetalle liegt der überwiegende Anteil der einwohnerspezifischen Schwermetallabgabe in der gelösten Phase vor und stammt für jedes Metall zu mindestens 80 % aus Reinigungswässern (Kop-

pe/Stozek, 1999) (Tabelle 4.6-3). Die Berechnung der Einträge von gewerblichen Betrieben entspricht der bereits für die Mischsysteme beschriebenen Vorgehensweise. Bei diesem Pfad muss jedoch zusätzlich die Dauer der gewerblichen Abflussspende berücksichtigt werden, die nach Mohaupt et al. (1998) mit 10 Stunden am Tag angenommen wurde.

4.6.2 Einwohner, die weder an die Kanalisation noch an eine Kläranlage angeschlossen sind

Für Haushalte, die weder an eine Kanalisation noch an eine Kläranlage angeschlossen sind, wird davon ausgegangen, dass bei Sickergruben nur die gelösten Bestandteile des Abwassers (vgl. Tabelle 4.6-3) in den Boden und nach sehr unterschiedlicher Bodenpassage ins Gewässer gelangen (Behrendt et al., 1999). Dabei wurde für alle Schwermetalle ein Rückhalt im Boden von 95 % angenommen. Für die versiegelten Flächen ohne Kanalisationsanschluss gelangt ebenfalls nur ein Teil der Fracht nach der Bodenpassage in die Oberflächengewässer. Einträge von gewerblichen Betrieben sind bei diesem Eintragspfad nicht zu erwarten und werden nicht berücksichtigt:

$$E_{UN} = (E_{AUN} + E_{EWN} \cdot AG_{EG} \cdot 365) \cdot 0,05$$

E_{UN} = Einträge von nicht an die Kanalisation angeschlossenen urbanen Flächen und Haushalten [kg/a]

E_{AUN} = Einträge von nicht an die Kanalisation angeschlossenen urbanen Flächen [kg/a]

AG_{EG} = einwohnerspezifische Schwermetallemission, gelöster Anteil [kg/E·d]

E_{EWN} = Anzahl von nicht an die Kanalisation angeschlossenen Einwohnern mit Sickergrube

4.7 Direkteinträge durch Schifffahrt

Die Abschätzung der Frachten für die Metalle Kupfer, Blei und Zink erfolgte nach der Methode der IKSR (Mohaupt et al., 1998) über die Anzahl der Fahrzeuge der Berufsschifffahrt bzw. Sportboote und die eingetragene Schwermetallfracht pro Fahrzeug:

$$E_{SCHIFF} = a \cdot b$$

E_{Schiff} = Schwermetalleinträge durch Schifffahrt [kg/a]

a = Anzahl der Fahrzeuge der Berufsschifffahrt bzw. Sportboote im Einzugsgebiet

b = Schwermetalleintrag je Fahrzeug [kg/a]

Die Anzahl der Fahrzeuge der Berufsschifffahrt wurde den Angaben des Statistischen Bundesamtes (1996b) entnommen. Für die genaue Anzahl der Sportboote

liegen keine Angaben beim Statistischen Bundesamt vor, weshalb diese entsprechend den Angaben der IKS_R für den Rhein in Abhängigkeit von der Wasserfläche (58,8 Boote/km²) abgeschätzt wurde (Mohaupt et al., 1998).

Die in die Gewässer eingetragenen Schwermetallmengen werden von der IKS_R (Mohaupt et al., 1998) wie folgt angegeben:

Blei gelangt durch die Verwendung von bleihaltigem Schraubenfett, das bei schätzungsweise 80 % der Fahrzeuge der Berufsschiffahrt zur Anwendung kommt, in die Gewässer. Der Eintrag pro Fahrzeug beträgt 1,5 kg/a.

Zink wird von Elektroden zum Korrosionsschutz von Fahrzeugen der Berufsschiffahrt emittiert. Zinkelektroden kommen bei ca. 10 % der Fahrzeuge zum Einsatz, wobei die Elektroden 100 kg wiegen und 2 Jahre halten¹⁸.

Kupfer ist in Antifoulingmitteln für Sportboote enthalten. Pro Boot werden 25 g Cu/a emittiert.

4.8 Geogene Hintergrundbelastung

Dieser Eintragspfad dient zur Bestimmung der Schwermetallbelastung der Fließgewässer mit dem Basisabfluss. Im Gegensatz zu den Nährstoffen, insbesondere Stickstoff, bei dem ein Großteil der landwirtschaftlich bedingten Einträge durch den Grundwasserpfad in die Oberflächengewässer gelangt (Behrendt et al., 1999), kann bei Schwermetallen auf der Maßstabebene der großen Flussgebiete angenommen werden, dass der Schwermetalleintrag mit dem Grundwasserzufluss überwiegend durch natürliche geogene Quellen bedingt ist.

Behrendt et al. (1999) bestimmten für MONERIS den Grundwasserzufluss in den Flussgebieten als Differenz zwischen dem gemessenen Abfluss und den einzelnen Abflusskomponenten (Drainageabfluss, Oberflächenabfluss von versiegelten und nicht versiegelten Flächen und atmosphärischer Zufluss) sowie anhand von berechneten Sickerwasserhöhen. Das so berechnete Restglied aus der Abflussbilanz entspricht zum Großteil dem Basisabfluss.

Die Schwermetallfracht berechnet sich anschließend aus dem Produkt von Grundwasserzufluss und der geogen bedingten Schwermetallkonzentration.

¹⁸ Von Schiffbauern wird diesen Angaben widersprochen, da nicht von vollständiger Auflösung der Opferanode auszugehen ist. Bei der Binnenschiffahrt sind Zinkelektroden ineffektiv (hier sind Magnesium-Anoden wesentlich besser geeignet), so dass nur seegängige Schiffe Zink aus ihren Elektroden eintragen können.

$$E_{GW} = \frac{Q_{GW} \cdot C_{GW}}{1.000.000}$$

E_{GW} = Schwermetalleintrag über das Grundwasser [kg/a]

Q_{GW} = Grundwasserzufluss [m^3/a]

C_{GW} = Schwermetallkonzentration im Grundwasser [$\mu g/l$]

Zur Abschätzung dieses Eintragspfades können die geogene Hintergrundkonzentration in Fließgewässern oder die mittlere Schwermetallkonzentration im Grundwasser herangezogen werden.

Die Hintergrundkonzentration der Schwermetalle in Oberflächengewässern wird maßgeblich von der Geologie des Untergrundes und dem Wasserchemismus (Wasserhärte, pH-Wert, Ionenstärke) bestimmt und unterliegt somit einer gewissen Schwankungsbreite. Da Schwermetalle im Wasser sowohl in gelöster als auch in partikulär gebundener Form vorkommen und Umsetzungsprozesse zwischen beiden Phasen auftreten, ist stets die Gesamtkonzentration zu betrachten. Hintergrundkonzentrationen für Fließgewässer in Deutschland wurden von der LAWA (1998) und Fauth et al. (1985) zusammengestellt (vgl. Tabelle 4.8-1).

In Tabelle 4.8-1 sind zum Vergleich Schwermetallkonzentrationen im Grundwasser aufgelistet. Diese sind neben den oben genannten Einflussgrößen vom Sauerstoffgehalt und den Aufenthaltszeiten im Aquifer abhängig. So haben Grundwässer, die ein höheres Alter oder auch höhere Gehalte an organischen Substanzen aufweisen, teilweise erhöhte Schwermetallkonzentrationen (LfU, 1994). Zudem kommt es in Porengrundwasserleitern in der Regel zu einem intensiveren Kontakt des Wassers mit dem Aquifermaterial, was auch zu erhöhten Schwermetallkonzentrationen führen kann (NLfB, 2000). Letztlich ist zu erwähnen, dass auch in Grundwasserleitern der partikel-/kolloidgebundene Transport eine entscheidende Größe darstellt, insbesondere für die Metalle Blei, Kupfer, Cadmium und Zink (Willme et al., 1995). Aus Literaturdaten geht jedoch häufig nicht hervor, ob es sich um Gesamtgehalte oder nur um den gelösten Anteil handelt. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass nur oxische Grundwässer die Wasserqualität von unbelasteten Fließgewässern widerspiegeln, da beim Austritt von anoxischen Grundwässern an die Oberfläche chemische Veränderungen eintreten.

Auf Grund der kurz geschilderten Problematik bezüglich der verfügbaren Grundwasserdaten wurde für die Abschätzung der Frachten auf die von der LAWA zusammengestellten Hintergrundkonzentrationen für Fließgewässer zurückgegriffen. Nur bei dem Metall Chrom wurde von der Empfehlung der LAWA abgewichen, da der angegebene Konzentrationsbereich deutlich oberhalb der Grundwasserkonzentrationen liegt (vgl. Tabelle 4.8-1). Der Emissionsfaktor für Chrom wurde auf $1,5 \mu g/l$ festgesetzt (Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, 2000).

Tabelle 4.8-1: Hintergrundkonzentrationen in Oberflächen- und Grundwässern
[µg/l]

Werte in µg/l	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Hintergrundkonzentrationen in Fließgewässern							
Verwendete Konzentration	0,018	1,5	1,0	0,01	1,1	0,83	3,5
Schwankungsbereich von Hintergrundkonzentrationen LAWA (1998)	0,009-0,036	1,3-5,0	0,5-2,0	0,005-0,02	0,6-2,2	0,4-1,7	1,8-7
Fauth et al. (1985)	0,3	-	1,3	-	2	1	9
Merian (1984)	0,4	1	2	0,07	0,3	0,3	7
Salomons/Förstner (1984)	0,02	0,5	1	0,01	0,3	0,2	5,10
Behrendt et al. (2000)	<0,07	<0,2	<1	-	<1	<0,5	<10
Konzentrationen in Grundwässern							
Baden-Württemberg (LfU, 1994)	<0,005-0,16	<0,2-0,6	-	<0,005-0,06	<0,5-1,9	<0,5-0,5	<10-10
Bayern (Vink, 2000)	0,05-3,2	-	0,2-140	0,005-5	-	0,005-16	0,5-3900
Nordrhein-Westfalen (LUA, 2000)	<0,5	1,5	10	<0,5	10	2	185
Niedersachsen (NLfB, 2000)	<1	<10	<10	-	<15	<5	<5
Havel, Saale, Schwarze Elster, Mulde (Vink et al., 1998)	0,3-0,96	-	1,6-8,44	0,05	-	0,94-1,95	22,5-180
Sachsen, Elbe Uferfiltrat (Jordan/Weder, 1995)	<2	-	<5-10	-	n.n.-5	-	n.n.-40
Berlin (Brose/Brühl, 1993)	-	-	n.n.-10,5	-	0,5-10,9	-	3,5-65
Mittlere Schwermetallkonzentrationen in Grundwässern (DVWK, 1993)	<1-10	<8-100	<1-10	<0,1	<50-100	<1-7	<10-200

n.n. = nicht nachgewiesen

5 Schwermetall-Emissionsinventar Deutschland

5.1 Gesamteinträge

In den Abbildungen 5.1-1.a bis 5.1-7.a sind die Gesamteinträge in die Flussgebiete Deutschlands aufgetragen. Die punktuellen Einträge wurden in die Pfade Direktleiter Industrie und kommunale Kläranlagen untergliedert. Die diffusen Einträge

wurden für die Darstellung der Gesamteinträge in diffuse Einträge aus urbanen Gebieten und in sonstige diffuse Einträge zusammengefasst. Der geogene Hintergrund wurde gesondert als Eintragspfad bei den Gesamteinträgen dargestellt.

5.2 Schwermetalleinträge von kommunalen Kläranlagen

Die Frachten aus kommunalen Kläranlagen in die Flussgebiete, sowie deren Anteil an den Gesamteinträgen sind den Abbildungen 5.1-1.a bis 5.1-7.a zu entnehmen. Die Schwermetallemissionen aus kommunalen Kläranlagen schwanken für die einzelnen Metalle zwischen 8 % (Blei) und 40 % (Quecksilber) der gesamten Einträge und dominieren damit die aus Punktquellen resultierenden Einträge.

Die berechneten Frachten aus kommunalen Kläranlagen können von der Datenlage her als gut abgesichert bezeichnet werden: Nur für die Metalle Cadmium und Quecksilber bestehen auf Grund der in Kapitel 3.2.2 beschriebenen Bestimmungsgrenzenproblematik und der in der Regel sehr geringen Konzentrationen im Kläranlagenablauf (unterhalb der Bestimmungsgrenze) erhöhte Unsicherheiten.

Abbildung 5.1-1.a: Gesamtdarstellung der Einträge für Cadmium [kg/a]

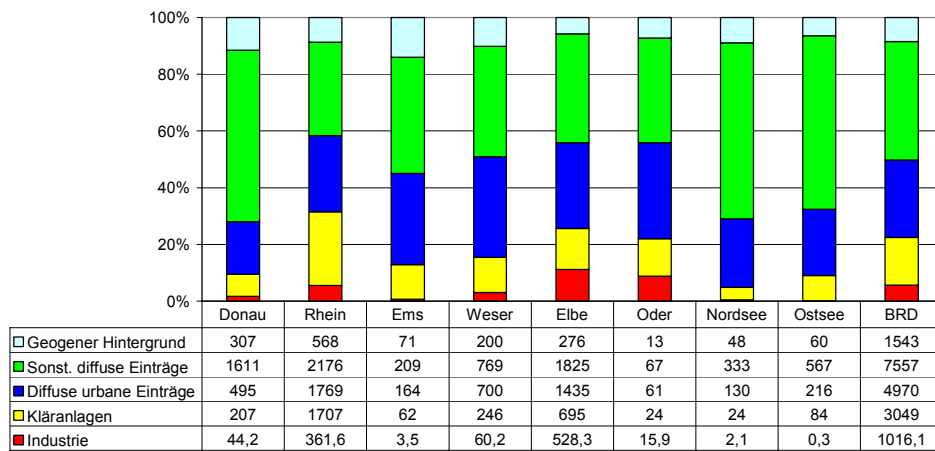


Abbildung 5.1-1.b: Diffuse Einträge aus urbanen Gebieten für Cadmium [kg/a]

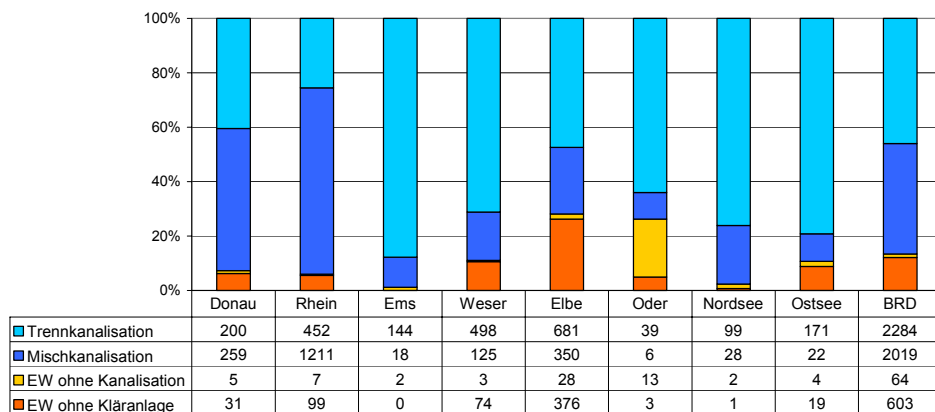


Abbildung 5.1-1.c: Sonstige diffuse Einträge für Cadmium [kg/a]

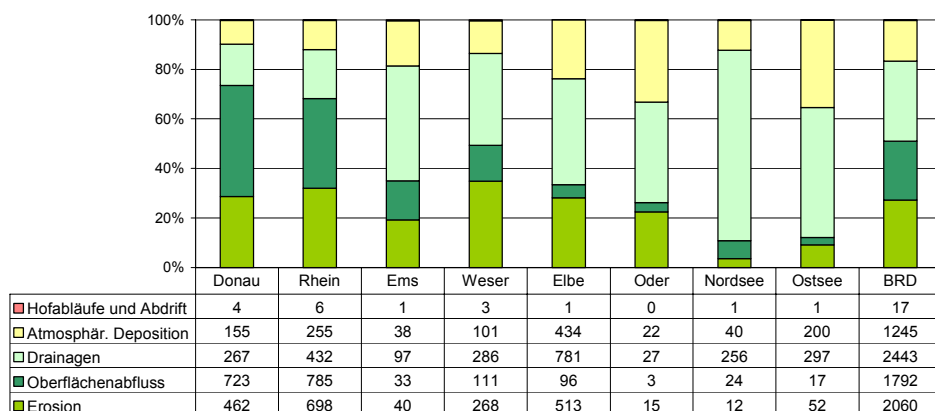


Abbildung 5.1-2.a: Gesamtdarstellung der Einträge für Chrom [kg/a]

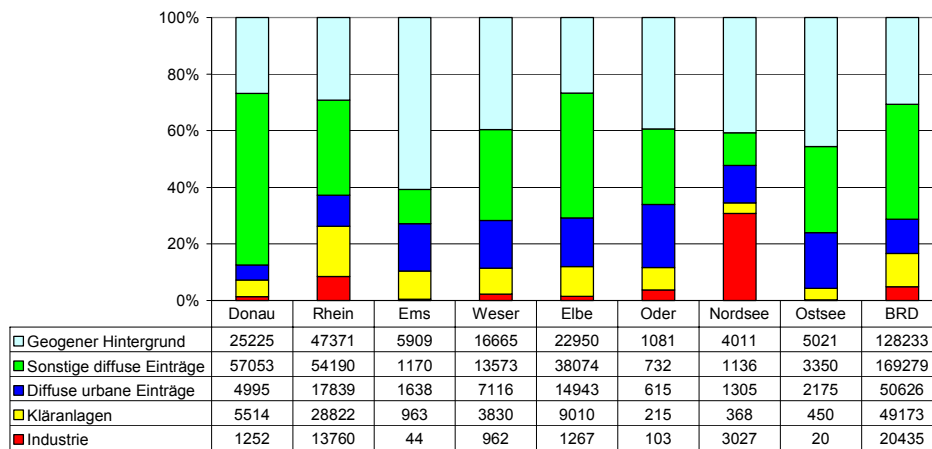


Abbildung 5.1-2.b: Diffuse Einträge aus urbanen Gebieten für Chrom [kg/a]

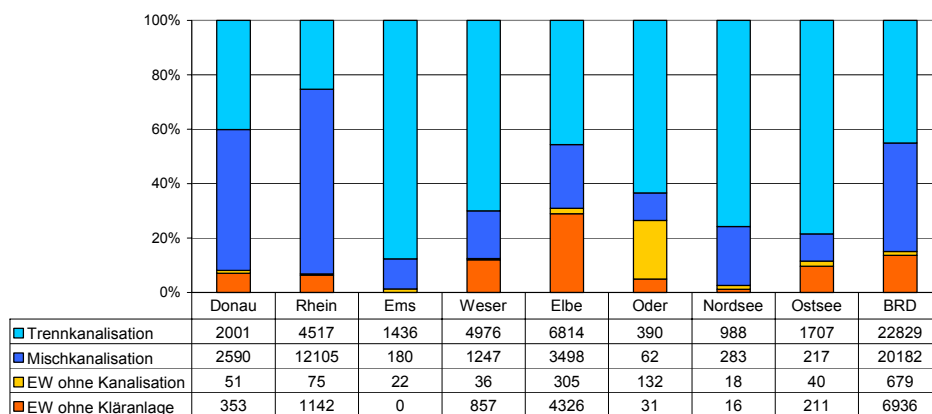


Abbildung 5.1-2.c: Sonstige diffuse Einträge für Chrom [kg/a]

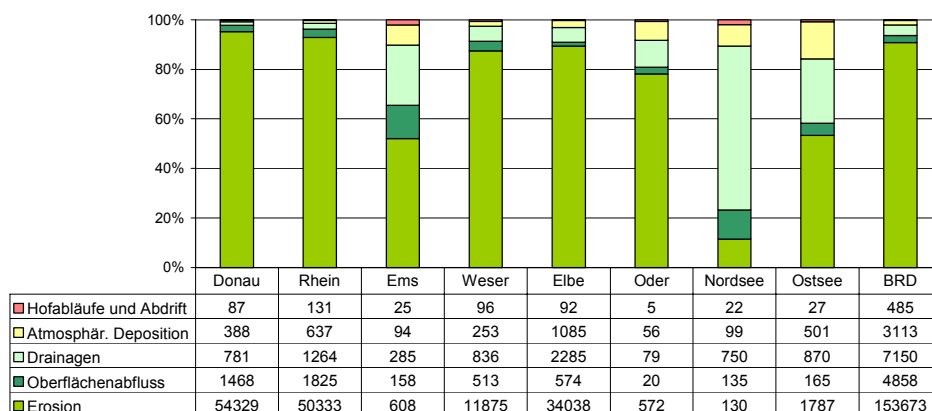


Abbildung 5.1-3.a: Gesamtdarstellung der Einträge für Kupfer [kg/a]

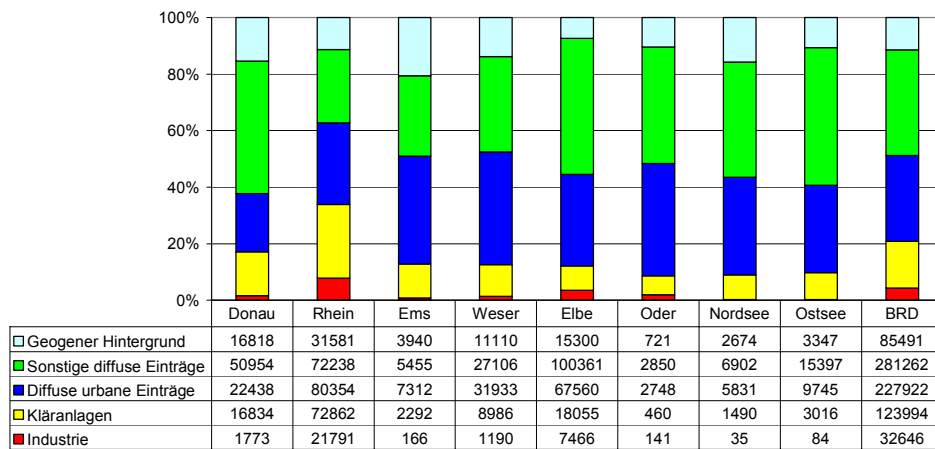


Abbildung 5.1-3.b: Diffuse Einträge aus urbanen Gebieten für Kupfer [kg/a]

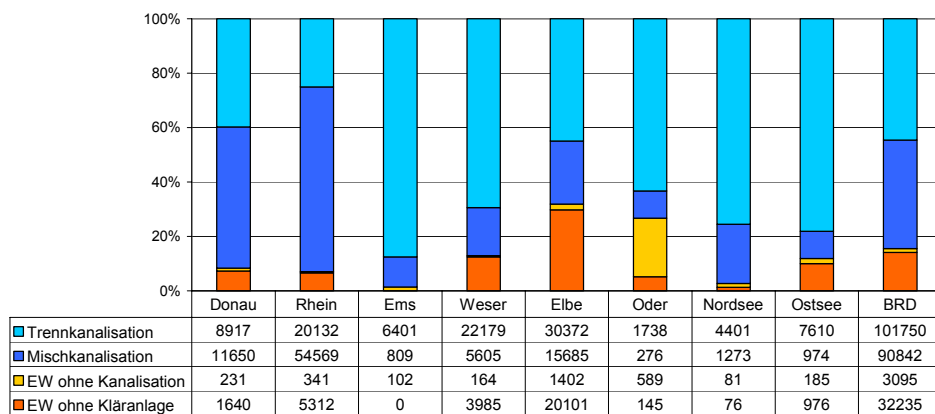


Abbildung 5.1-3.c: Sonstige diffuse Einträge für Kupfer [kg/a]

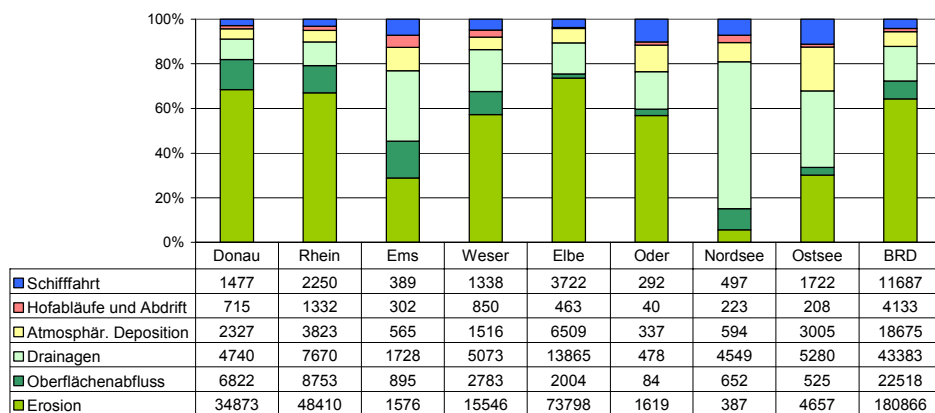


Abbildung 5.1-4.a: Gesamtdarstellung der Einträge für Quecksilber [kg/a]

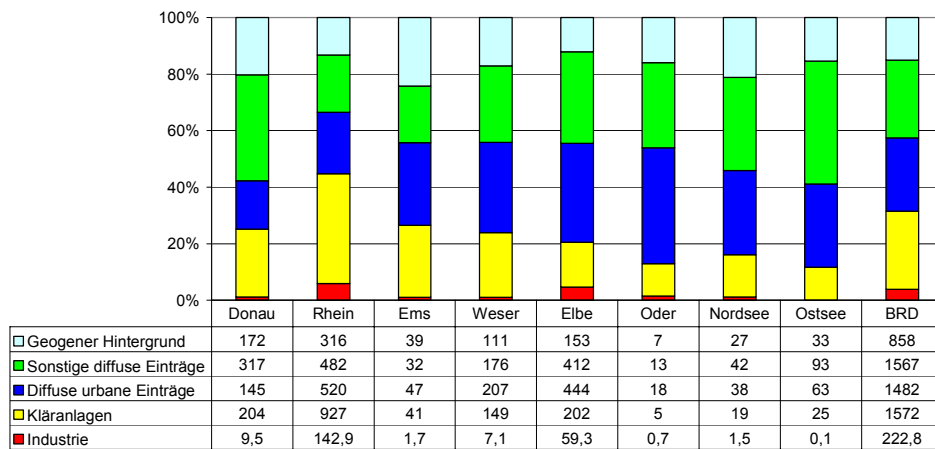


Abbildung 5.1-4.b: Diffuse Einträge aus urbanen Gebieten für Quecksilber [kg/a]

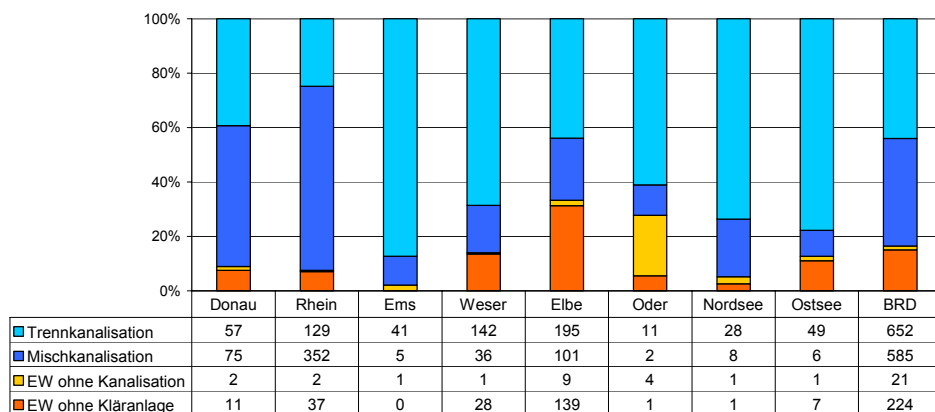


Abbildung 5.1-4.c: Sonstige diffuse Einträge für Quecksilber [kg/a]

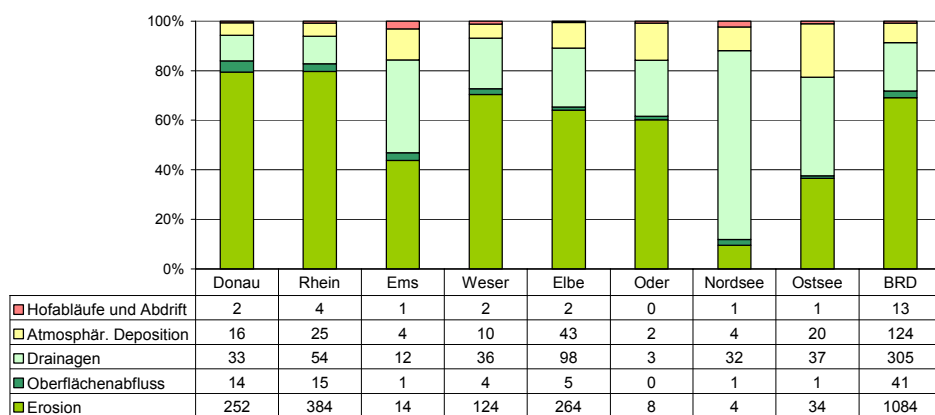


Abbildung 5.1-5.a: Gesamtdarstellung der Einträge für Nickel [kg/a]

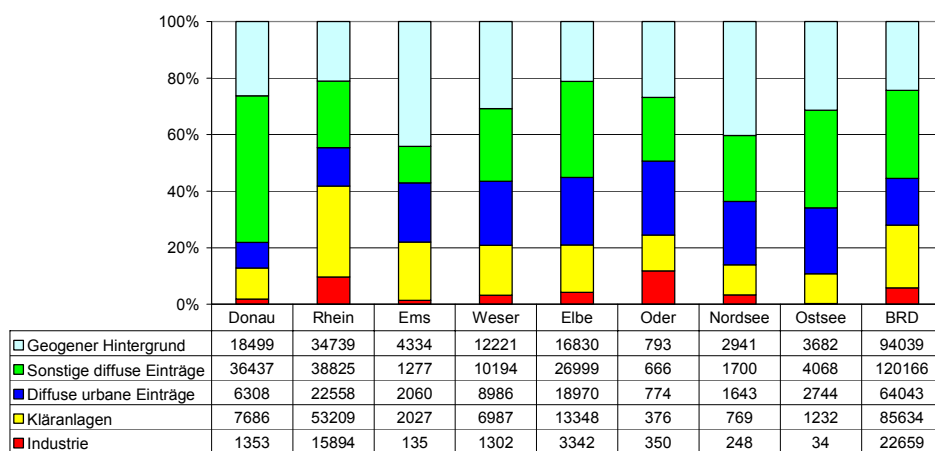


Abbildung 5.1-5.b: Diffuse Einträge aus urbanen Gebieten für Nickel [kg/a]

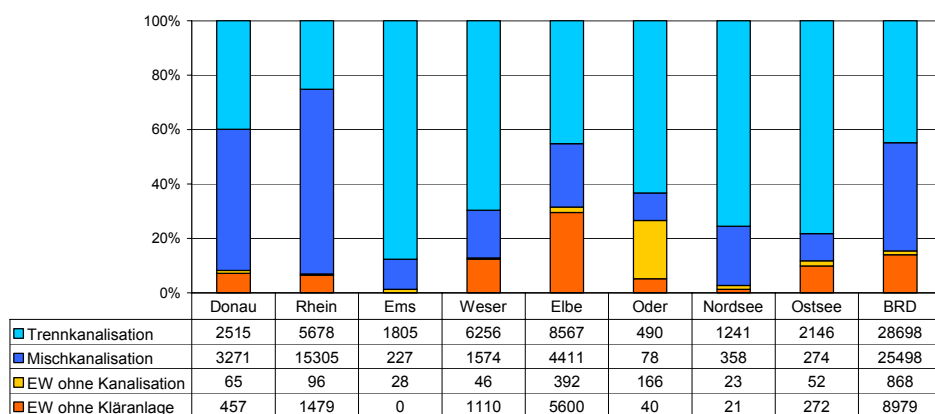


Abbildung 5.1-5.c: Sonstige diffuse Einträge für Nickel [kg/a]

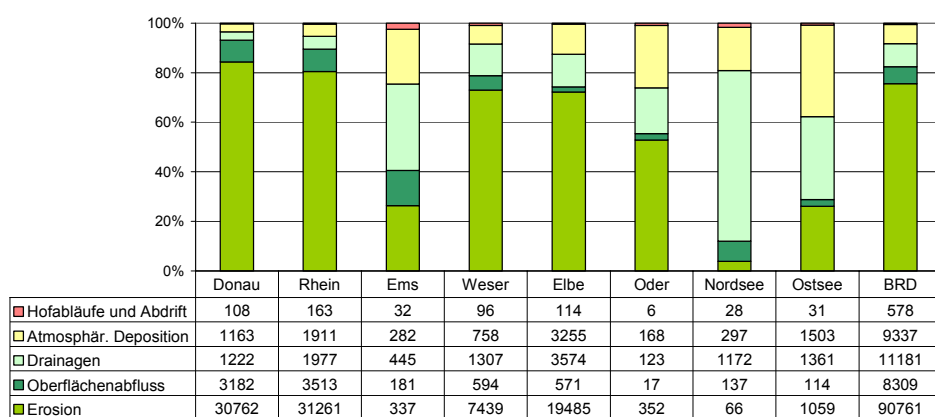


Abbildung 5.1-6.a: Gesamtdarstellung der Einträge für Blei [kg/a]

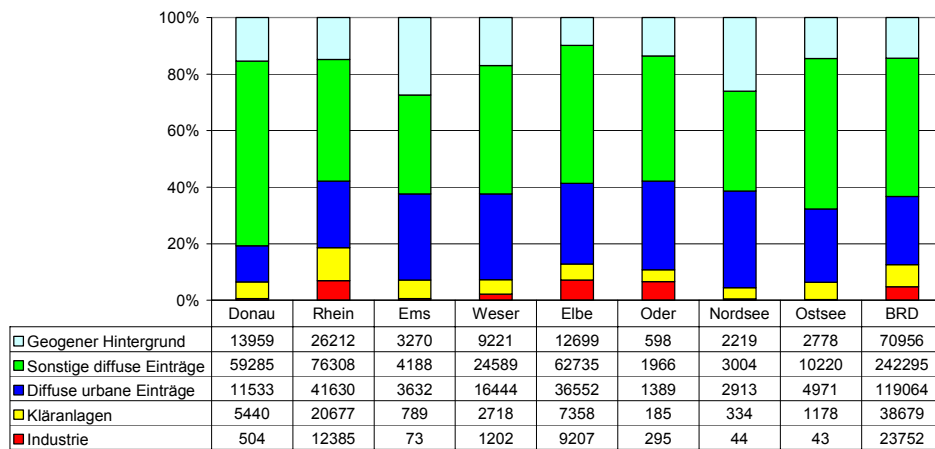


Abbildung 5.1-6.b: Diffuse Einträge aus urbanen Gebieten für Blei [kg/a]

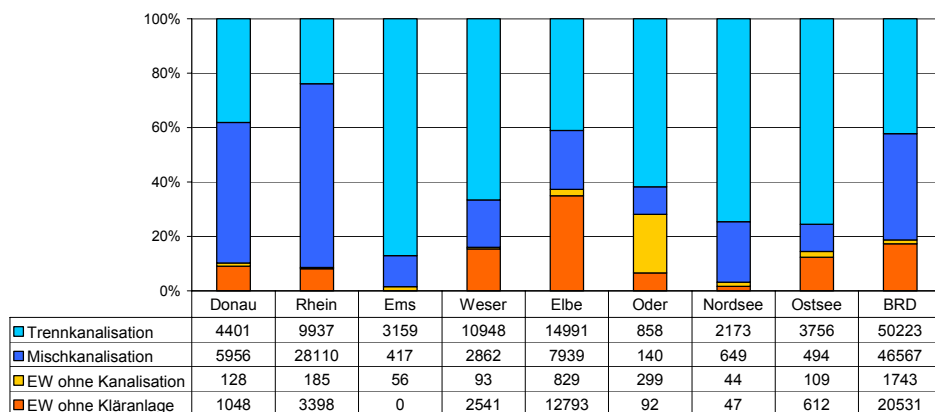


Abbildung 5.1-6.c: Sonstige diffuse Einträge für Blei [kg/a]

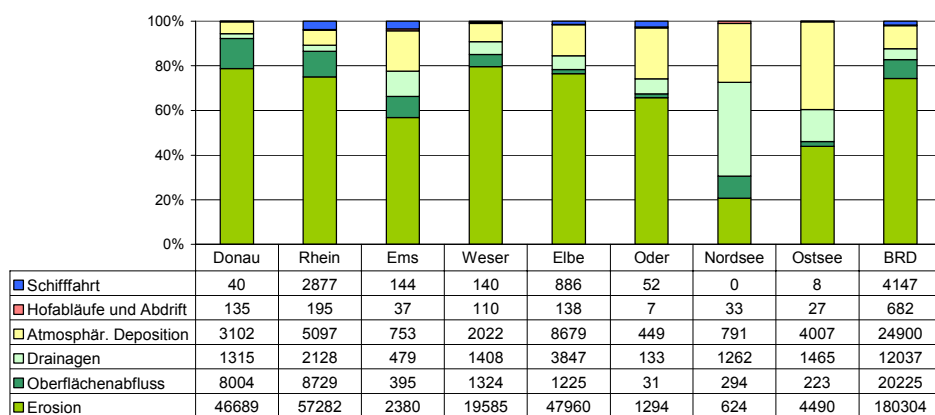


Abbildung 5.1-7.a: Gesamtdarstellung der Einträge für Zink [kg/a]

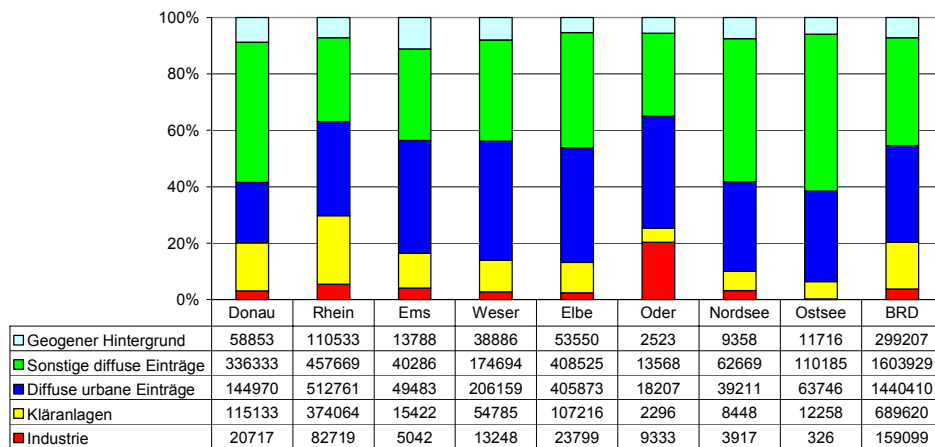


Abbildung 5.1-7.b: Diffuse Einträge aus urbanen Gebieten für Zink [kg/a]

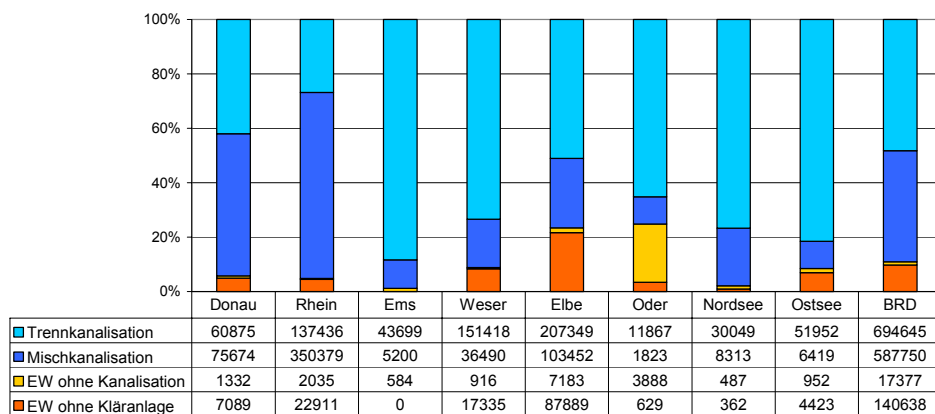
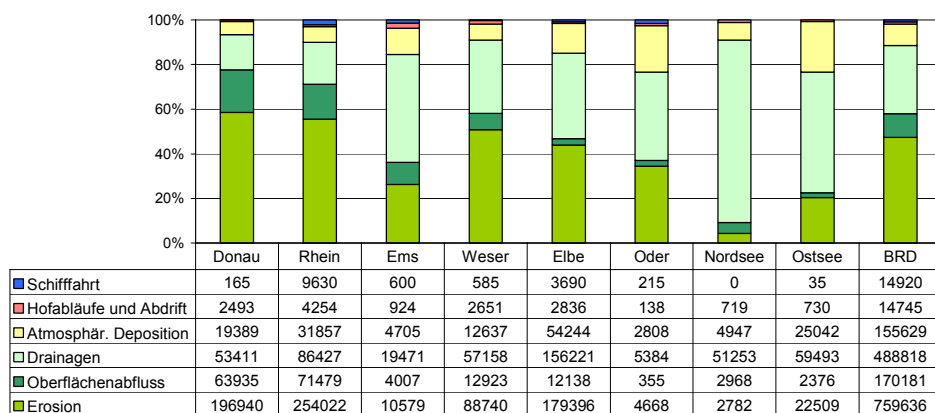


Abbildung 5.1-7.c: Sonstige diffuse Einträge für Zink [kg/a]



5.2.1 Vergleich der Einträge aus kommunalen Kläranlagen mit anderen Abschätzungen für das deutsche Rheineinzugsgebiet

In Tabelle 5.2-1 sind die im Rahmen dieses Vorhabens berechneten Einträge für kommunale Kläranlagen im Vergleich zu Abschätzungen der IKSР (1999) und Vink (2000) aufgelistet.

Tabelle 5.2-1: Berechnete Schwermetallfrachten von kommunalen Kläranlagen für den Rhein im Vergleich zu anderen Abschätzungen

Frachten in kg/a	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Eigene Berechnung	1.707	28.822	72.862	1.571	53.209	20.677	374.064
Vink (2000)	975	-	75.816	446	-	36.241	314.168
IKSR (1999)	395	8.011	35.975	202	11.826	27.248	349.378

Für jede Abschätzung wurde ein unterschiedliches Berechnungsverfahren resp. verschiedene Eingangsdaten verwendet.

Die IKSР (1999) bilanzierte die Einträge anhand von einwohnerspezifischen Emissionsfaktoren, die aus einer Expertenbefragung resultierten und für alle Metalle, mit Ausnahme von Blei, niedriger liegen als die Emissionsfaktoren, die auf Grund der im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Recherche ermittelt wurden.

Vink (2000) berechnete die Schwermetalleinträge für kommunale Kläranlagen mit MONERIS, ebenfalls auf Basis von einwohnerspezifischen Emissionsfaktoren. Als Eingangsdaten verwendete sie Einwohnerfrachten, die um die Reinigungsleistung in Kläranlagen zu reduzieren sind. Für die Schwermetalle wurde eine dem Wirkungsgrad für Phosphor entsprechende Frachtminderung angenommen.

Sowohl die IKSР (1999) als auch Vink (2000) geben Abschätzungen für eine Reduzierung der Schwermetalleinträge aus kommunalen Kläranlagen auf Grund einer verbesserten Reinigungsleistung der Anlagen und durch die Abnahme der Schwermetallemissionen aus Haushalten und Indirekteinleitern an. Vink (2000) berechnete eine Reduzierung der Einträge von 40-70 % durch Vergleich der beiden Zeiträume 1983-1987 und 1993-1997. Die von der IKSР angegebene Reduzierung der Einträge von kommunalen Kläranlagen für Deutschland von 1985 bis 1996 wird als wesentlich höher angenommen und schwankt für die einzelnen Metalle zwischen 70 % (Quecksilber) und 96 % (Chrom).

5.3 Schwermetalleinträge von industriellen Direkteinleitern

Die Darstellung der Emissionen an Arsen, Cadmium, Chrom, Kupfer, Quecksilber, Nickel, Blei und Zink erfolgt i. d. R. jeweils in einer Tabelle mit den 10 größten Einleitern und zwei Karten der Flussgebiete. Die Emissionen in den deutschen Anteil des Einzugsgebietes der Maas wurden dem Rhein zugeschlagen, die Emissionen in die IJssel der Nordsee.

Wenn möglich, wurden die Namen der zehn größten Emittenten für 1997 in einer Tabelle veröffentlicht. Diese Listen können raschen Änderungen unterliegen, in Einzelfällen wurden Anmerkungen zu veränderten Emissionsbedingungen gemacht. Wenn kein Name angegeben ist, war der Emittent in keiner Veröffentlichung, beispielsweise internationalen Berichtspflichten, genannt und die jeweilige Firma nicht mit einer Veröffentlichung einverstanden (gekennzeichnet mit N.N.).

In der ersten Karte werden die industriellen Direkteinleitungen nach den wichtigsten Herkunftsbereichen in den Flussgebieten dargestellt. Zum Vergleich können die Emissionswerte der zehn größten Einleiter, die Gesamtemission aller industriellen Direkteinleiter Deutschlands und die Gesamtemissionen der relevanten Branchen herangezogen werden. In der Karte sind die Standorte der zehn größten Direkteinleiter durch Dreiecke markiert und die Emission durch einen Balken in der Farbe des jeweiligen Anhanges dargestellt. In einer zweiten Karte werden die Einträge aus kommunalen Kläranlagen, industriellen Direkteinleitungen und diffusen Eintragspfaden dargestellt.

Bei den untersuchten Schwermetallen wurden für die industriellen Direkteinleitungen als Grunddaten vor allem die Daten der Bundesländer genutzt. Für Arsen lagen aber nur in einigen Bundesländern Daten aus der Überwachung vor, weshalb die Darstellung unvollständig ist. Aus diesem Grund war es nicht sinnvoll, in die Liste der wichtigsten Direkteinleiter mehr als sechs Betriebe aufzunehmen. Arsen wird auch in kommunalen Kläranlagen kaum gemessen, ebenso wenig gibt es Angaben zu diffusen Emissionen.

Von den Schwermetallen (ohne Arsen) werden im Durchschnitt etwa 39 % im Flussgebiet des Rheins emittiert (ohne Arsen, bei Quecksilber 45 % und Nickel ca. 43 %). Danach folgt die Elbe mit durchschnittlich 24 % (Kupfer 28 %), die Donau mit durchschnittlich 17 % und die Weser mit 11 %. In das Gebiet der Ostsee gelangen 4 % der Schwermetallfrachten, danach folgen Ems (3%), Nordsee (2 %) und Oder (ca. 1 %).

Einige der größten industriellen Direkteinleitungen von Schwermetallen liegen am Rhein und der Elbe, so dass sie in den Flussgebietsberichten der IKS und IKSE genannt sind. Um den Behörden und Firmen Rückfragen zu ersparen, wurde auf

diese Daten zurückgegriffen, bei starken Abweichungen der Werte wurde diesen nachgegangen.

Der Anteil der industriellen Direkteinleiter an den Gesamtemissionen der Schwermetalle lag 1997 bei ca. 3 – 6 %. Hauptquelle der direkten industriellen Einleitungen ist die chemische Industrie (Anhang 22), die im Durchschnitt über alle Schwermetalle 40 % der Fracht emittiert. Beim Cadmium dominiert der Anhang 39 (Nichteisenmetalle) auf Grund einer hohen Emission aus einem Altstandort des Kupferbergbaus die industriellen Direkteinleitungen. Dieser Standort findet sich auch in den hohen Anteilen des Anhangs 39 an den Kupfer- und Bleimissionen wieder. Weitere wichtige Branchen für Cadmiumemissionen sind die Chemische Industrie (Anhang 22), die Sodaerzeugung (Anhang 30) und die Papiererzeugung (Anhang 19). Die industriellen Chromeinleitungen kommen hauptsächlich aus Betrieben nach Anhang 22 (Chemische Industrie), geringere Bedeutung hat die Eisenschaffende Industrie (Anhang 24) und die Sodaerzeugung. Weit weniger bedeutend als die Chemische Industrie ist für Quecksilber der Anhang 47 (Rauchgaswäsche), sowie die Papiererzeugung (Anhang 19) und die Sodaerzeugung (Anhang 30). Wichtige Nickel-Emittenten sind, neben der chemischen Industrie, die Papierindustrie, die Eisenschaffende Industrie und die Metallbe- und verarbeitung (Anhang 40). Bei den Bleimissionen dominiert die Nichteisenmetallerzeugung (Anhang 39) auf Grund des oben genannten Betriebes, es folgt die Sodaerzeugung (Anhang 30) und dann erst die Chemische Industrie. Die erhobenen Zinkemissionen stammen vor allem aus der Chemischen Industrie (Anhang 22), der Chemiefaserproduktion (Anhang 43) und der Eisenschaffenden Industrie.

Tabelle 5.3-1: Liste der sechs größten industriellen Direkteinleiter für Arsen in Deutschland für das Bezugsjahr 1997

Firmenname	Ort	Anhang nach § 7a	Flussge- biet	Fracht [kg/a]	Bemerkung
Solvay Alkali GmbH	Rheinberg	22	Rhein	810	IKSR, 1998
WISMUT GmbH, Sanierungsbergbau	Ronneburg		Elbe	230	Direkteinleiter Sachsen 1998
Bayer AG	Leverkusen	22	Rhein	216	IKSR, 1998
Bayer AG	Dormagen	22	Rhein	113	IKSR, 1998
Fa. Intrasev GmbH und Co. Höchst KG	Frankfurt	22	Rhein	77	Direkteinleiter Hessen 1997
Entwässg. Altstandort Kupferschieferbergbau	Mansfeld	39	Elbe	73	Direkteinleiter Sachsen-Anhalt 1997

Abbildung 5.3-1: Übersicht über die Arsen-Emissionen industrieller Direktleiter

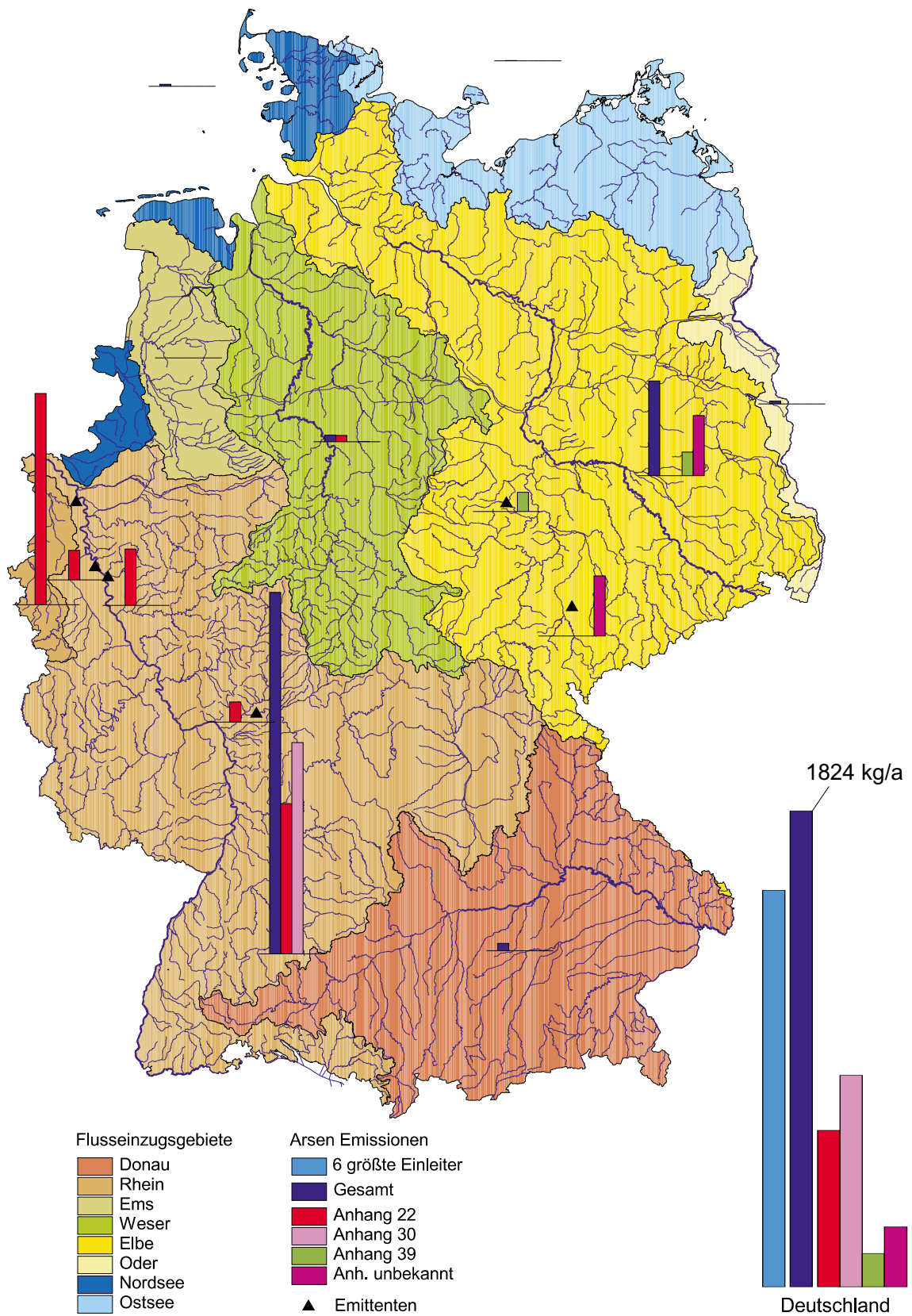


Abbildung 5.3-2: Übersicht über die Cadmium-Emissionen industrieller Direkt-einleiter

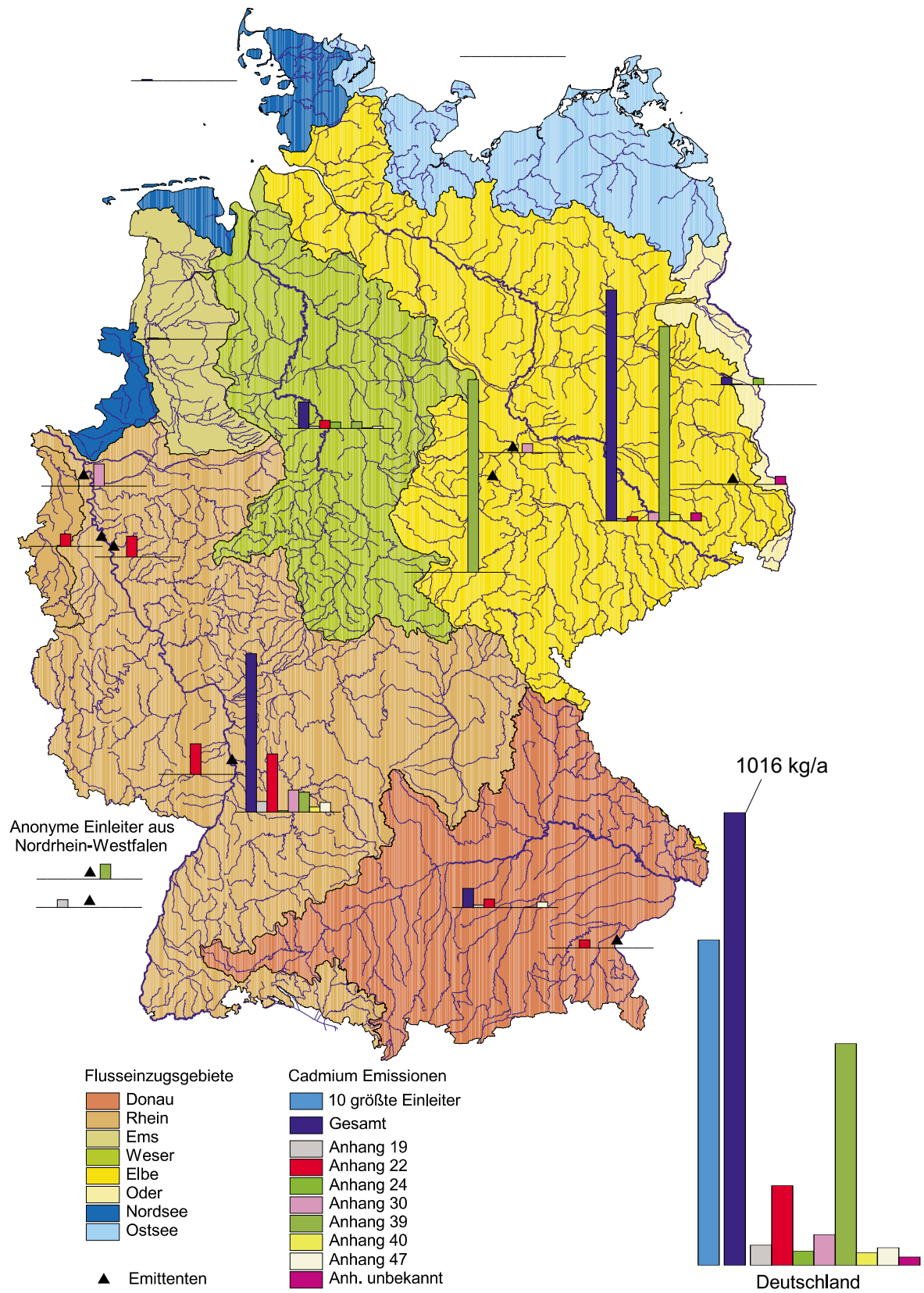


Abbildung 5.3-3: Übersicht über die Cadmium-Einträge in deutsche Gewässer

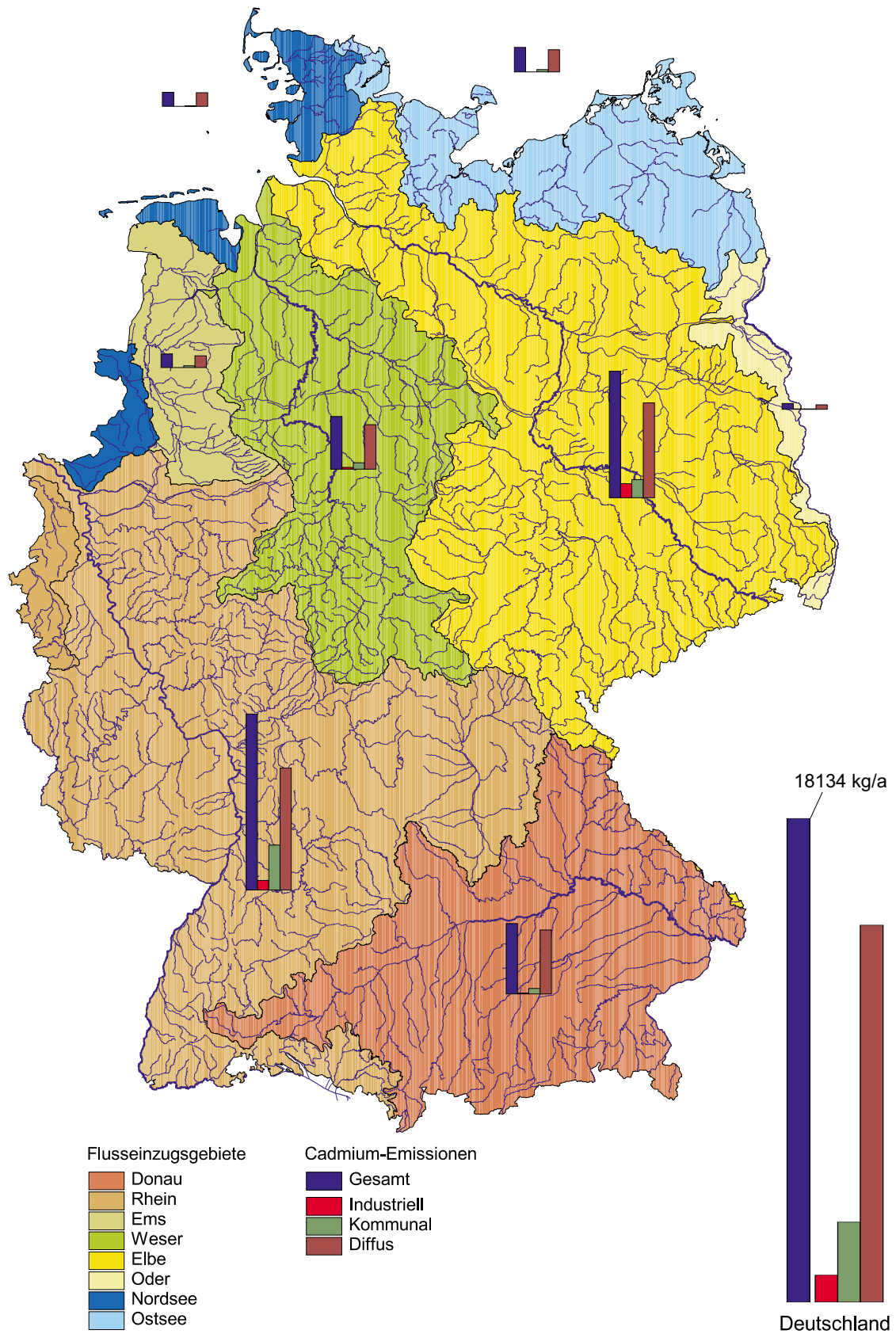


Tabelle 5.3-2: Liste der zehn größten industriellen Direkteinleiter für Cadmium in Deutschland für das Bezugsjahr 1997

Firmenname	Ort	Anhang nach § 7a	Flussge- biet	Fracht [kg/a]	Bemerkung
Entwässerung. Altstandort Kup- ferschieferberg- bau	Mansfeld	39	Elbe	441	Direkteinleiter Sachsen-Anhalt 1997
BASF AG	Ludwigs- hafen	22	Rhein	70	IKSR 1998
Solvay Alkali GmbH	Rheinberg	30	Rhein	50	Umwelterklärung
Bayer AG	Leverku- sen	22	Rhein	48	IKSR, 1998
		39	Rhein	34	N.N.
Bayer AG	Dormagen	22	Rhein	27	Umwelterklärung 1998
Solvay	Bernburg	30	Elbe	20	IKSE, 1999
SVZ	Schwarze Pumpe		Elbe	19	Direkteinleiter Sachsen 1997
Wacker-Chemie	Burghau- sen	22	Donau	18	Umweltbericht 1997/98
		19	Rhein	17	N.N. ¹⁹

Tabelle 5.3-3: Liste der zehn größten Direkteinleiter für Chrom in Deutschland für das Bezugsjahr 1997

Firmenname	Ort	Anhang nach § 7a	Flussge- biet	Fracht [kg/a]	Bemerkung
Kronos-Titan	Norden- ham	48	Nordsee	3.021	Umweltbericht
Sachtleben, Duisburg	Duisburg	48	Rhein	2.670	IKSR, 1998
BASF AG	Ludwigs- hafen	22	Rhein	2.300	IKSR, 1998
Bayer AG	Leverku- sen	22	Rhein	2.189	IKSR, 1998
Bayer AG	Krefeld	48	Rhein	2.100	Direkteinleiter NRW 1997
Wacker-Chemie	Burghau- sen	22	Donau	846	Umweltbericht 1997/98
Ciba, Grenzach GmbH	Grenzach- Wyhlen	22	Rhein	583	Umweltbericht
Solvay	Bernburg	30	Elbe	500	IKSE, 1999
Solvay	Rheinberg	30	Rhein	500	Umwelterklärung
Stahlwerke Bremen	Bremen	24A	Weser	498	Direkteinleiter Bremen 1997

¹⁹ Die Cd Konzentrationen im Abwasser dieser Papierfabrik liegen nahe der Bestimmungsgrenze. Von anderen Einleitern nach Anhang 19 wurden, bei höheren Bestimmungsgrenzen, nur Messwerte kleiner Bestimmungsgrenze angegeben. Frachten konnten in diesen Fällen nicht berechnet werden.

Abbildung 5.3-4: Übersicht über die Chrom-Emissionen industrieller Direktleiter

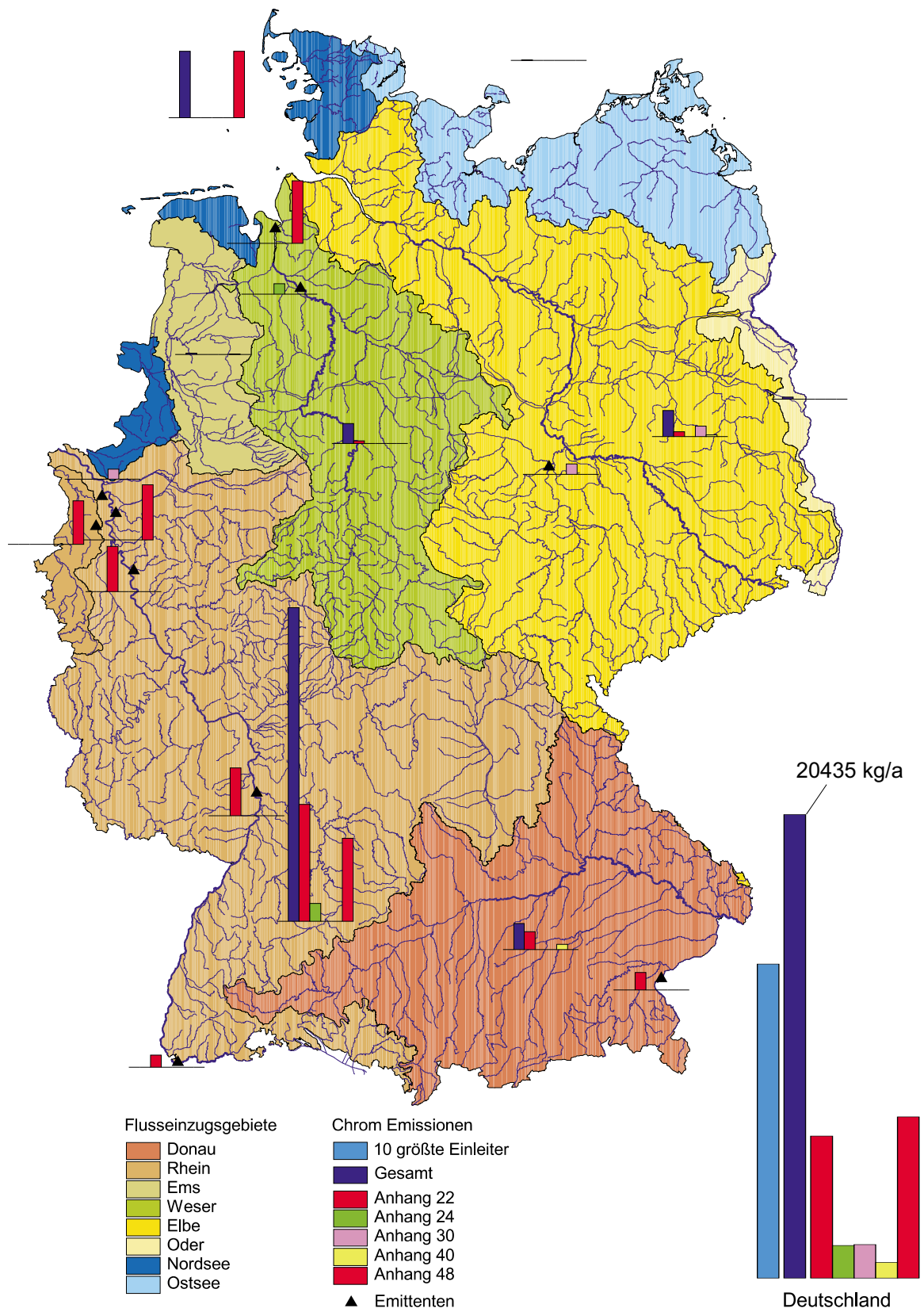


Abbildung 5.3-5: Übersicht über die Chrom-Einträge in deutsche Gewässer

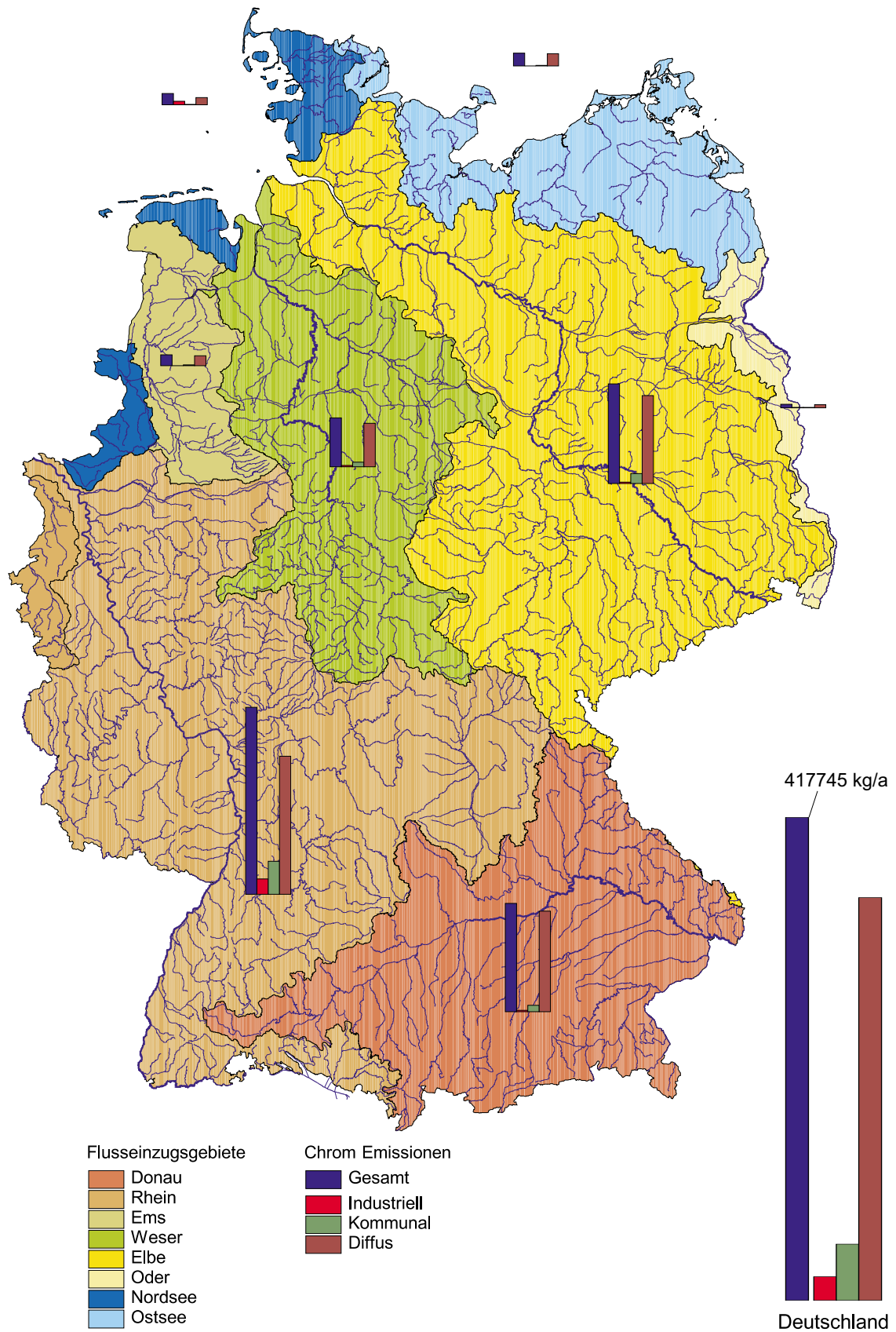


Abbildung 5.3-6: Übersicht über die Kupfer-Emissionen industrieller Direktleiter

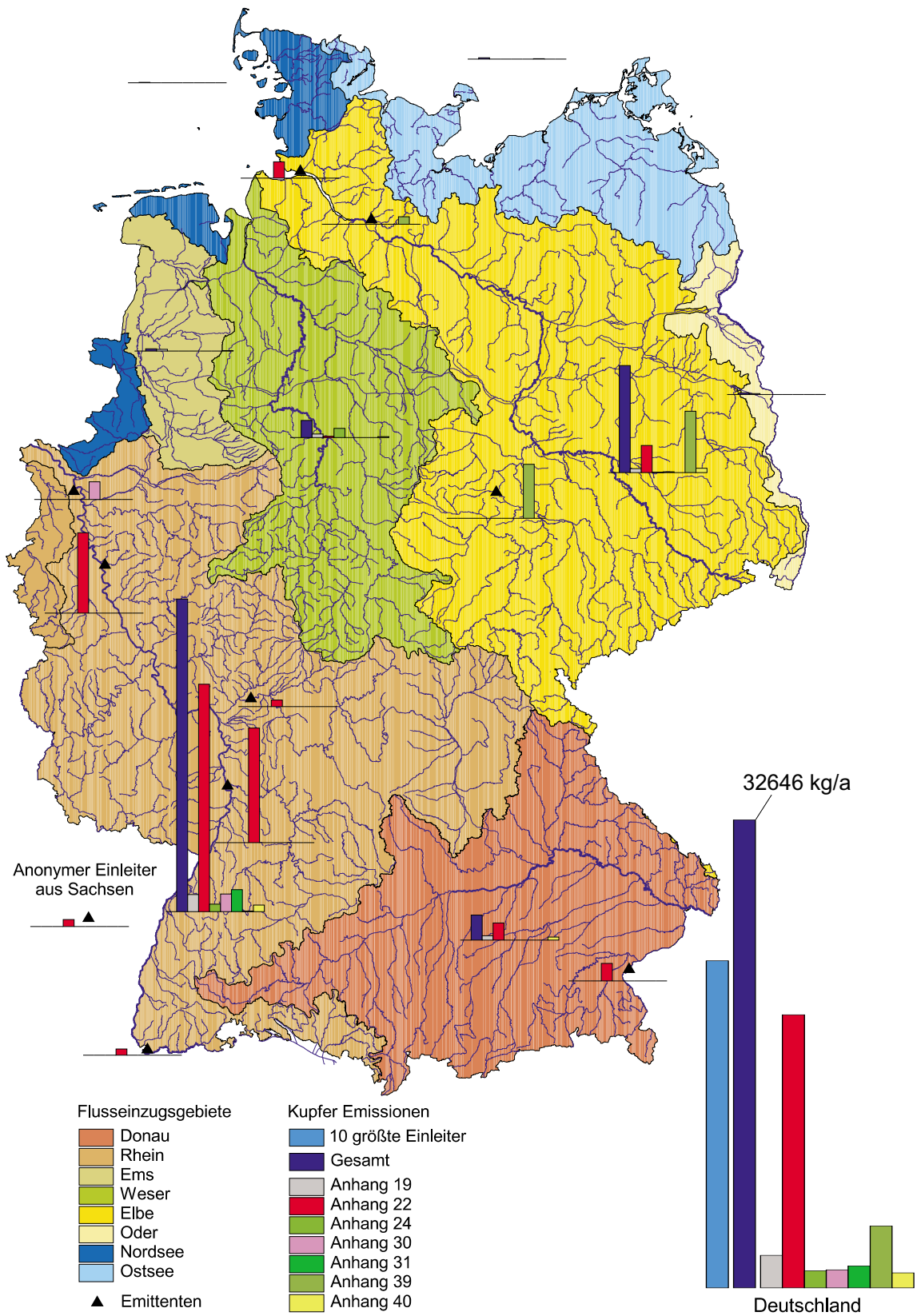


Abbildung 5.3-7: Übersicht über die Kupfer-Einträge in deutsche Gewässer

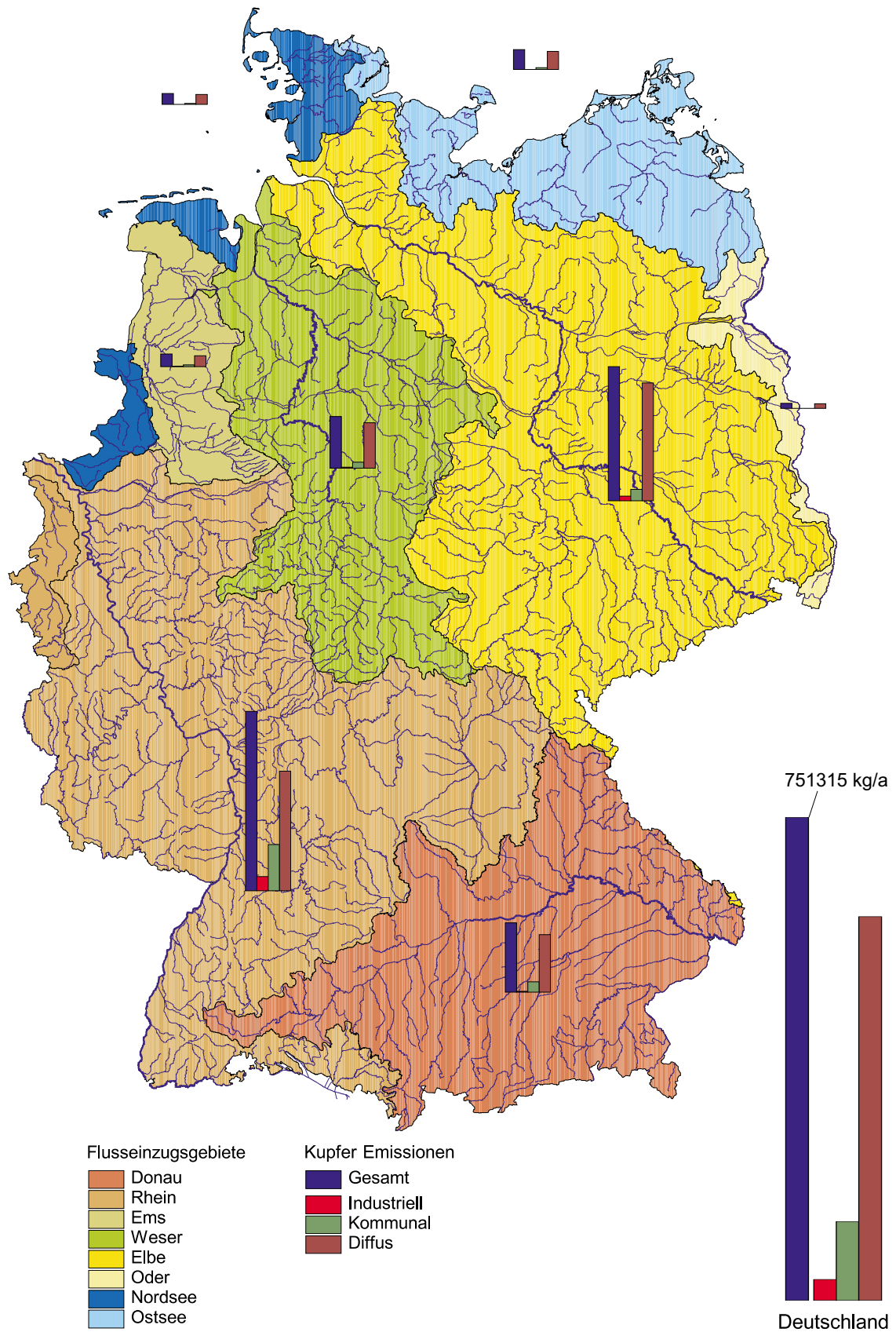


Tabelle 5.3-4: Liste der zehn größten industriellen Direkteinleiter für Kupfer in Deutschland für das Bezugsjahr 1997

Firmenname	Ort	Anhang nach § 7a	Fluss- gebiet	Fracht [kg/a]	Bemerkung
BASF AG	Ludwigsha- fen	22	Rhein	8.000	IKSR, 1998
Bayer AG	Leverkusen	22	Rhein	5.610	IKSR, 1998
Entwässerung. Alt- standort Kupferschie- ferbergbau	Mansfeld	39	Elbe	3.764	Direkteinleiter Sachsen-Anhalt 1997
Solvay	Rheinberg	30	Rhein	1.210	Umwelterklärung
Wacker –Chemie	Burghausen	22	Donau	1.200	Umweltbericht 1997/98
Bayer AG	Brunsbüttel	22	Elbe	1.110	Direkteinleiter Schleswig-Holstein 1997
Nordeutsche Affine- rie	Hamburg	39	Elbe	523	Direkteinleiter Hamburg; einzige Primärkup- ferhütte in D mit Produktion von 435.000 t in 1999
		22	Elbe	506	N.N.
Fa. Intraserv GmbH und Co. Höchst KG	Frankfurt	22	Rhein	460	Umweltbericht
Ciba Spezialitäten- chemie GmbH	Grenzach	22	Rhein	435	Umweltbericht

Tabelle 5.3-5: Liste der zehn größten industriellen Direkteinleiter für Queck-
silber in Deutschland für das Bezugsjahr 1997

Firmenname	Ort	Anhang nach § 7a	Fluss- gebiet	Fracht [kg/a]	Bemerkung
SOW Leuna Olefin- verbund	Schkopau	22	Elbe	44,3	IKSE, 1999
BASF AG	Ludwigsha- fen	22	Rhein	29,0	IKSR, 1998
Bayer AG	Leverkusen	22	Rhein	26,0	IKSR, 1998
Hüls, Marl	Marl	22	Rhein	15,0	IKSR, 1998
Solvay	Rheinberg	30	Rhein	10,0	Umweltbericht
Laubag Schwarze Pumpe	Schwarze Pumpe		Elbe	9,0	IKSE, 1999
Hüls AG	Troisdorf	22	Rhein	8,0	IKSR, 1998
Bayer AG	Dormagen	22	Rhein	7,7	Umweltbericht 1998
Bayer AG	Krefeld	48	Rhein	7,0	Direkteinleiter NRW 1997
		48	Rhein	6,8	N.N.

Abbildung 5.3-8: Übersicht über die Quecksilber-Emissionen industrieller Direkt-einleiter

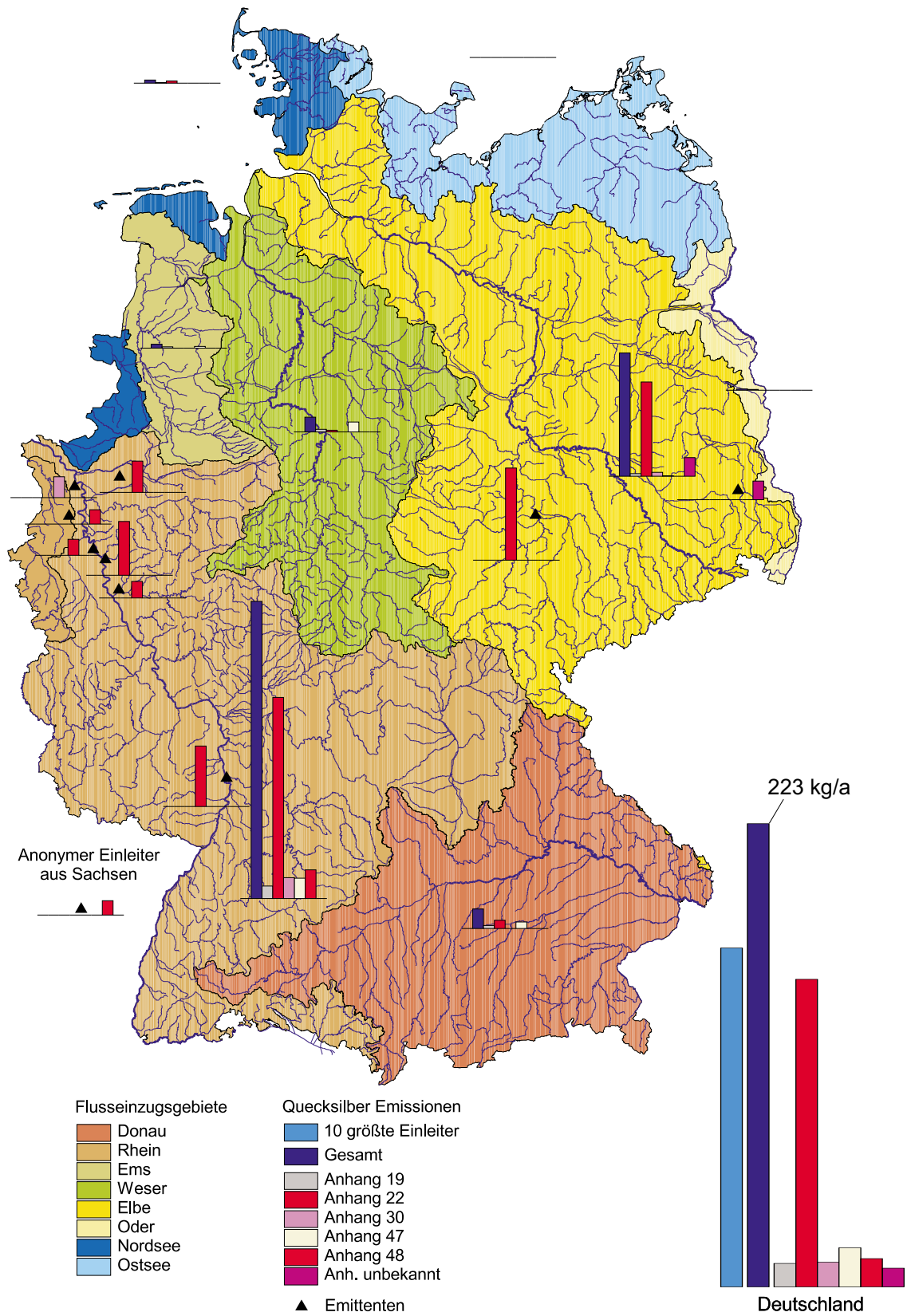


Abbildung 5.3-9: Übersicht über die Quecksilber-Einträge in deutsche Gewässer

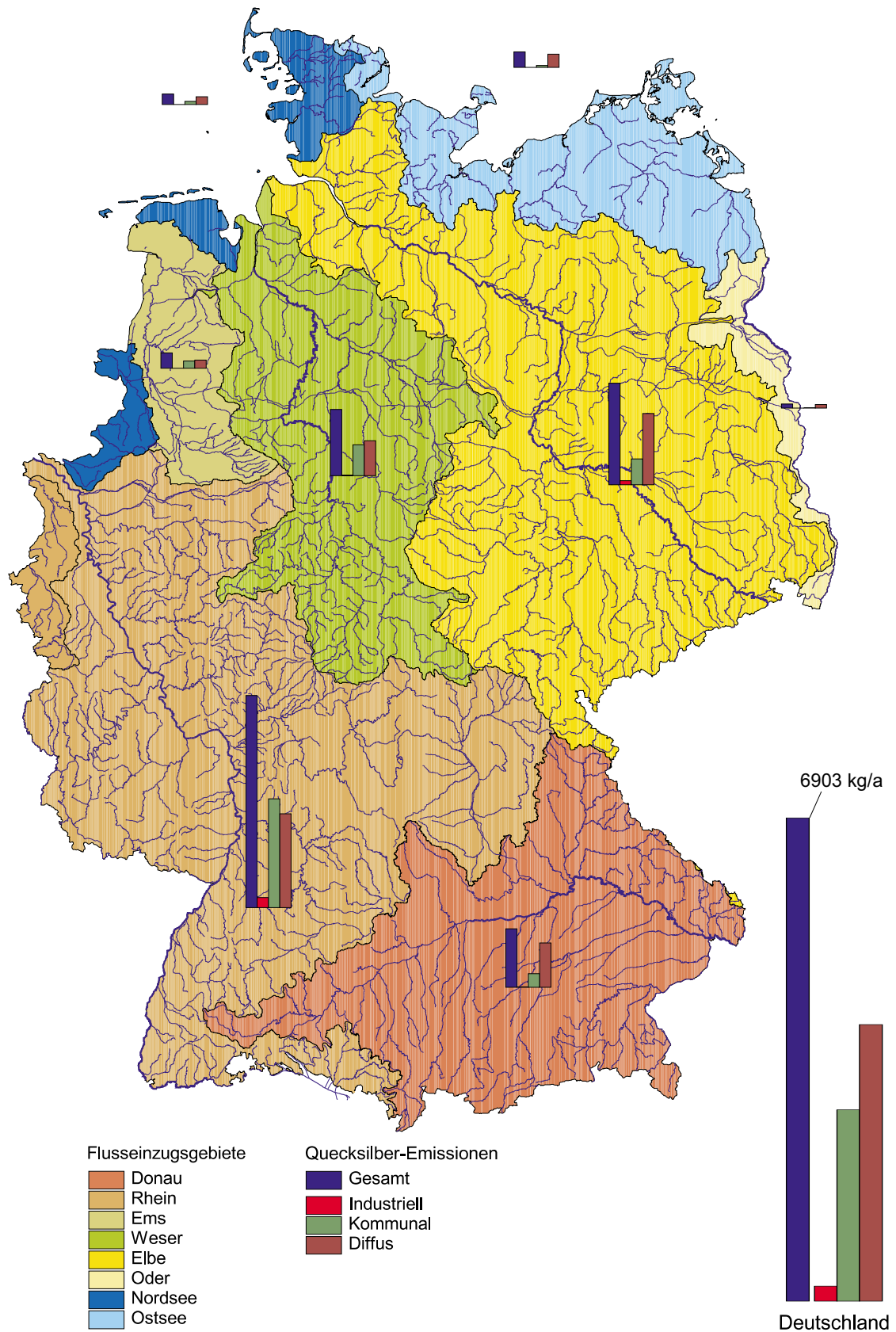


Abbildung 5.3-10: Übersicht über die Nickel-Emissionen industrieller Direktleiter

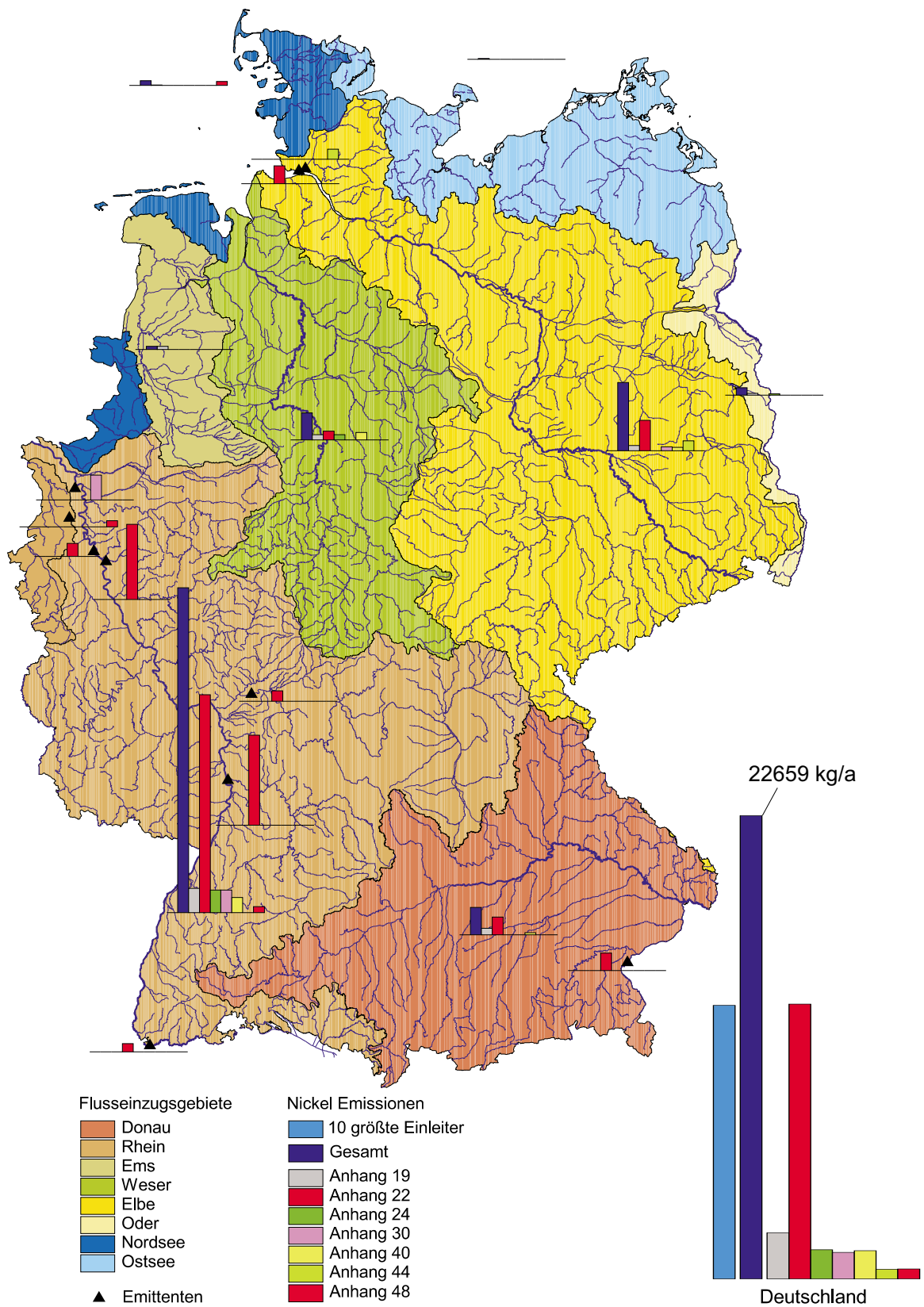


Abbildung 5.3-11: Übersicht über die Nickel-Einträge in deutsche Gewässer

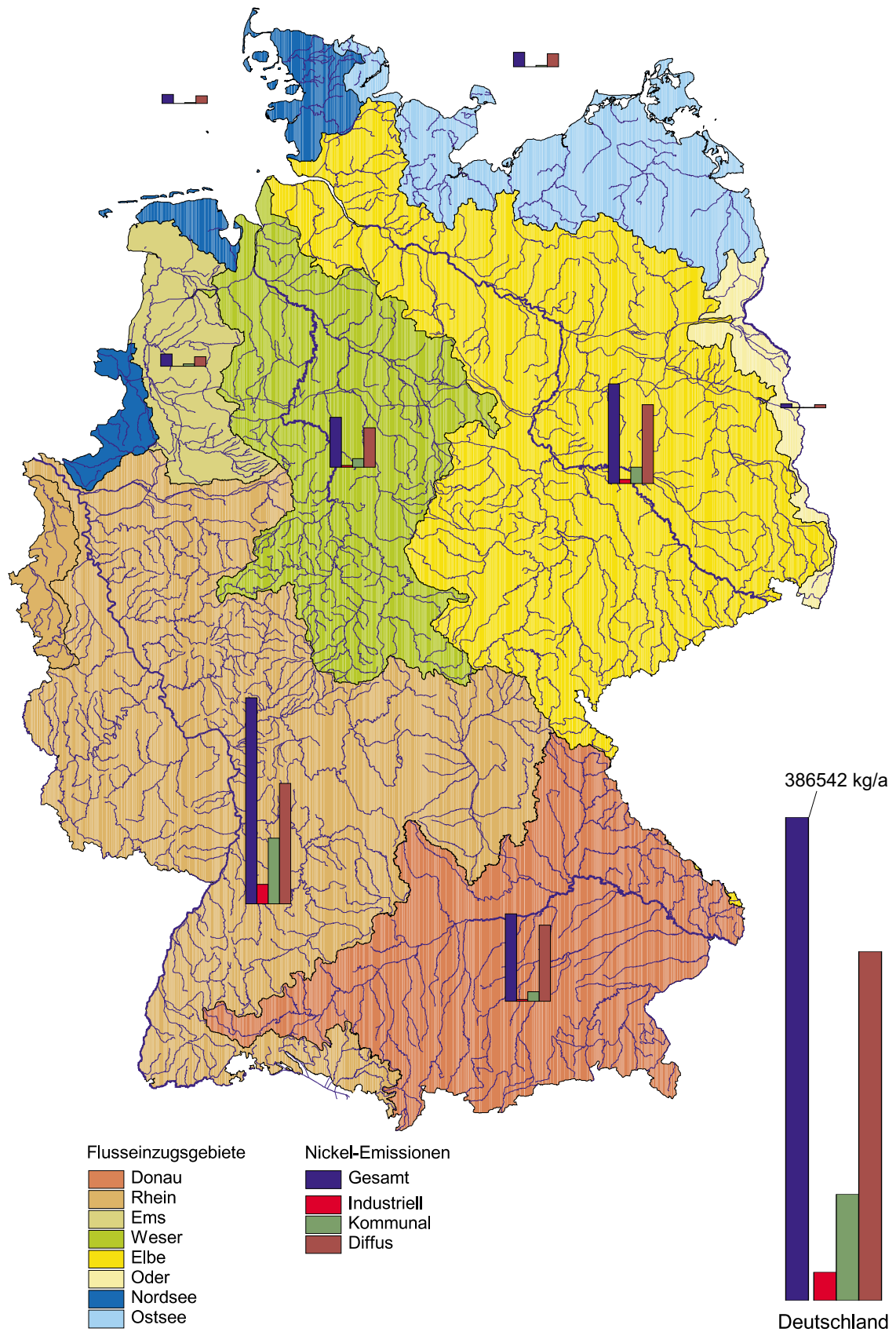


Tabelle 5.3-6: Liste der zehn größten industriellen Direkteinleiter für Nickel in Deutschland für das Bezugsjahr 1997

Firmenname	Ort	Anhang nach § 7a	Fluss- gebiet	Fracht [kg/a]	Bemerkung
BASF AG	Ludwigshafen	22	Rhein	4.400	IKSR, 1998
Bayer AG	Leverkusen	22	Rhein	3.693	IKSR, 1998
Solvay	Rheinberg	30	Rhein	1.210	Umwelterklärung Solvay 1997
Bayer AG	Brunsbüttel	22	Elbe	870	Direkteinleiter SH 1997, Unternehmen
Wacker –Chemie	Burghausen	22	Donau	858	Umweltbericht 1997/98
Bayer AG	Dormagen	22	Rhein	639	Umweltbericht 1998
Fa. Intrasev GmbH und Co. Höchst KG	Frankfurt	22	Rhein	520	Umwelterklärung 1998
Hydro Agri	Brunsbüttel	44	Elbe	488	Direkteinleiter SH 1997; durch verbesserte Rückgewinnung ab 1999 weitere Reduzierung der Ni-Fracht
Hoffmann- LaRoche	Grenzach- Whylen	22	Rhein	405	Direkteinleiter Baden-Württemberg 1997
Bayer AG	Krefeld	48	Rhein	300	Direkteinleiter NRW 1997

Tabelle 5.3-7: Liste der zehn größten industriellen Direkteinleiter für Blei in Deutschland für das Bezugsjahr 1997

Firmenname	Ort	Anhang nach § 7a	Flussge- biet	Frach- t [kg/a]	Bemerkung
Entwässerung. Altstandort Kup- ferschieferberg- bau	Mansfeld	39	Elbe	7.699	Direkteinleiter Sachsen-Anhalt 1997
Matthes + We- ber	Duisburg	30	Rhein	4.000	IKSR, 1998; Sodaproduktion seit 14.1.2000 eingestellt
Solvay	Rheinberg	30	Rhein	3.810	IKSR, 1998
Degussa	Wesseling	22	Rhein	1.100	IKSR, 1998
Stahlwerke Bremen	Bremen	24	Weser	603	Direkteinleiter Bremen 1997
BASF AG	Ludwigshafen	22	Rhein	550	IKSR, 1998
Bayer AG	Krefeld	48	Rhein	500	Direkteinleiter NRW 1997
Solvay	Bernburg	30	Elbe	500	IKSE, 1999
		39	Rhein	371	N.N.
EKO Stahl GmbH	Eisenhütten- stadt	24	Oder	219	Gluschke, 1999

Abbildung 5.3-12: Übersicht über die Blei-Emissionen industrieller Direkteinleiter

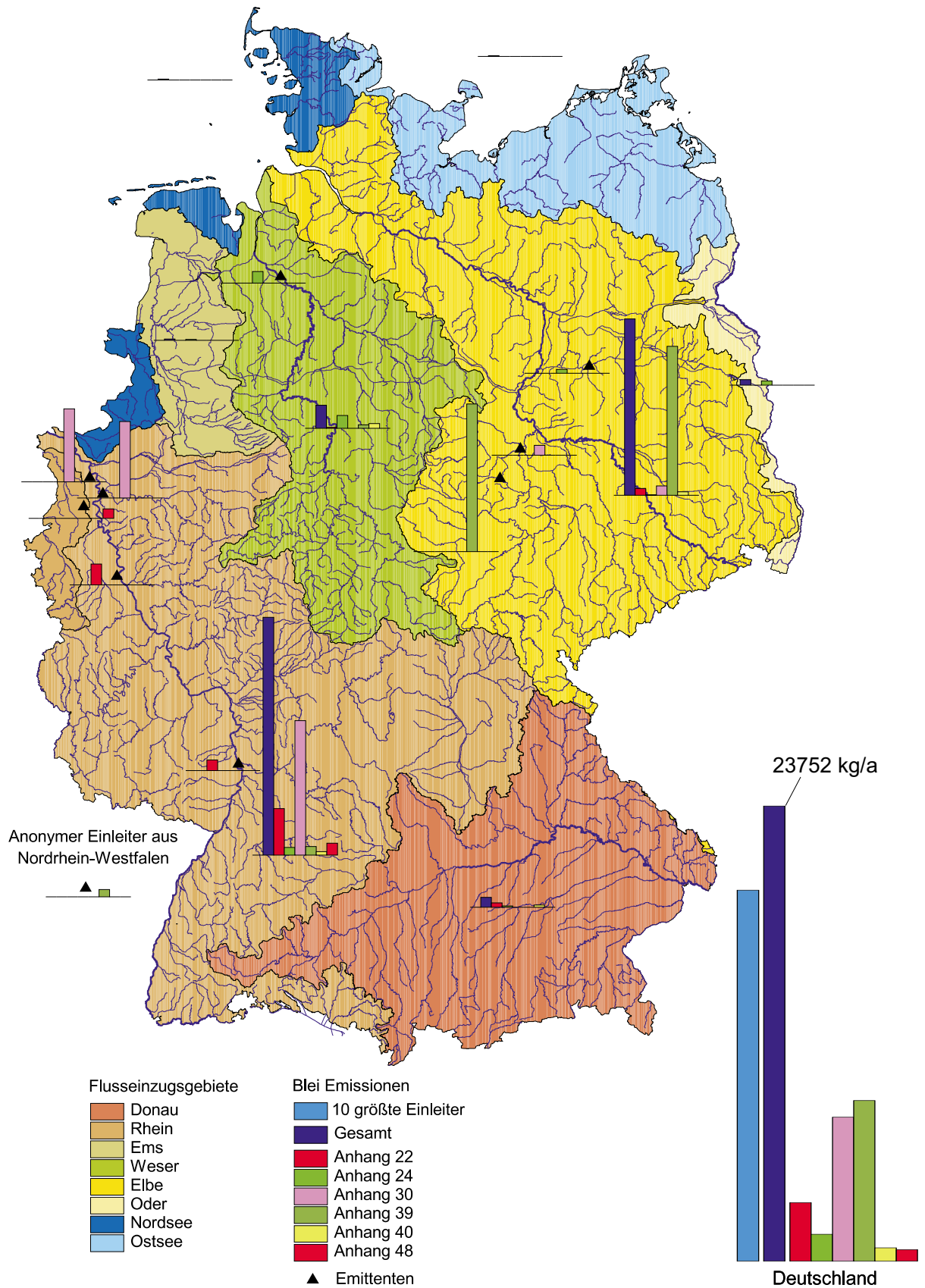


Abbildung 5.3-13: Übersicht über die Blei-Einträge in deutsche Gewässer

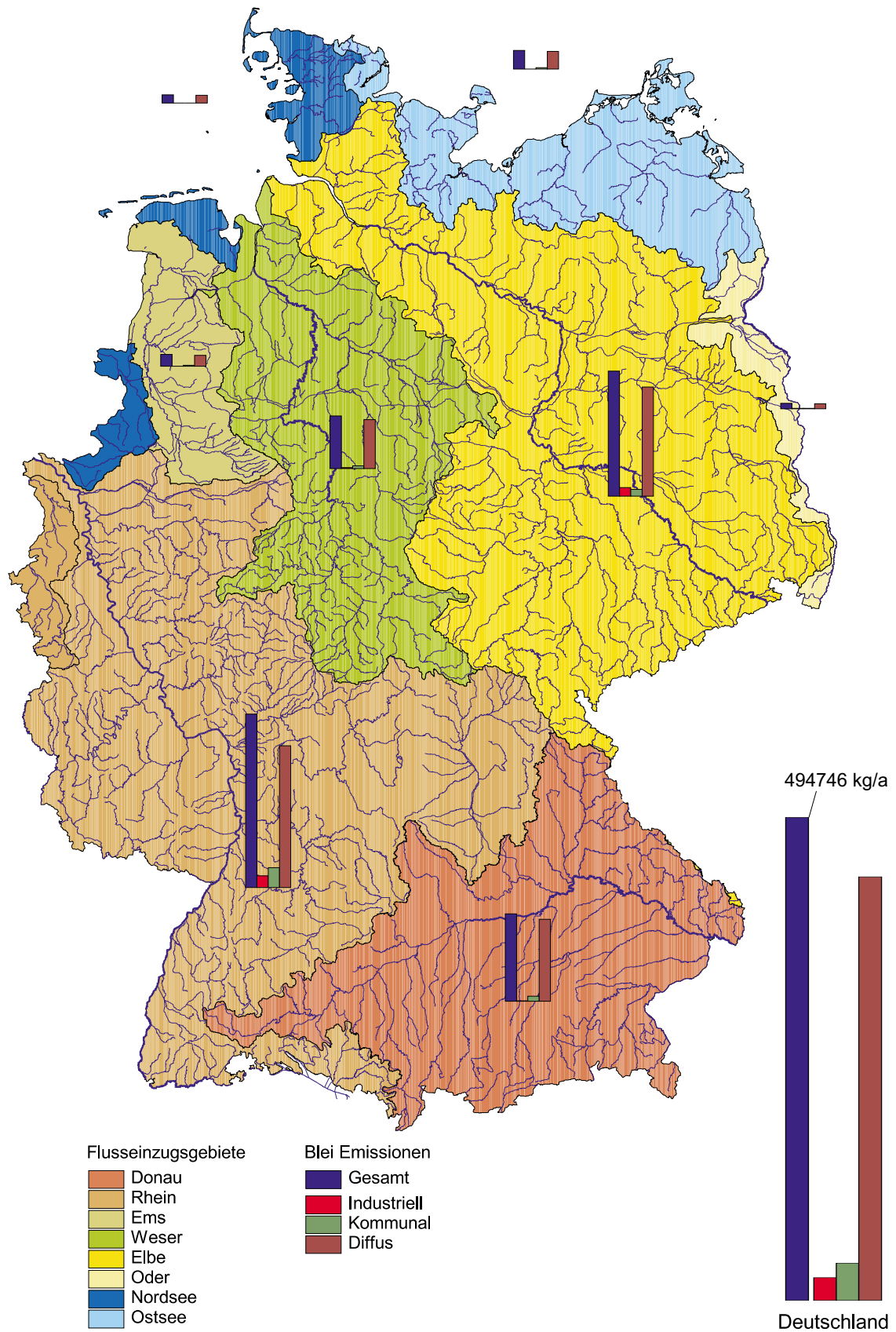


Tabelle 5.3-8: Liste der zehn größten industriellen Direkteinleiter für Zink in Deutschland für das Bezugsjahr 1997

Firmenname	Ort	Anhang nach § 7a	Fluss- gebiet	Fracht [kg/a]	Bemerkung
BASF AG	Ludwigshafen	22	Rhein	28.800	IKSR, 1998
Akzo Nobel Faser Elsterberg GmbH	Elsterberg	43	Elbe	15.000	IKSE, 1999; ab 1999 Indirekteinleiter
Acordis	Kelheim	43	Donau	14.100	Durch innerbetriebliche Optimierung derzeit ca. 10t
EKO Stahl GmbH	Eisenhütten- stadt	24	Oder	9.150	Gluschke, 1999
Bayer AG	Leverkusen	22	Rhein	8.258	IKSR, 1998
Solvay	Rheinberg	30	Rhein	7.900	Umwelterklärung
Salzgitter AG	Salzgitter	24	Weser	5.510	Direkteinleiter NDS, Wert für 1999/2000 auf die Hälfte reduziert
		48	Rhein	5.277	N.N.
Wacker-Chemie	Burghausen	22	Donau	4.268	Umweltbericht 1997/98
Akzo Nobel	Heinsberg	43	Rhein	3.842	Direkteinleiter NRW 1997

Abbildung 5.3-14: Übersicht über die Zink-Emissionen industrieller Direktleiter

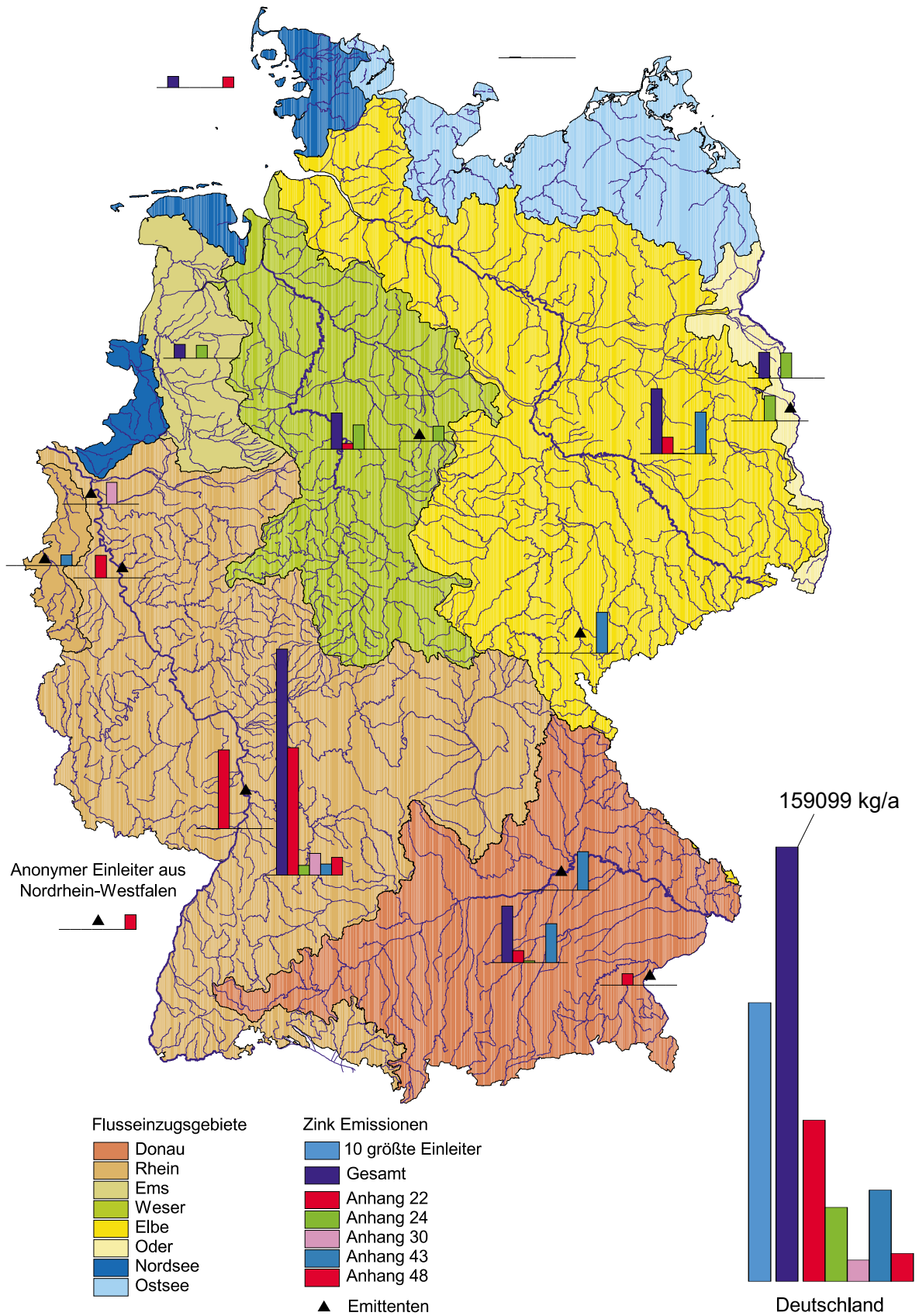
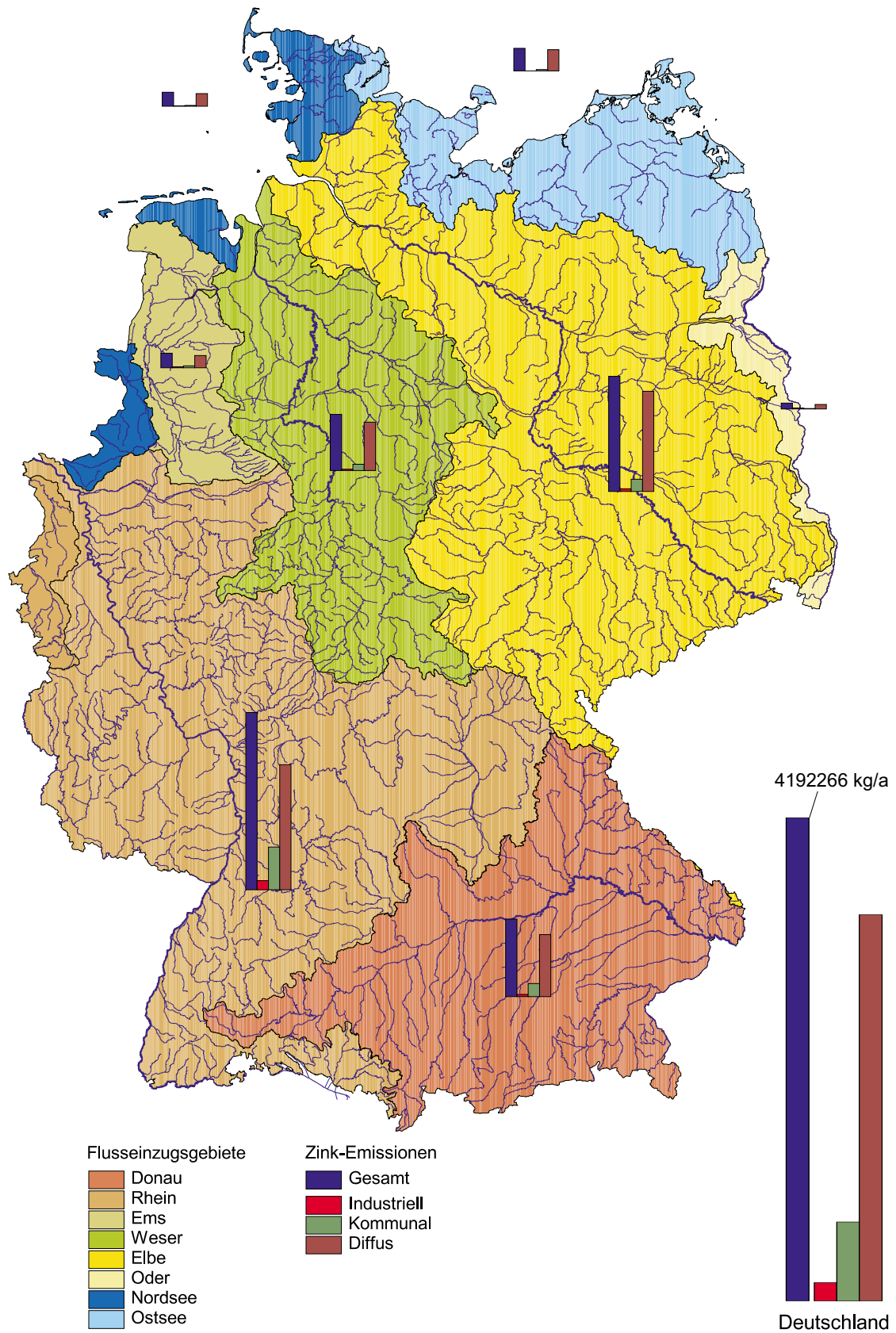


Abbildung 5.3-15: Übersicht über die Zink-Einträge in deutsche Gewässer



5.4 Schwermetalleinträge aus diffusen Quellen

Bei Betrachtung der Ergebnisse zu Schwermetalleinträgen aus diffusen Quellen sei an dieser Stelle noch einmal darauf hingewiesen, dass für die Bilanzierung der Einträge eine Reihe von Annahmen getroffen werden mussten und die Übertragung von Literaturdaten mit Vorbehalten zu sehen ist. Die berechneten Frachten sind daher als erste Abschätzungen aufzufassen, erlauben aber dennoch die Beurteilung der relativen Bedeutung der einzelnen Eintragspfade. Die unterschiedliche Bedeutung der Eintragspfade ist zum einen auf die verschiedenen wasserwirtschaftlichen Gegebenheiten der Flusseinzugsgebiete, zum anderen auf unterschiedliche physikochemische Eigenschaften der Metalle zurückzuführen.

Für die Ergebnisdarstellung wurde zwischen diffusen Einträgen aus urbanen Gebieten (Einträge aus Trennkanalisation, Mischkanalisation sowie Einträge von nur an die Kanalisation angeschlossenen bzw. nicht angeschlossenen Flächen und Haushalten) und sonstigen diffusen Einträgen (Erosion, Oberflächenabfluss, Dränagen, Hofabläufe und atmosphärische Deposition) unterschieden. Die relative Aufteilung der einzelnen Eintragspfade ist den Grafiken 5.1-1.b bis 5.1-7.b (diffuse Einträge aus urbanen Gebieten) bzw. 5.1-1.c bis 5.1-7.c (sonstige diffuse Einträge) zu entnehmen.

Diffuse Einträge aus urbanen Gebieten

Die diffusen Einträge aus urbanen Gebieten liefern einen beträchtlichen Anteil der Gesamtschwermetalleinträge in die Flussgebiete und können bis zu 40 % (z. B. im Flussgebiet der Oder) der Gesamteinträge ausmachen (vgl. Abbildung 5.1-1.a bis 5.1-7.a). Eine besonders hohe Belastung geht dabei von den Entlastungen der Mischsysteme und den Regenwassereinleitungen der Trennsysteme aus (vgl. Abbildung 5.1-1.b bis 5.1-7.b). Als Ursache hierfür ist eine nicht ausreichende Regenwasserbehandlung insbesondere für die überwiegend im Trennsystem entwässerten nördlichen Bundesländer zu nennen.

Die Einträge von nur an die Kanalisation aber nicht an eine Kläranlage angeschlossenen Einwohnern bzw. nicht an eine Kanalisation angeschlossenen Haushalten spielen vor allem in den nordöstlich gelegenen Flussgebieten (insbesondere Elbe und Oder) eine Rolle. Das ist auf den noch vergleichsweise geringen Anschlussgrad in den Neuen Bundesländern zurückzuführen. Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes (1998a) waren 1995 in den Neuen Bundesländern 22,7 % der Bevölkerung nicht an eine Kanalisation angeschlossen und von den 77,2 % mit Anschluss an eine Kanalisation wurden nur die Abwässer von 62,5 % der Bevölkerung einer öffentlichen Abwasserbehandlung unterzogen (vgl. Tabelle 4.6-1).

Sonstige diffuse Einträge

Als bedeutender diffuser Eintragspfad aus nicht urbanen Gebieten ist für alle Metalle die Erosion zu nennen. Die unterschiedliche Bedeutung dieses Eintragspfades in den Flusseinzugsgebieten ist auf die gebietsspezifischen Unterschiede in der Topografie, dem Niederschlagsgeschehen und der Flächennutzung sowie auf die verschiedenen Schwermetallkonzentrationen im Ackeroberboden zurückzuführen. Für die im Norden gelegenen Flusseinzugsgebiete (Ems und Küstengebiete) spielt der Eintrag durch Erosion eine untergeordnete Rolle.

Die Einträge durch Oberflächenabfluss machen sich in Flusseinzugsgebieten besonders bemerkbar, für die auf Grund der hydrologischen und physiografischen Gegebenheiten ein hoher Anteil des Niederschlagswassers direkt zum Abfluss kommt (z.B. Donau und Rhein). Der Anteil der abgeschwemmten Düngemittel von landwirtschaftlichen Flächen ist vernachlässigbar.

Dränagen spielen für die Metalle Cadmium und Zink eine bedeutende Rolle. Dies scheint plausibel, da diese Metalle im Vergleich zu anderen Schwermetallen ein höheres Löslichkeitsverhalten zeigen und von daher ein vermehrter Transport in der gelösten Phase angenommen werden kann (Scheffer/Schachtschabel, 1992).

Die Direkteinträge durch atmosphärische Deposition liefern nur einen kleinen Beitrag im Vergleich zu anderen Eintragspfaden. Die Eintragspfade Hofabläufe und Abdrift, sowie Direkteinträge durch die Schifffahrt sind weitgehend vernachlässigbar.

Geogene Hintergrundbelastung

Die geogene Hintergrundbelastung ist gesondert in den Abbildungen 5.1-1.a bis 5.1-7.a im Rahmen der Darstellung der Gesamteinträge ausgewiesen, da sie je nach betrachtetem Parameter in der Literatur nicht immer zu den diffusen Emissionen gerechnet wird. Während bei den Nährstoffen N und P - auf Grund von anthropogener Beeinflussung des Grundwasserzuflusses - dieser nicht mit der geogenen Hintergrundbelastung gleichzusetzen ist (Behrendt et al., 1999), ist diese Beeinflussung bei den Schwermetallen vernachlässigbar, so dass der Basisabfluss der Hintergrundbelastung entspricht und keine Emission darstellt (z.B. IKS, 1999).

Die geogene Hintergrundbelastung der Fließgewässer führt insbesondere für die Metalle Chrom, Quecksilber und Nickel zu nicht zu vernachlässigenden Frachten. Da die geogene Hintergrundkonzentration für Schwermetalle häufig unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze liegt, ist die Frachtberechnung mit großen Unsicherheiten versehen. Die zu Grunde gelegten Hintergrundwerte der LAWA (1998) erscheinen für die gewählte Maßstabsebene dennoch gerechtfertigt. Auf kleineren Maßstabsebenen können die Hintergrundkonzentrationen hingegen einer großen

Schwankungsbreite unterliegen (LAWA, 1998) und sind durch ortstypische Werte zu ersetzen.

5.5 Vergleich der berechneten Einträge mit Immissionswerten aus Rhein und Elbe

Vergleich der Gesamteinträge im Rheineinzugsgebiet mit den IKSRErgebnissen

Von der IKSRE (1999) wurden für die Jahre 1991-1996 Frachten für Schwermetalle im Rhein bei Bimmen/Lobith (Immissionsschätzung), sowie Emissionsschätzungen für die flussaufwärts liegenden Einzugsgebiete der Schweiz, Deutschlands und Frankreichs angegeben (IKSRE, 1999). In Abbildung 5.5-1 sind diese Werte mit den Gesamteinträgen aus eigenen Abschätzungen für das deutsche Rheineinzugsgebiet verglichen.

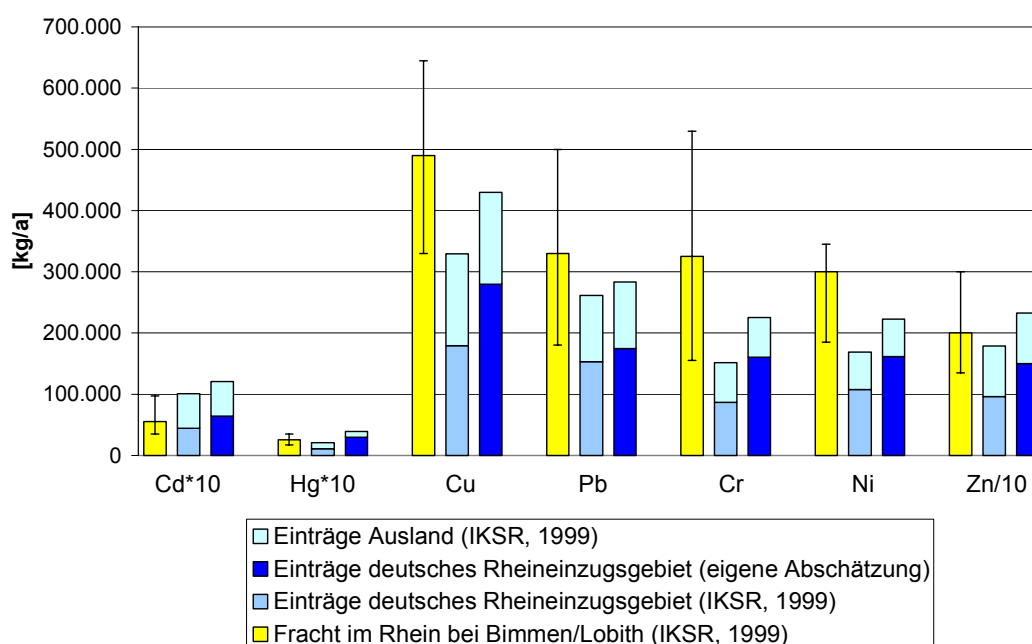
Die von der IKSRE angegebenen Gewässerfrachten bei Bimmen/Lobith für die Jahre 1991-1996 wurden für den Vergleich mit den Einträgen zu einem Mittelwert zusammengefasst. In Abhängigkeit vom hydrologischen Geschehen im Einzugsgebiet weisen Jahresfrachten insbesondere für Stoffe, die zu einem großen Anteil mit der partikulären Phase transportiert werden, eine hohe Variabilität auf. So schwanken die angegebenen Frachten für die Jahre 1991-1996 zum Teil bis um den Faktor 3 (vgl. Abbildung 5.5-1). Erhöhte Frachten treten für alle Metalle im Jahr 1995 auf, was ursächlich auf das Hochwasserereignis im Januar 1995 zurückgeführt werden kann (LfU, 1996). Da es sich bei den geschätzten Emissionen immer um mittlere Einträge handelt, die in der Regel auf eine mehrere Jahre (5-10 Jahre) umfassende Datenbasis zurückgreifen, sollten zu Vergleichszwecken abgeschätzte Immissionen immer auf der Basis mehrjähriger Beobachtungen erfolgen und mit einer möglichen Bandbreite versehen sein (Fuchs et al., 1999).

Für die Darstellung der Emissionsseite wurden in Abbildung 5.5-1 die Einträge für das deutsche Rheineinzugsgebiet (eigene Abschätzung und IKSRE) jeweils um die von der IKSRE angegebenen Frachten für den ausländischen Teil des Rheineinzugsgebietes ergänzt.

Die im Rahmen dieser Abschätzung berechneten Schwermetalleinträge liegen für alle Metalle über den von der IKSRE angegebenen Werten für das deutsche Rheineinzugsgebiet. Ausschlaggebend hierfür sind insbesondere die zu Grunde gelegten unterschiedlichen Bilanzierungsmethoden und Emissionsfaktoren. Die von der IKSRE angegebenen Gesamteinträge liegen mit Ausnahme von Cadmium deutlich

unter den Frachten im Rhein bei Bimmen/Lobith. Da auch bezüglich der Metalle von einer Retention im Fluss ausgegangen werden muss, erscheinen die in dieser Abschätzung im Vergleich zur IKSР höheren Einträge für das deutsche Rheineinzugsgebiet plausibel.

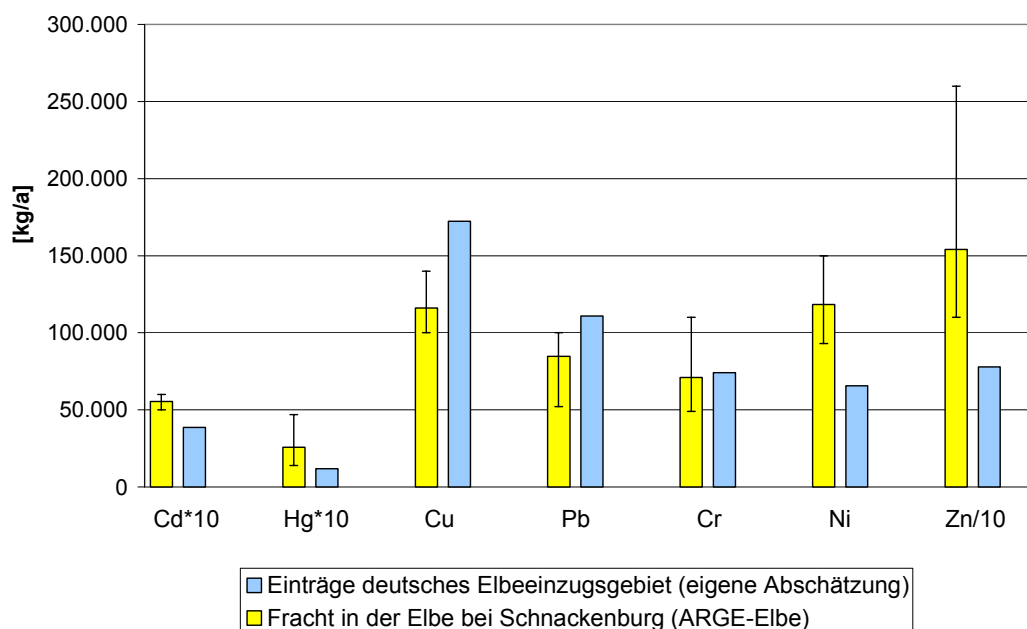
Abbildung 5.5-1: Vergleich der Schwermetallfrachten im Rhein bei Bimmen/ Lobith (Durchschnitts-, Minimum- und Maximumwert der Jahre 1991 bis 1996; IKSР, 1999) mit den Gesamteinträgen aus eigenen Berechnungen und der IKSР



Vergleich der Gesamteinträge mit den Frachten in der Elbe

Von der ARGE-Elbe werden für den Pegel Schnackenburg jährliche Schwermetallfrachten seit 1985 angegeben. Da das Jahr 1995 als Bilanzjahr für die Eintragsberechnung galt, wurden zur Berechnung der mittleren Fracht im Gewässer die Jahre 1993-1997 herangezogen. In Abbildung 5.5-2 werden diese Gewässerfrachten den im Rahmen dieses Vorhabens berechneten Einträgen gegenübergestellt. Bei dem Vergleich wurden nur die Einträge bis zum Pegel Schnackenburg berücksichtigt.

Abbildung 5.5-2: Vergleich der berechneten Einträge für das deutsche Einzugsgebiet der Elbe bis Schnackenburg mit Schwermetallfrachten in der Elbe bei Schnackenburg (Mittelwert für 1993-1997; ARGE-Elbe, 2000)



Beim Vergleich der Emissionen mit den dargestellten Frachten bei Schnackenburg ist zu berücksichtigen, dass bei der Emission nur der deutsche Anteil des Einzugsgebietes der Elbe in die Abschätzung eingegangen ist. Für die Metalle Cadmium, Quecksilber, Nickel und Zink liegen die geschätzten Einträge somit in einer plausiblen Größenordnung, da die Werte unterhalb der Frachten im Gewässer liegen. Die hohen Einträge für Cu, Pb und Cr könnten zum Teil dadurch erklärt werden, dass insbesondere für diese Metalle der Erosionspfad eine vergleichsweise größere Bedeutung (ca. 40 %) als für die anderen Metalle besitzt und im Rahmen dieses Vorhabens keine Retention im Gewässer berücksichtigt wurde. Es kann angenommen werden, dass eine Berücksichtigung der Retention, Sedimentation und biogenen Fällungsprozesse vor allem bei den über den Erosionspfad eingetragenen partikulären Frachten zu einer wirksamen Minderung der im Gewässer messbaren Gesamtfracht führt.

Unter Berücksichtigung dieser Bedingungen liegen die berechneten Einträge für das deutsche Einzugsgebiet der Elbe in einer plausiblen Größenordnung.

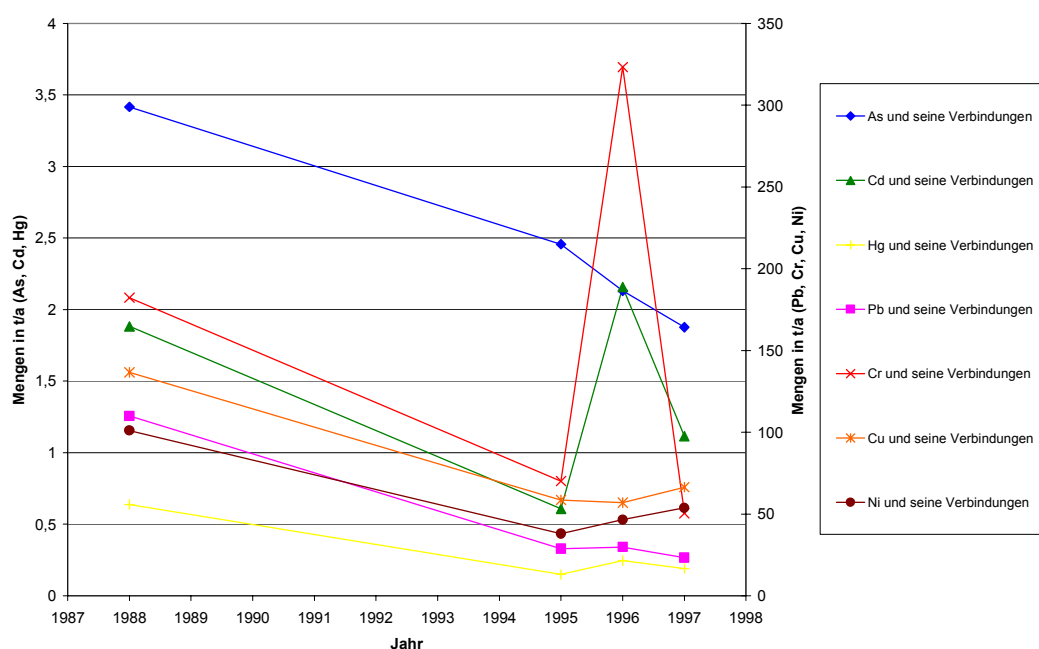
6 Vergleich mit Emissionsinventaren anderer Staaten

Für einen allgemeineren Überblick über die Struktur und Inhalt von Emissionsinventaren in anderen Ländern wird auf das Parallel-Forschungsvorhaben "Emissionsinventar Wasser für die Bundesrepublik Deutschland." (Böhm et al. 2000) verwiesen. In diesem Kapitel werden nur die wesentlichen Ergebnisse bezüglich Schwermetallfrachten referiert.

6.1 Das US Toxics Release Inventory (TRI)

Bei den meisten Metallen, die in der TRI-Liste aufgeführt werden, wie z.B. Aluminium, Arsen, Beryllium, Blei, Cadmium, Chrom, Kobalt, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Silber, Vanadium und Zink ist seit 1988 eine deutliche Reduktion der Emissionen in Oberflächengewässer zu verzeichnen (vgl. auch Abbildung 6.1-1).

Abbildung 6.1-1: Emissionen ausgewählter Schwermetalle in Oberflächengewässer, 1988-1997 (EPA, 1998)



Die in die Gewässer eingetragenen Mengen an diesen Metallen nahmen bis 1997 im Vergleich zu 1988 in sämtlichen Fällen um 40 % oder mehr ab. Nur bei Barium

(+ 685,7 %), Mangan (+ 334,0) und Selen (+ 71,6 %) nahmen die emittierten Mengen zu. Zu bemerken ist, dass im Berichtsjahr 1997 fast 75 % der Gesamtmenge der Metalle, die durch an das TRI berichtende Betriebe in die Gewässer eingetragen wurde, auf Barium und Mangan und deren Verbindungen zurückzuführen war (5,3 Millionen pound oder 2,4 Millionen kg).

Vergleicht man die Jahre 1997 und 1995 so kann nur bei Arsen (- 23,6 %), Chrom (- 27,9 %), Kobalt (- 58,0 %), Blei (- 19,2 %) und Silber (- 3,0 %) eine Reduktion der Emissionen in die Gewässer festgestellt werden. Dagegen nahmen in diesem Zeitraum die Emissionen an Aluminium (+ 15,5 %), Antimon (+ 3,0 %), Barium (+ 1267,4 %), Cadmium (+ 83,5 %), Kupfer (+ 13,4 %), Mangan (+ 166,1 %), Nickel (+ 41,6 %), Quecksilber (+ 28,0 %), Selen (+ 6,9 %), Vanadium (+ 14160 %) und Zink (+ 9,3 %) zu. Die Cadmium- und Chromeinleitungen in Oberflächengewässer erhöhten sich von 1995 auf 1996 kurzzeitig, während die in den USA verbreitete Abwasserbeseitigung durch Verpressung in den Untergrund 1996 zurückging. Die in die Gewässer eingeleiteten Mengen an ausgewählten Schwermetallen getrennt nach Industriebranchen sind in Tabelle 6.1-1 zusammengefasst.

6.2 Das UK Pollution Inventory – PI

(ehemals Chemical Release Inventory – CRI)

Tabelle 6.2-1 fasst die Schwermetallemissionen in die Gewässer von Industriebetrieben aus England und Wales zusammen, die 1998 für das PI berichteten (Environment Agency, 1999). Die Aufteilung der Emissionen erfolgt nach einzelnen Industriebranchen. Aus dieser Datenzusammenstellung geht hervor, dass fast 85 % der gesamten im PI erfassten Schwermetallemissionen von Betrieben der chemischen Industrie stammen (rund 354,5 t/a). Dabei fallen insbesondere die Chrom- und Zinkfrachten auf, bei denen 44 bzw. 40 % der gesamten Schwermetalleinträge in die Gewässer aus der chemischen Industrie stammen (157,6 bzw. 141,7 t/a). In beiden Fällen fallen die Emissionen von jeweils nur einem Betrieb besonders stark ins Gewicht (140 t/a an Chrom und 96,8 t/a an Zink). Dabei handelt es sich nicht um unfallbedingte Emissionen.

Tabelle 6.1-1: Schwermetallemissionen in Oberflächengewässer nach Industriebranchen, 1997, alle Angaben in kg/a (EPA, 1998)

SIC-Code	Anzahl der Betriebe	As und Ver- bindungen	Cd und Ver- bindungen	Cr und Ver- bindungen	Cu und Ver- bindungen	Pb und Ver- bindungen	Hg und Ver- bindungen	Ni und Ver- bindungen	Zn und Ver- bindungen *
Anzahl der Betriebe	0	76	27	446	685	356	15	455	665
20 Food	9			110	0			150	380
22 Textiles	17			1.060	1.780				
23 Apparel	0								
24 Lumber	128	480		900	470				
25 Furniture	3			0				10	
26 Paper	91	290	40	6.640	5.090		10	7.970	
27 Printing	10	110			20			16.020	2.970
28 Chemicals	358	300	200	10.060	15.560	520	180	6.670	150.210
29 Petroleum	98	30	2	2.440	820	840	2	110	14.810
30 Plastics	120		3	10	20	330			5.290
31 Leather	9			280					1
32 Stone/Clay/Glass	67	20	40	500	130	530		240	
33 Primary metals	960	600	810	23.570	22.830	14.720		15.370	79.230
34 Fabricated metals	373	40		1.620	4.430	2.920		3.500	26.440
35 Machinery	110			610	810	170		710	1.830
36 Electronic equipment	171	3	20	200	2.050	1.810		560	970
37 Transportation equipment	215			1.790	11.200	900		1.350	6.260
38 Measure./Photo.	30			450	280	10		170	10.790
39 Miscellaneous	18			10	60	30		330	30
SIC-Codes 20-39	2.787	1.880	1.110	50.270	65.560	22.790	190	53.160	299.210
Other SIC-Codes	24			260	880	470		570	1.420
Not Applicable	6				5			2	9.940
Total	2.817	1.880	1.110	50.530	66.440	190	53.730	23.260	310.600

* Zn nur als Staub (fine or dust). E

Tabelle 6.2-1: Schwermetallemissionen in die Gewässer (controlled waters) von Betrieben in England und Wales für das Jahr 1998
(Environment Agency, 1999)

	As		Cd		Cr		Cu		Hg		Ni		Pb		Zn		Total
	Betrie- be	kg/a	Betrie- be	kg/a	Betrie- be	kg/a	Betrie- be	kg/a	Betrie- be	kg/a	Betrie- be	kg/a	Anzahl	kg/a	Anzahl	kg/a	kg/a
Fuel & Power Production	23	1.877	24	129	7	354	21	7.966	33	14	14	2.806	12	968	28	20.786	34.900
Metall Production & Processing	6	509	11	767	8	511	17	1.512	8	73	13	2.673	13	3.806	15	9.697	19.550
davon Iron & Steel Industr	1	0	5	39	5	199	8	480	5	19	6	552	7	1.438	8	6.451	9.178
davon Non- Ferrous Metal Industry	5	509	6	728	3	313	9	1.032	3	55	7	2.121	6	2.368	7	3.246	10.371
Mineral Industries	1	8	0	0	1	26	1	32	1	0	1	36	1	62	1	32	196
Chemical Industry	13	1.658	21	924	21	157.639	29	9.537	38	312	14	9.751	22	32.916	47	141.735	354.471
Waste Disposal & Recycling	1	2	1	1	2	40	3	229	2	0	2	47	2	77	3	136	531
Other Industry	1	6	11	32	0	0	4	178	11	10	2	29	2	171	4	754	1.179
davon Paper & Pulp Industry	1	6	11	32	0	0	2	48	11	10	2	29	2	171	2	634	929
Summe	45	4.060	68	1.852	39	158.570	75	19.454	93	410	46	15.341	52	38.000	98	173.139	410.827

6.3 Das Französische Emissionsinventar

In Tabelle 6.3-1. sind die Schwermetallemissionen in Oberflächengewässer der französischen Industrie für die Jahre 1996 und 1997 zusammengefasst. Die Daten stammen aus den Jahresberichten 1996 und 1997 (MATE 1997 und 1998). Die Darstellung erfolgt aufgelöst nach einzelnen Industriegruppen.

Von allen Industriebranchen wies sowohl 1996 als auch 1997 die erzverarbeitende Industrie (S7) mit 658.324 kg/a bzw. 766.161 kg/a die größten Schwermetallemissionen in die Gewässer auf (rund 56 % bzw. 59 % der Gesamtmenge). Anzumerken ist, dass dieser Wert darauf zurückzuführen ist, dass ein einzelner Betrieb der erzverarbeitenden Industrie eine ungewöhnlich hohe Chrommenge emittierte (611.220 kg/a in 1996 und 539.835 kg/a in 1997). Diese Mengen entsprachen 52 % (1996) bzw. 42 % (1997) der gesamten Schwermetallemissionen in die Gewässer. Die Schwermetallemissionen der chemischen und petrochemischen Industrie (S4) rangierten 1996 sowie 1997 an zweiter Stelle mit 221.298 kg/a bzw. 213.375 kg/a (rund 19 % bzw. 17 % der Gesamtmenge). Den größten Anteil davon stellen die Zink-, Chrom- und Quecksilber-Emissionen dar (97.729 kg/a, 48.151 kg/a bzw. 45.820 kg/a in 1996 und 76.347 kg/a, 64.912 kg/a bzw. 53.221 kg/a in 1997).

Im Vergleich zu 1996 wurden in Frankreich 1997 10,4 % mehr Schwermetalle in die Gewässer eingeleitet. Größtenteils war dies auf die Zunahme der Emissionen an Arsen und Cadmium zurückzuführen (+5441 % bzw. +1247 % im Jahresvergleich). Dagegen gingen von allen Schwermetallemissionen die an Quecksilber und Nickel am stärksten zurück (-24 % bzw. -10 % im Jahresvergleich).

6.4 Das Niederländische Pollutant Emission Register (PER)

In Tabelle 6.4-1. sind für 1995 und 1996 die nationalen Schwermetallemissionen in den Bereich Wasser in den Niederlanden und deren prozentuale Veränderung dargestellt. Unter den Gesamtemissionen versteht man sämtliche Emissionen die von den verschiedenen Zielgruppen ins Wasser eingetragen werden. In den Niederlanden gelangt nur ein geringer Teil des in die Kanalisation eingeleiteten Abwassers unbehandelt in die Gewässer. In Tabelle 6.4-1 sind auch die Schwermetalleinträge in die Oberflächengewässer für die Jahre 1995 und 1996 und deren prozentuale Veränderung dargestellt. Zur Schwermetallbelastung der Gewässer tragen sowohl direkte Einleitungen, die Emissionen aus dem Kanalsystem (Ablauf Kläranlagen, Regenwasserkanalisation, Überlauf, unbehandelte Abwasserteilströme) als auch atmosphärische Depositionen bei. Dieser letzte Eintragsweg erfolgt sowohl auf direktem Wege als auch indirekt über die Kanalisation (Regenwasserkanalisation, Überlauf und unbehandelte Abwasserteilströme). Wie aus Tabelle 6.4-1 zu entnehmen ist, gelangen durch Versickerung und Oberflächenabläufe keine Schwermetalle in die Gewässer.

Tabelle 6.3-1: Schwermetallemissionen in Oberflächengewässer der französischen Industrie in 1996/97 (MATE, 1997; MATE, 1998).

Branchen-Code	Jahr	As und seine Verbindungen		Cd und seine Verbindungen		Cr und seine Verbindungen		Cu und seine Verbindungen		Hg und seine Verbindungen		Ni und seine Verbindungen		Pb und seine Verbindungen		Zn und seine Verbindungen		Summe	Veränderung 1996/97
		Anzahl	Fracht [kg/a]	Anzahl	Fracht [kg/a]	Anzahl	Fracht [kg/a]	Anzahl	Fracht [kg/a]	Anzahl	Fracht [kg/a]	Anzahl	Fracht [kg/a]	Anzahl	Fracht [kg/a]	Anzahl	Fracht [kg/a]		
S1	1996																		0,0
	1997																		
S2	1996											1	6.734					6.734	-63,5
	1997											1	409					2.453	
S3	1996	1	33	1	37			1	51	2	1.819	3	278	1	26		2.044	2.453	-43,2
	1997	1	22					2	146	1	2.409	2	117	1	241	2	423	3.358	
S4	1996	4	1.329	6	392	6	48.151	21	10.878	9	45.820	14	15.200	8	1.801	24	97.729	221.298	-3,6
	1997	5	1.573	5	80	7	64.912	19	9.957	9	53.221	12	4.891	9	2.394	25	76.347	213.375	
S5	1996					5	66.034							1	33			66.067	45,6
	1997					6	96.167							1	40			96.207	
S6	1996	2	311	2	33			4	2.280			1	260	2	88	1	578	3.550	1.570
	1997	2	14.823	1	84			4	9.016			1	12.490	1	4.917	1	17.991	59.320	
S7	1996	1	7			1	611.220	2	8.850			2	3.726	6	15.379	2	19.142	658.324	16,4
	1997	2	146.015	1	32.850	1	539.835	1	5.840	1	1.095	1	8.395	7	18.122	2	14.009	766.161	
S8	1996			6	33	6	1.911	43	7.225	2	17.407	75	9.941	22	1.222	46	17.447	55.186	-40,9
	1997			4	44	3	1.095	36	6.271			72	9.592	21	1.059	42	14.527	32.587	
S9	1996					1	146	1	40	1	549	2	260					996	12,9
	1997									1	803	2	190			1	131	1.124	
S10	1996	4	1.266	11	2.203	6	15.837	10	5.069	2	11.401	13	9.102	15	7.302	15	28.277	80.458	-17,8
	1997	4	832	13	5.479	5	4.063	9	1.814	3	7.654	14	5.329	17	7.176	17	33.799	66.145	
S11	1996							2	121		0	1	512		0	2	41.944	42.577	-21,1
	1997															2	33.580	33.580	
S12	1996			3	168			3	377	2	24.167	1	88	2	146	3	2.255	27.201	-46,6
	1997			4	190			2	515	3	12.045	1	22	1	102	2	1.661	14.534	
S13	1996			1	11							1	117			1	223	351	172,2
	1997			1	15			1	124			1	88			2	730	956	
Summe	1996	12	2.946	30	2.877	25	743.298	87	34.891	18	101.162	114	46.219	57	25.997	97	211.263	1.168.653	10,4
	1997	14	163.265	29	38.741	22	706.071	74	33.682	18	77.227	107	41.522	58	34.051	97	195.242	1.289.801	
Veränderung	[%]		5.441,3		1.246,7		-5,0		-3,5		-23,7		-10,2		31,0		-7,6	10,3	

In Tabelle 6.4-2 sind die Schwermetallemissionen in den Bereich Wasser getrennt nach Zielgruppen für das Berichtsjahr 1996 dargestellt. Daraus geht hervor, dass industrielle Direkteinleiter für ca. 14 % der gesamten Schwermetallemissionen verantwortlich sind, während der Anteil der „Konsumenten“ mit den Frachten der Indirekteinleiter an den gesamten Schwermetallemissionen dagegen bei über 50 % liegt.

Tabelle 6.4-2: Schwermetallemissionen in den Bereich Wasser getrennt nach Zielgruppen in den Niederlanden in 1996, Angaben in kg/a (HIMH, 1998).

Zielgruppe	SBI-Codes	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Ni	Zn
Raffinerien	2320.1	0,1	0,03	20,0	156,0	21,9	0,4	174	367,0
Energiesektor	40; 10; 2320.2; 2330; 603	0,7	0,5	4,0	2,0	0,8	13,0	4	30,0
Industrie	144; 15 – 22; 24 - 36	1170,0	642,0	26.160,0	30.300,0	269,3	8410,0	19.530	81.000,0
Abfallentsorgungs-Betriebe	37; 9000.2; 9000.3; 9000.4	473,0	63,0	1.520,0	812,0	31,0	782,0	1.650	5.160,0
Landwirtschaft	01; 015; 02; 05	0,0	0,0	0,0	0,01..3	0,0	48200,0	0	30.400,0
Transport und Verkehr	*	22,5	10,0	339,0	23.200,0	0,0	12900,0	265	114.000,0
Konsumenten	**	3080,0	733,0	3.080,0	134.000,0	306,0	77.200,0	7.740	424.000,0
Handel, Dienstleistungen, Behörden	55; 65 – 67; 75; 80; 85; 91; 92; 93	7,4	3,6	123,0	14.100,0	128,0	13.500,0	200	137.000,0
Sonstige Zielgruppen	14; 15; 9000.1; 52; 41; 73	1,3	0,1	2,0	3,4	0,1	4,0	2,6	51,0
Summe		4.755,0	1.452,0	31.248,0	202.574,0	757,0	161.009,0	29.566	792.009,0
* Emissionen von sämtlichen mobilen Quellen									
** Raumheizung einschließlich Holzverbrennung; Kochen und Erwärmung von Wasser; Gebrauch von Reinigungsmitteln, Kosmetika, Sprühdosen; Haltung von Haustieren; Einleitung von häuslichen Abwässern; Gebrauch von Anstrichmitteln im do-it-yourself-Bereich; Abbrennen von Feuerwerk, Materialkorrosion									

In Tabelle 6.4-3 sind die Schwermetallemissionen ausgewählter Industriebranchen in den Niederlanden für das Jahr 1996 zusammengefasst. Die Schwermetallemissionen dieser Industriebranchen machen ca. 70 % der Schwermetallemissionen der gesamten Industrie aus.

Tabelle 6.4-3: Schwermetallindustrie ausgewählter Industriebranchen in den Niederlanden in 1996, Angaben in kg/a (HIMH, 1998)

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Ni	Zn
Chemieindustrie	713	360	5.170	11.100	182	4.460	6.730	29.800
Milchindustrie	0	0,1	74	323	0,3	23	28	1.110
Papier- u. Karton-industrie	33	26	563	1.500	1,1	83	149	4.230
Basismetallindustrie	199	119	816	808	66	2.250	800	12.900
Textilindustrie	1,8	2,7	876	1.390	0,8	40	406	2.560
Metall- und Elektro-technische Industrie	1,5	66	3.180	11.000	2,5	988	3.520	11.300
Summe	949	574	10.679	26.121	253	7.844	11.632	61.900

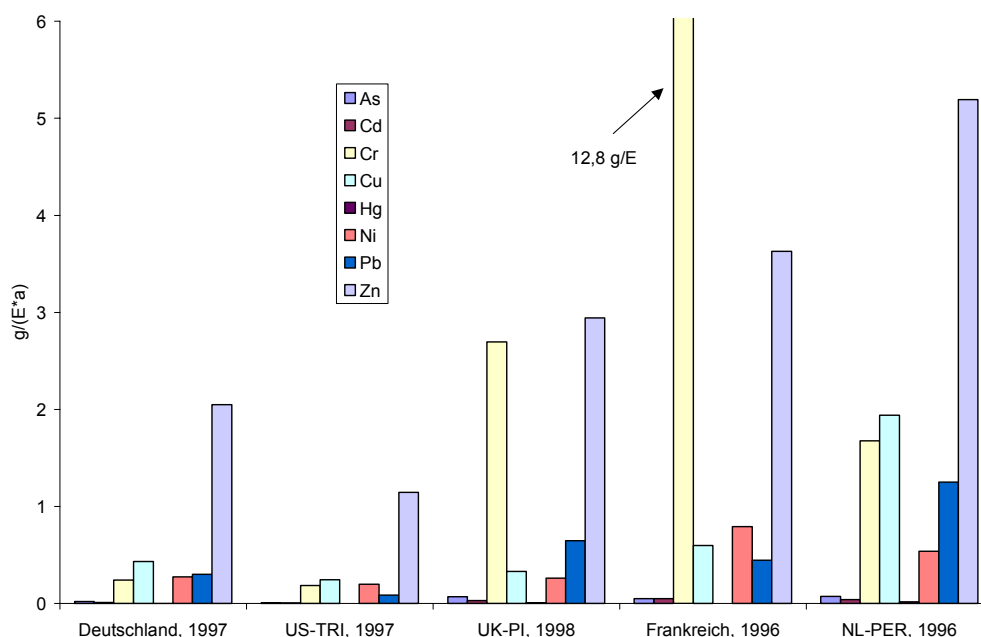
6.5 Vergleich mit internationalen Ergebnissen

Die Angaben zu den Schwermetallfrachten der einzelnen Staaten sind in der Tabelle 6.5-1 zusammengefasst. (Die kursiven Werte gehen auf die vorliegende, eigene Erhebung zurück). Der Anteil an der Chemische Industrie an der Gesamtfracht ist für alle Länder, bis auf Frankreich, bedeutend. Man muss sich aber vergegenwärtigen, dass die einzelnen Emissionsinventare bis jetzt sehr unterschiedliche Abschneidekriterien und Rahmenbedingungen berücksichtigen, was sich auf europäischer Ebene erst mit der Einführung des EPER ändern wird. Daher sind die Pro-Kopf-Emissionen in Abbildung 6.5-1 nur vorsichtig interpretierbar. Der hohe Chromwert bei Frankreich geht vor allem auf einen einzigen Einleiter zurück.

Tabelle 6.5-1: Übersicht über nationale Schwermetall-Frachten in die Gewässer

Angaben in [kg/a]	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Industrie, gesamt								
<i>Deutschland, Industrie</i>	<i>1.824</i>	<i>1.016</i>	<i>20.435</i>	<i>32.646</i>	<i>223</i>	<i>22.659</i>	<i>23.752</i>	<i>159.099</i>
US-TRI, für 1997	1.880	1.110	50.530	66.440	190	53.730	23.260	310.600
UK-PI, für 1998	4.060	1.852	158.570	19.454	410	15.341	38.000	173.139
Frankreich, für 1996	2.946	2.876	743.298	34.891		46.218	25.997	211.262
Niederlande PER, für 1996	1.170	642	26.160	30.300	269	8.410	19.530	81.000
Chemische Industrie								
<i>Alle Chemie-Anhänge</i>	<i>1.410</i>	<i>284</i>	<i>15.905</i>	<i>24.117</i>	<i>167</i>	<i>15.965</i>	<i>12.723</i>	<i>104.463</i>
VCI, für 1997	2.000	340	22.000	28.000	222	22.000	13.000	116.000
US-TRI, für 1997	300	200	10.060	15.560	180	6.670	520	150.210
UK-PI, für 1998	1.658	924	157.639	9.537	312	9.751	32.916	141.735
Frankreich, für 1997	1537	80	64.911	9.957		4.891	2.394	76.347
Niederlande PER, für 1996	713	360	5.170	11.100	182	4.460	6.730	29.800

Abbildung 6.5-1: Pro-Kopf Emissionen der industriellen Direkteinleiter in Oberflächengewässer für verschiedene Staaten



In Abbildung 6.5-1 sind die Pro-Kopf-Emissionen der betrachteten Schwermetalle nach den verschiedenen Emissionsinventaren dargestellt. Während die spezifischen Werte nach dem amerikanischen TRI deutlich niedriger als die deutschen sind und bei As, Cd, Hg und Pb nur 1/3 des deutschen Wertes ausmachen, liegen die Werte von Zink ($3 \pm 1,3$ g/E/a) und Nickel ($0,4 \pm 0,2$ g/E/a) für alle Inventare in einer Größenordnung. Bei den Kupferemissionen gibt es eine starke Schwankungsbreite: So ist die niederländische Emission viermal höher als die deutsche, während die amerikanischen Zahlen nur ca. halb so hoch sind wie die deutschen.

Die höchsten Pro-Kopf Emissionen finden sich in den Niederlanden (Arsen, Kupfer, Quecksilber, Blei und Zink) und in Frankreich (Cadmium, Chrom und Nickel). Da diese Länder schon lange Zeit ein Emissionsinventar betreiben, könnten die hohen Werte auch auf einen hohen Erfassungsgrad hinweisen. Die hohe spezifische Chromemission in Frankreich ist auf einen einzigen Betrieb zurückzuführen.

7 Handlungsempfehlungen für künftige Erhebungen

Emissionsinventare sollten auf Grund ihrer Zielsetzung grundsätzlich sowohl hinsichtlich der Gesamtergebnisse als auch der Einzeldaten öffentlich zugänglich sein. Die Erfahrungen bei der schwierigen und sehr zeitaufwendigen Erhebung der Emissionsdaten haben allerdings gezeigt, dass man davon auf Verwaltungsebene noch ein Stück entfernt ist. Ursachen dafür sind, dass zum einen die rechtlichen Grundlagen für die Offenlegung noch relativ neu sind, zum anderen spielt auch die Unsicherheit über die Qualität des Datenbestandes eine große Rolle. Bei den Firmen selbst hat sich durch Initiativen wie Öko-Audits, Responsible Care u. a. ein bewussteres Umgehen mit Emissionsdaten durchgesetzt, so dass die Vorbehalte gegen eine Veröffentlichung dieser Daten deutlich abgenommen haben. Dies zeigte sich beim Erstellen der Listen der bedeutendsten Einleiter für jedes Schwermetall, in denen nur wenige Unternehmen nicht genannt werden wollten. Insgesamt ist davon auszugehen, dass bei künftigen Erhebungen die Schwierigkeiten bei der Datenerhebung deutlich geringer sein werden und gleichzeitig eine bessere Qualität der übermittelten Daten vorliegen wird.

Da die Daten für die verschiedenen Eintragspfade teilweise direkt erhoben, teilweise berechnet und teilweise nur abgeschätzt werden konnten, ist auch die Qualität der Ergebnisse für die einzelnen Pfade sehr unterschiedlich (s. Kapitel 5). Insgesamt wird die Datenqualität der industriellen Direkteinleiter als besonders hoch angesehen, da diese Daten durch eine Primärerhebung erfasst wurden. Obwohl diese Werte auf regelmäßigen Messungen beruhen, stellte sich bei der Überprüfung der jeweils zehn größten Einleiter in einer Reihe von Beispielen heraus, dass die ursprünglich gemeldeten Daten nicht korrekt waren (z.B. Verwendung von Genehmigungs- neben Überwachungswerten, fehlerhafte Auswertungen, Zahlendreher, Dimensionsfehler, Kommaverschiebungen u.a.).

Um eine hohe Datenqualität zu erhalten, ist für den Eintragspfad der industriellen Direkteinleiter eine Abstimmung unter den zuständigen Behörden und mit den Emittenten dringend geboten. Bei einem Vergleich entsprechender Datensätze aus der Überwachung und aus der Eigenkontrolle zeigte es sich häufig, dass die Überwachungswerte auf Grund der geringen Zahl an Überwachungsergebnissen nur eine unzureichende Repräsentativität aufwiesen und dadurch deutliche Unterschiede zu den Eigenkontrollwerten auftraten. Die Frage der Einbindung von Eigenkontrollwerten ist deshalb für künftige Erhebungen grundsätzlich zu klären. Außerdem wäre es für künftige Arbeiten sinnvoll, eine einheitliche Vorgehensweise bei der Frachtberechnung festzulegen (vgl. beispielsweise. Kapitel 3.2.2 und 3.3.1: Umgang mit Konzentrationswerten unter der Bestimmungsgrenze, zu verwendende Abwassermenge, Vorbelastung des genutzten Wassers). Die gewonnenen Erfahrungen zeigen auch, dass es sinnvoll und wichtig ist, die Plausibilität von neu erhobenen Daten direkt über einen Vergleich mit branchenspezifischen Daten zu prüfen

(z.B. über Durchschnittskonzentrationen, über den Vergleich mit Gesamtfrachten einer Branche, über produkt- oder eduktbezogene spezifische Emissionen).

Beim Eintragspfad kommunale Kläranlagen ist die Datensituation bei den Metallen Cadmium und Quecksilber am ungünstigsten, da diese Metalle nur in sehr geringen Konzentrationen im Kläranlagenablauf vorkommen und häufig unter der Bestimmungsgrenze liegen. Daher werden diese Schwermetalle auch nur in wenigen Ländern regelmäßig gemessen. Für künftige Erhebungen wäre es wichtig, insbesondere für diese zwei Parameter die Datenbasis zu verbessern.

Die punktuellen Einleitungen durch kommunale Kläranlagen dominieren bei allen untersuchten Schwermetallen die industriellen Direkteinleitungen. Ungeklärt ist jedoch bislang der Anteil der industriellen und gewerblichen Indirekteinleiter an den kommunalen Einträgen. So sollte die Bedeutung vor allem der Indirekteinleiter aus der Industrie und dem Gewerbe in notwendigen Fortsetzungsarbeiten untersucht werden.

Die diffusen Quellen tragen etwa 75 % zu den Gesamtemissionen bei. Als Haupteintragspfade wurden die urbanen Flächen, die Erosion und die Einträge über den Grundwasserpfad identifiziert. Berechnet wurden diese Einträge in Anlehnung an das Modell MONERIS (Behrendt et al., 1999), das für die Nährstoffbilanzierung entwickelt wurde. Dabei wurde angenommen, dass Schwermetalle in ihrem Transportverhalten dem Nährstoff Phosphor ähnlich sind. Allerdings ist die Bedeutung der jeweiligen diffusen Eintragspfade bei den Schwermetallen anders als beim Phosphor. Beispielsweise machen die Einträge durch Niederschlagsabfluss von befestigten urbanen Flächen (Mischwasserüberläufe und Trennkanalisationen) bei den Schwermetallen einen Großteil der diffusen Emissionen aus. Für Phosphor spielen diese Pfade hingegen keine wesentliche Rolle. Die Phosphoremissionen werden nicht durch die Einträge mit dem abfließenden Niederschlagswasser, sondern von der Fracht aus häuslichem und gewerblichem Schmutzwasser bei Mischwasserentlastungen dominiert. Der Berechnungsansatz für diesen Pfad wurde deshalb für die Schwermetalle modifiziert. Auf Grund der Bedeutung dieses Eintragspfades für Schwermetalle besteht insbesondere für die Abschätzung der Auswirkungen von Maßnahmen zur Regenwasserbehandlung weiterer Forschungsbedarf.

Die notwendigen Modellparameter für Schwermetalle wurden auf Basis der wissenschaftlichen Literatur recherchiert. Jedoch ist die Verfügbarkeit von Schwermetall-daten für einige Pfade (insbesondere landwirtschaftliche Dränagen) als mangelhaft zu bewerten. Ebenso bestehen nur begrenzte Möglichkeiten der Plausibilitätsprüfung, da die Mehrzahl der dokumentierten Konzentrations- oder Frachtangaben aus Einzelprojekten resultieren, was die Vergleichbarkeit und Übertragung auf Grund unterschiedlicher Methoden bei Probenahme oder Analytik erschwert.

Die geogen bedingte Konzentration für Schwermetalle im Oberboden oder im Grundwasser zeigt eine viel höhere naturräumliche Differenzierung als beim Nährstoff Phosphor. Eine höhere Genauigkeit, insbesondere für die Pfade Grundwasserinträge und Erosion wäre durch die Einbindung schwermetallspezifischer GIS-Karten zu erreichen.

Letztendlich hat dieses Vorhaben gezeigt, dass die Wahl der räumlichen Bezugsebene erhebliche Auswirkungen auf die Qualität der erreichbaren Ergebnisse und damit auf die abgeleiteten wasserwirtschaftlichen Zielvorgaben hat. Da die Anforderungen der Quantität und Qualität der Eingangsdaten ab einer Einzugsgebietsgröße von weniger als 1000 km² erheblich zunehmen, ist grundsätzlich eine abgestufte Vorgehensweise zu empfehlen. Ausgehend von großräumig angelegten Arbeiten sind Belastungsschwerpunkte zu identifizieren, um dort weitere Analysen zur Formulierung zielführender, belastungsmindernder Maßnahmen durchzuführen. Zur Identifikation dieser Belastungsschwerpunkte ist die gewählte Herangehensweise gut geeignet.

8 Literatur

- 76/464/EWG: Richtlinie des Rates vom 4. Mai 1976 betreffend die Verschmutzung infolge der Ableitung bestimmter gefährlicher Stoffe in Gewässer der Gemeinschaft. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L129, 18.5.1976
- 90/313/EG: Richtlinie des Rates vom 7. Juni 1990 über den freien Zugang zu Informationen über die Umwelt. Amtsblatt Nr. L 158 vom 23/06/1990
- 91/271/EWG: Richtlinie über die Behandlung von kommunalem Abwasser. Amtsblatt Nr. L 135 vom 30.5.1991
- 92/446/EWG: Entscheidung der Kommission vom 27. Juli 1992 über die Fragebögen zu den Wasserrichtlinien. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 247/10, 27.8.1992
- 96/61/EWG: IVU-Richtlinie; Richtlinie über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IPPC Directive). Amtsblatt L 257 vom 24.9.1996
- Achternbosch, M.; Richers, U. (1997): Vergleich und Beurteilung von Stoffströmen der abwasserfreien und abwassererzeugenden Verfahren der „nassen“ Rauchgasreinigung von Hausmüllverbrennungsanlagen. Forschungszentrum Karlsruhe, 1997
- Ameling, D. (2000): Technisch-wissenschaftliche Gemeinschaftsarbeit. Tätigkeitsbericht 1999, Vereinigung Deutscher Eisenhüttenleute (VDEh), Wirtschaftsvereinigung Stahl, Düsseldorf
- ARGE-Elbe (2000): Schwermetalljahresfrachten in der Elbe bei Schnackenburg von 1985 bis 1999. Schriftliche Mitteilung von Herrn Bergemann, Wassergütestelle Elbe.
- ASK (1997): 12. Aachener Stahlkolloquium: Metallurgie von Eisen und Stahl. Tagungsband. RWTH: Institut für Eisenhüttenkunde/Institut für Bildsame Formgebung, Aachen, Juni 1997
- ATV (1986): Merkblatt M 756, Abwasser bei der Herstellung von Düngemitteln, St. Augustin
- ATV (1993): Hinweis H 757, Abwasser der Mineralfarbenindustrie. St. Augustin
- ATV (1995): Merkblatt M 763: Abwasser, das in der Glasindustrie anfällt, Hennef
- ATV (1997): Merkblatt M 706: Kraftwerke und Energieversorgungsbetriebe. Hennef
- ATV (1999a): Abwasser, das in der Soda-Industrie bei der Herstellung von Natriumcarbonat (Soda) anfällt. Vorschlag zur Neufassung des ATV-Merkblattes, Stand 22.2.1999

- ATV (1999b): Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen. Arbeitsblatt ATV-A 128, ATV-Regelwerk
- Auerswald, K. (1989): Prognose des P-Eintrags durch Bodenerosion in die Oberflächengewässer der BRD. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 59/II
- Bach, M. (1996): Diffuse Stoffeinträge in Fließgewässer in Deutschland. Vom Wasser, 87, S. 1 – 13
- Bach, M.; Frede, H.-G.; Schweikart, U.; Huber, A. (1998): Regional differenzierte Bilanzierung der Stickstoff- und Phosphorüberschüsse der Landwirtschaft in den Gemeinden/Kreisen in Deutschland. Forschungs- und Entwicklungsvorhaben 10204515 des Umweltbundesamtes
- Bart, M.; Johnke, B.; Rathmann, U. (1998): Daten zur Anlagentechnik und zu den Standorten der thermischen Klärschlamm Entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland. UBA Texte 72/98, Berlin
- Bart, M.; Johnke, B.; Rathmann, U. (1999): Thermische, mechanisch-biologische Behandlungsanlagen und Deponien für Siedlungsabfälle in der Bundesrepublik Deutschland. Umweltbundesamt, Berlin
- Behrendt, H. (1993): Point and diffuse loads of selected pollutants in the river Rhine and its main tributaries. Research report RR-1-93, IIASA, Laxenburg, Austria
- Behrendt, H.; Huber, P.; Opitz, D.; Schmoll, O.; Scholz, G.; Uebe, R. (1999): Nährstoffbilanzierung der Flussgebiete Deutschlands. UBA-Texte 75/99, Berlin
- Behrendt, H.; Fait, M.; Gelbrecht, J.; Huber, P.; Kornmilch, M.; Uebe, R. (2000): Geogen bedingte Grundbelastung der Fließgewässer Spree und Schwarze Elster und ihrer Einzugsgebiete. Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Berlin
- Betreiber (1999): Persönliche Mitteilung der MHKWs Bremerhaven und Bamberg
- BMU (1998): Umweltpolitik - Wasserwirtschaft in Deutschland. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn
- BMU, LAWA (1996a) (Hrsg.): Lederherstellung Pelzveredelung Lederfaserstoffherstellung – Hinweise und Erläuterungen zu Anhang 25 der Abwasserverordnung. Stand Mai 1996

- BMU, LAWA (1996b) (Hrsg.): Herstellung anorganischer Pigmente – Hinweise und Erläuterungen zu Anhang 37 der Abwasserverordnung. Bundesanzeiger Verlag, Köln
- BMU, LAWA (1998), (Hrsg.): Mindestanforderungen an Abwassereinleitungen: Eisen-, Stahl- und Tempergießerei – Hinweise und Erläuterungen zu Anhang 24 B. Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft, Köln
- BMU, LAWA (1999a) (Hrsg.): Metallbearbeitung Metallverarbeitung – Hinweise und Erläuterungen zu Anhang 40 der Abwasserverordnung. 2. Auflage, Bundesanzeiger Verlag, Köln
- BMU, LAWA (1999b) (Hrsg.): Lederherstellung Pelzveredelung Lederfaserstoffherstellung – Hinweise und Erläuterungen zu Anhang 25 der Abwasserverordnung. Bundesanzeiger Verlag, Köln
- BMU, LAWA (2000) (Hrsg.): Chemische Industrie – Hinweise und Erläuterungen zu Anhang 22 der Abwasserverordnung. Bundesanzeiger Verlag, Köln
- Böhm, E.; Hillenbrand, T.; Marscheider-Weidemann, F.; Hussels, U. (1996): Emissionsinventare im Gewässerschutz - derzeitiger Stand, zukünftige Anforderungen und mögliche Lösungsansätze. UBA-Texte 47/96, Berlin
- Böhm, E.; Hillenbrand, T.; Landwehr, M.; Marscheider-Weidemann, F. (1997): Untersuchungen zur Abwassereinleitung: Statistik wichtiger industrieller und gewerblicher Branchen zur Bewertung der Umweltgefährlichkeit von Stoffen. Fh-ISI, Karlsruhe
- Böhm, E.; Hillenbrand, T.; Marscheider-Weidemann, F.; Schempp, C. (2000): Emissionsinventar Wasser für die Bundesrepublik Deutschland. UBA-Texte 53/00, Berlin
- Brombach, HJ.; Michelbach, S.; Wöhrle, Ch. (1993): Sedimentations- und Remobilisierungsvorgänge im Abwasserkanal. Niederschlagsbedingte Schmutzbelastung der Gewässer aus städtischen befestigten Flächen (Abschlussbericht Teilprojekt 3), Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe
- Brombach, HJ.; Wöhrle, Ch. (1997): Gemessene Entlastungsaktivität von Regenüberlaufbecken. Korrespondenz Abwasser, 44, Nr. 1, S. 44-66
- Brose, F.; Brühl, H. (1993): Untersuchungen zur geogenen und anthropogenen Grundlast umweltrelevanter Schadstoffe in oberflächennahen Lockergesteinen und Grundwässern im westlichen Stadtgebiet von Berlin. Z. dt. geol. Ges., 144, S. 279-294
- CEC (1999): Taking Stock: North American Pollutant Releases and Transfers, 1996. (http://www.cec.org/pubs_info_resources/publicatons/protect_human_enviro/tak96.cfm?varlan=english)
- De Waal Malefijt, IR.A.J.W. (1982): Cadmium, Chrom, Kupfer, Blei, Nickel und Zink im häuslichen Abwasser und im Niederschlag. Holländische Fachzeitschrift H₂O, 14, S. 335 ff

- Deumlich, D.; Frielinghaus, M. (1994): Eintragungspfade Bodenerosion und Oberflächenabfluss im Lockergesteinsbereich. In Werner, W.; Wodsak, H.-P. (Hrsg.): Stickstoff- und Phosphoreintrag in Fließgewässer unter besonderer Berücksichtigung des Eintragungsgeschehens im Lockergesteinsbereich der ehemaligen DDR. Agrarspectrum 22, Frankfurt/M
- DVWK (1993): Stoffeintrag und Grundwasserbewirtschaftung. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., Parey, Hamburg
- DVWK (Hrsg.) (1999): Bewertung verschiedener Verfahren zur Quantifizierung diffuser Nährstoffeinträge in Oberflächengewässer. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., Materialien 5/1999, Bonn
- EC (1996), Environment Canada: Industrial Releases Within the Great Lakes Basin - An Evaluation of NPRI and TRI Data (<http://www.cciw.ca/glimr/metadata/industrial-releases/>)
- Environment Agency (1999), <http://www.environment-agency.gov.uk> (22.12.1999)
- EPA (1998), - U.S. EPA: 1996 TRI Data Quality Report
- EG/2000/479: Entscheidung der Kommission über den Aufbau eines Europäischen Schadstoffemissionsregisters (EPER). Amtsblatt L 192/37 vom 28.7.2000
- Eurich-Menden, B; Wegener, H.-R.; Hackenberg, S. (1997): Organische Reststoffe – Mengen-, Nährstoff- und Schwermetallaufkommen in der Bundesrepublik Deutschland (BRD).- Agrobiol.Res. 50, 1, S. 45-53
- Expertenkreis „Grundlagen und Modelle für diffuse Einträge“ (1996): Vorgehensweise, Grundlagen und Modelle für die Bestandsaufnahme der diffusen Einträge 1996. IKS-R-Zwischenbericht C-d 1/96, Koblenz
- Fauth, H.; Hindel, R.; Siewers, U.; Zinner, I. (1985): Geochemischer Atlas Bundesrepublik Deutschland. - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart
- FCI (1992), Fonds der Chemischen Industrie: Folienserie 24: Die Chemie des Chlors und seiner Verbindungen. Frankfurt
- Fiedler, J.; Rösler, J. (1993): Spurenelemente in der Umwelt. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart
- Fuchs, S.; Haritopoulou, T.; Schäfer, M.; Wilhelmi, M. (1997): Heavy metals in freshwater ecosystems introduced by urban rainwater runoff – monitoring of suspended solids, river sediments and biofilms. Wat. Sci. Tech. 36, S. 277-282

- Fuchs, S.; Butz, J.; Holz, A. (1999): Schwermetallbilanzen für Neckar und Lahn. In: Fuchs, S.; Hahn, H.H. (Hrsg.) (1999): Schadstoffe im Regenabfluss IV. Abschlusspräsentation des BMBF-Verbundprojektes NIEDERSCHLAG. Schriftenreihe des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft 96. Oldenbourg, München, S. 129-148
- Fuchs, S.; Hahn, H.H. (Hrsg.) (1999): Schadstoffe im Regenabfluss IV. Abschlusspräsentation des BMBF-Verbundprojektes NIEDERSCHLAG. Schriftenreihe des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft 96. Oldenbourg, München
- Gluschke, M. (1999): Emissionsinventar deutsches Ostsee-Einzugsgebiet. Abschlussbericht zum UBA-Vorhaben Nr. 297 25 527, Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, Gülzow
- Gündra, H.; Jäger, S.; Schröder, M.; Dikau, R. (1995): Bodenerosionsatlas Baden-Württemberg. Ulmer, Stuttgart
- Hahn, H.H.; Beudert, G.; Düreth, S. (1992): Die Verbreitung von Schwermetallen und organischen Schadstoffen im Untersuchungsgebiet. In: Plate, E. (Hrsg.): Weiherbachprojekt. Mitteilungen des Instituts für Hydrologie und Wasserwirtschaft der Universität Karlsruhe, 41, S. 283-332
- Haider, J. (1996): Interne Mitteilung, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen
- Hamm, U. (1991): Schwermetallpfade bei der Altpapieraufbereitung. Schlussbericht zum AIF-Forschungsvorhaben Nr. 7381, Institut für Papierfabrikation, TH Darmstadt
- Hamm, U. (1999): Persönliche Mitteilung. TH Darmstadt
- Heinrichs, H.; Mayer, R. (1982): Die räumliche Verteilung von Schwermetallkonzentrationen in Niederschlägen und Sickerwasser von Waldstandorten des Sollings. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 145, S. 202-206
- Hildebrand, M. (1991): Emissionsentwicklung im EVU-Bereich der alten Bundesländer in den Jahren 1989 und 1990. Elektrizitätswirtschaft, Heft 12, 691-701
- Hillenbrand, T.; Böhm, E.; Landwehr, M.; Marscheider-Weidemann, F. (1999): Die Abwassersituation in der deutschen Papier-, Textil- und Lederindustrie.: Repräsentative Bestandsaufnahme für die Bewertung chemischer Stoffe. In: gwf Wasser Abwasser 140, Nr.4, 1999, S.267-273
- HIMH (1998), Emission data for The Netherlands, 1996 and estimates for 1997. The Hague
- IKSE (1998), Internationale Kommission zum Schutz der Elbe: Erster Bericht über die Erfüllung des „Aktionsprogramms Elbe“. Magdeburg

- IKSR (1999), Internationale Kommission zum Schutz des Rheins: Rhein, Bestandsaufnahme der Einträge prioritärer Stoffe 1996. Koblenz
- IPPC (1999a): Integrated Pollution Prevention and Control: Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Glass Manufacturing Industry. European Commission, IPPC Bureau, Sevilla
- IPPC (1999b): Integrated Pollution Prevention and Control: Draft Best Available Techniques Reference Document on the Chlor-Alkali Industry- Draft February 1999. European Commission, IPPC Bureau, Sevilla
- IPPC (2000): Integrated Pollution Prevention and Control: Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel. European Commission, IPPC Bureau, Sevilla, March 2000
- Jordan, H.; Weder, H.-J. (1995): Hydrogeologie. Enke, Stuttgart
- Koppe, P.; Stozek, A. (1999): Kommunales Abwasser - Seine Inhaltsstoffe nach Herkunft, Zusammensetzung und Reaktionen im Reinigungsprozess einschließlich Klärschlämme. 4. Auflage, Vulkan-Verlag, Essen
- Kretschmar, R. (1977): Stofftransport in ländlichen Entwässerungsgräben und Vorflutern. Landwirtschaftliche Forschung 30
- LABO (1998): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden.- In: Rosenkranz, D. et al. (Hrsg.): Handbuch des Bodenschutzes, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- LfU (1994): Grundwasserüberwachungsprogramm – Geogen geprägte Beschaffenheit des Grundwassers. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe
- LfU (1996): Schadstofftransport bei Hochwasser. Handbuch Wasser 2. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe
- LfU (1998): Beschaffenheit der Fließgewässer. Jahresdatenkatalog 1998. Cd der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe
- LUA (2000), Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen: Grundwasserbericht 1999. In Vorbereitung
- LAWA (1998), Länderarbeitsgemeinschaft Wasser: Ableitung und Erprobung von Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer für die Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink. Kulturbuchverlag, Berlin
- Liebscher, H.J.; Keller, R. (1979): Abfluss. In: Keller, R. (Hrsg.). Hydrologischer Atlas der Bundesrepublik Deutschland (Textband), Bonn

- MATE (1997), Ministere de l'Amenagement du Territoire et de l'Environnement: Emissions of waste waters and gases from industries in France 1996. Paris
- MATE (1998), Ministere de l'Amenagement du Territoire et de l'Environnement: Principaux rejets industriels en France - Bilan de l'année 1997. Paris
- Meißner, E. (1991): Abschätzung der mittleren Jahresschmutzwasserfrachten aus Mischwassereinleitungen. In: Wasser-Abwasser-Abfall 7, Kassel
- Merian, E. (1984): Metalle in der Umwelt. Verlag Chemie, Weinheim
- Mohaupt, V.; Sieber, U.; Roovaart, J. van de; Verstappen, C.G.; Langenfeld, F.; Braun, M. (1998): Diffuse sources of heavy metals in the German Rhine catchment. 3rd International IAWQ-Conference on Diffuse Pollution, 31.8-4.9.1998, Edinburgh
- Müller, Ch.; Lepschy, J.; Süß, A.; Wurzinger, A. (1991): Amosphärische Stoffdeposition in agrarische Ökosysteme. VDLUFA-Schriftenreihe 32, S. 147-152
- MURL (1999), Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Entwicklung und Stand der Abwasserbeseitigung in Nordrhein-Westfalen. 7. Auflage, MURL, Düsseldorf
- Muschack, W. (1989): Straßenoberflächenwasser – eine diffuse Quelle der Gewässerbelastung. Vom Wasser 72, S. 267-282
- MWV (2000), Mineralölwirtschaftsverband e.V.: Mineralöl-Zahlen 1999, Hamburg
- Neuman-Hensel, H.; Winteler, S. (1993): Einleiterkataster der deutschen Nordseeküste. Ökopol im Auftrag des WWF, Hamburg
- NLfB (2000): Digitaler Atlas Hintergrundwerte. Cd des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung, Hannover
- Nordic Council of Ministers (1994): Amospheric heavy metal deposition in Europe. Nordic Council of Ministers, Copenhagen
- Novotny, V (1995): Diffuse sources of pollution by toxic metals and impact on receiving waters. In: Salomons, W.; Förstner, U.; Mader, P. (Hrsg.): Heavy metals – problems and solutions. Springer, Berlin, S. 33-53
- OECD (1996a): Pollutant Release and Transfer Registers - A Tool for Environmental Policy and Sustainable Development: A Guidance Manual for Governments. Paris
- OECD (1996b): Recommendation of the Council on Implementing Pollutant Release and Transfer Registers. OECD Dokument C(96)41/Final. Paris
- Ökobase (1998): Umweltatlas Version 1.0, Clemens Hölter GmbH, Haan

- Oslo and Paris Commissions (1994): Atmospheric, Riverine and Direct Inputs to the Marine Environment 1991-1992. Oslo and Paris Commissions, London
- PARCOM (1997a): Report on Mercury Losses from the Chlor-Alkali Industry. Oslo and Paris Commissions, London
- PARCOM (1997b): Report on Discharges from Refineries. Oslo and Paris Commissions, London
- PARCOM (1998): Waste from the Titanium Dioxide Industry. Oslo and Paris Commissions, London
- PER (1994): Draft Instrument for a Polluting Emissions Register. Europäische Kommission, Generaldirektion XI, April 1994
- Peters, M. (1990): Nutzungseinfluss auf die Stoffdynamik schleswig-holsteinischer Böden – Wasser-, Luft-, Nähr- und Schadstoffdynamik. Dissertation, Universität Kiel
- Raderschall, R. (1996): Abschätzung der diffusen Stoffeinträge in der Hunte über Ergebnisse aus Modell-Einzugsgebieten. Wasserwirtschaft, 86, S. 14 – 18
- Salomons, W.; Förstner, U. (1984): Metals in the Hydrocycle. Springer, Berlin
- Schäfer, M. (1999): Regionalisierte Stoffstrombilanzen in städtischen Einzugsgebieten – Möglichkeiten, Probleme und Schlussfolgerungen. Schriftenreihe des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft der Universität Karlsruhe, 97
- Schäfer, M.; Hahn, H.H.; Xanthopoulos, C. (1997): Entlastungstätigkeit und Schmutzstoffrückhalt von Regenüberlaufbecken im Einzugsgebiet der Alb – am Beispiel ausgewählter Mikroschadstoffe. In: Schmitt, T.G. (Hrsg.): Stoffströme in der Urbanhydrologie Teil 2, Kanalisation. Schriftenreihe des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft 66, Universität Karlsruhe
- Scheffer, F.; Schachtschabel, P. (1992): Lehrbuch der Bodenkunde. Enke, Stuttgart
- Schneidmadl, J. (1999): Ökologischer Vergleich von Abwassersystemen. Diplomarbeit an der Universität Karlsruhe und am Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Karlsruhe
- Schönberger, H. (2000): Die gegenwärtige Verbrauchs- und Emissionssituation der deutschen Textilveredlungsindustrie. Teilbericht zum UBA-Vorhaben Nr. 102 06 524 „Aufbau eines Emissionsinventars Wasser für die Bundesrepublik Deutschland“, Gottenheim
- Schultz, R. (1987): Vergleichende Betrachtung des Schwermetallhaushalts verschiedener Waldökosysteme Norddeutschlands. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben, Reihe A, Band 32, Universität Göttingen
- Schwertmann, U.; Vogl, W.; Kainz, M. (1987): Bodenerosion durch Wasser; Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. Ulmer, Stuttgart

- Severin, K.; Köster, W.; Matter, Y. (1991): Zufuhr von anorganischen Schadstoffen in Agrarökosysteme mit mineralischen Düngemitteln, Wirtschaftsdüngern, Klärschlämmen und Komposten. VDLUFA-Schriftenreihe 32, S. 387-391
- Sieker, F.; Lammersen, R.; Ristenpart, E. (1993): Bilanzierung von Schmutzstoffeintritten aus dem Niederschlagsabflussgeschehen in einem Gewässer. Niederschlagsbedingte Schmutzbelastung der Gewässer aus städtischen befestigten Flächen (Abschlussbericht Teilprojekt 7), Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe
- Solvay (1998), Werk Rheinberg, Umweltdaten 1991-1997. Solvay Deutschland GmbH, Hannover
- StaBu (1996a), Statistisches Bundesamt: Fachserie 3, Reihe 4.1: Viehbestand.
- StaBu (1996b), Statistisches Bundesamt: Fachserie 8, Reihe 4 - Binnenschifffahrt. Metzler-Poeschel, Stuttgart
- StaBu (1998a), Statistisches Bundesamt: Umwelt, Fachserie 19, Reihe 2.1 - Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung 1995. Metzler-Poeschel, Stuttgart
- StaBU (1998b), Statistisches Bundesamt: Umwelt, Fachserie 19, Reihe 2.2 – Bergbau und Verarbeitendes Gewerbe 1995. Metzler-Poeschel, Stuttgart
- StaBu(1998c), Statistisches Bundesamt: Fachserie 4, Reihe 8.2 - Düngemittelversorgung Wirtschaftsjahr 1997/1998. Metzler-Poeschel, Stuttgart
- StaBu (1999), Statistisches Bundesamt: Sonderauswertung für das ISI, Berlin 1999
- Stotz, G.; Knoche, G. (2000): Herkunft und Auswirkung von Cu, Zn, Pb, Cd und Hg aus diffusen Quellen auf die Oberflächengewässer. UBA-Vorhaben Nr. 297 24 519
- TA Siedlungsabfall (1993), Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen vom 14. Mai 1993, BAnz. Nr. 99a vom 29.05.1993
- UBA (1997) Umweltbundesamt: Daten zur Umwelt – Der Zustand der Umwelt in Deutschland. Ausgabe 1997. Erich Schmidt Verlag, Berlin
- UBA (1999) (Clausen et al.): Umweltqualitäts- und Umwelthandlungsziele im Gewässerschutz - Sachstand und Ausblick. Umweltbundesamt - Texte 91/99, Berlin
- Ullmann (1986), Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry. Vol. A6, Chlorine. Weinheim

- UN-ECE (1998): Fourth Ministerial Conference - Environment for Europe: Convention on Access to Information, Public Participation in Decision-Making and Access to Justice in Environmental Matters, ECE/CEP 43, Århus, 23-25 June 1998
- UNITAR (1996): Guidance Series on Implementing a National PRTR Design Project. (http://irptc.unep.ch/prtr/docs01.html#unitar_cat)
- UstatG (1994): Gesetz über Umweltstatistiken (Umweltstatistikgesetz), Bundesgesetzblatt Teil I, S. 2530
- VCI (1999): Responsible-Care-Bericht 1999, Frankfurt
- VCI (2000): Endbericht für das Jahr 2000 gemäß Artikel 2.2. der Vereinbarung zwischen Rotterdam und dem VCI vom 17. November 1995. VCI, Frankfurt
- VGB (1999), VGB Technische Vereinigung der Grosskraftwerksbetreiber e.V., persönliche Mitteilung
- Vink, R.; Behrendt, H.; Salomons, W. (1998): Point and diffuse source analysis of heavy metals in the Elbe Drainage Area. GKSS Forschungsbericht, Geesthacht
- Vink, R. (2000): Present and future quality of sediments in the Rhine catchment area. In Vorbereitung
- Wasserrahmenrichtlinie (2000): Richtlinie 2000/ /EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Gemeinsamer Entwurf - nach Billigung durch den Vermittlungsausschuss, Brüssel, 18. Juli 2000
- Werner, W.; Wodsak, H.-P. (1994): Stickstoff- und Phosphateintrag in die Fließgewässer Deutschlands unter besonderer Berücksichtigung des Eintragungsgeschehens im Lockergesteinsbereich der ehemaligen DDR. Schriftenreihe Agrarspektrum 22, Verlagsunion Agrar, Frankfurt
- Wilcke, W.; Döhler, H. (1995): Schwermetalle in der Landwirtschaft. KTBL-Arbeitspapier 217, 98 S.
- Willme, U., Schulte-Ebbert, U., Hollerung, R., Schöttler, U. (1995): Verhalten von Schwermetallen unter wechselnden Redoxbedingungen im Grundwasser. In: Schöttler, U. & Schulte-Ebbert, U. (Hrsg.): Schadstoffe im Grundwasser. VCH, Weinheim. S. 259-307
- Winteler, S. (1993): Stickstoffeinträge in das Nordsee-Einzugsgebiet. Ökopol im Auftrag des WWF, Hamburg
- Wirtschaftsvereinigung Stahl (1998) (Hrsg.): Statistisches Jahrbuch der Stahlindustrie: 1998 und 1999/2000. Verlag Stahleisen, Düsseldorf

Danksagung

Dieses Forschungsvorhaben wurde vom Umweltbundesamt gefördert. Unser Dank gilt insbesondere Herrn Mehlhorn, Herrn Dr. Heidemeier und Herrn Dr. Mohaupt die das Vorhaben während des Bearbeitungszeitraumes mit großem Interesse und zahlreichen fachlichen Anregungen begleitet haben.

Weiterhin möchten wir ganz besonders Herrn Dr. Behrendt vom Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Berlin für das Überlassen des Modells MONERIS, die zahlreichen Ratschläge zu dessen Anwendung und für seine wertvollen Beiträge während der Projektbearbeitung danken.

Für die freundliche Unterstützung und die Bereitstellung von Daten zu Schwermetallablaufkonzentrationen kommunaler Kläranlagen und Frachtdaten von industriellen Direkteinleitern danken wir den Ministerien, Landesämtern, Regierungspräsidien und Bürgermeisterämtern der Bundesländer sowie den angesprochenen Unternehmen und Betreibern.