

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

- Wasserwirtschaft -

Forschungsbericht 298 22 243

UBA-FB 000181

Bilanzierung des Eintrags prioritärer Schwermetalle in Gewässer

**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)

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 Direkteinleitern 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 Iterationsschritte erforderlich, die häufiger zu Korrekturen bisher verwendeter Emissionswerte führten. Daher ergeben sich teilweise Abweichungen zu den in internationalen Berichten enthaltenen Werten.

Insgesamt haben die ermittelten Frachten industrieller Direkteinleiter zweifellos die höchste Zuverlässigkeit, auch wenn in einer Reihe von Fällen die aus internationalen Berichten vorliegenden Werte korrigiert werden mussten. Zur Erhebung der Schwermetallemissionen industrieller Direkteinleiter wurden die in den Bundesländern vorliegenden Daten systematisch abgefragt und ausgewertet. Zusätzlich konnten noch Umweltberichte einzelner Unternehmen, internationale Berichte und zwei Forschungsberichte für die Auswertung

genutzt werden. Für alle untersuchten Schadstoffe wurden Listen der bedeutendsten industriellen Direkteinleiter 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 bundesweiten 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.

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 %).

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.

Summary

In this project, for the first time the discharges of the heavy metals arsenic, cadmium, chrome, copper, mercury, nickel, lead and zinc were quantitatively estimated for Germany as a whole. The discharge data were compiled and aggregated by type of source (industrial and municipal point sources, diffuse sources), with a breakdown by industrial source sector or emission pathway and by major river basin (Danube, Rhine, Ems, Weser, Elbe, Oder, North Sea, Baltic Sea). The reference period was 1993 - 1997 or, in the case of industrial direct emitters, the year 1997.

A wide range of individual and aggregated data were used for the inventory, such as monitoring data of the Federal States, data from international reports, environmental reports of companies, reports from industrial associations and the results of different research projects. The quality of the available data varied considerably, and they therefore had to be checked for plausibility and compatibility. In most cases, this process required several iterative steps which often led to corrections of formerly used emission figures. As a result, there are some deviations from figures previously published, e.g. in international reports.

The information on discharges of industrial direct emitters is doubtlessly the most reliable, even if in some cases the data of international reports had to be corrected. In order to assess the heavy metal emissions of industrial direct emitters, the data available from the Federal States were systematically analysed. Environmental reports of different companies, international reports and two research reports were complementary sources for the evaluation. For all pollutants considered, lists of the most important industrial direct emitters were compiled. These lists were handed back to the Federal States for cross-checking and release. As the emissions data were checked and, in some instances, corrected by the state authorities, there is a high probability that the load figures for 1997 are correct, at least in the case of the main emitters.

The discharges from municipal water treatment rank second in terms of data quality. The emission loads are estimates. However, the data on waste water volume which were used for the estimation were obtained from extensive statistics for municipal waste water treatment plants. To obtain emission concentrations, data on concentrations in plant effluent were compiled for all of Germany and these values were then used to derive representative emission concentrations for major river basins.

The diffuse emissions are subject to the greatest uncertainties. Before evaluating the heavy metal discharges, a number of hypotheses had to be made. Although such assumptions are made carefully, the multiplication of the inherent uncertainty may lead to significant errors being made. These uncertainties should be considered when interpreting the results. In follow-up projects, some of which have already started, the assumptions and evaluations will be reviewed and improved.

When examining the overall results, the uncertainties associated with the evaluation of the diffuse emission pathways take on particular importance because the diffuse emissions of the heavy metals are considerably higher than the emissions of the sum of point sources from industry and municipal water treatment (see table below). The share of diffuse heavy metal sources was on average about 75%. The most important pathways of input for diffuse emissions are urban areas (above all, storm-water overflow from both separate and combined sewage systems) and erosion, each with an average of 31%, as well as input via groundwater with about 20% (chrome 37%, nickel 34%). For the heavy metals, external inputs via groundwater roughly depict the geogenic background pollution. Another important source for

cadmium and zinc emissions is drainage, accounting for 17% and 15%, respectively, of total diffuse emissions.

The point sources can be divided into municipal and industrial. On average, municipal waste water treatment accounts for 77% of total emissions of the heavy metals from point sources (between 62 % for lead and almost 93 % for mercury). Differentiating industrial direct discharges according to the appendices of the Waste Water Ordinance (Article 7a of the Federal Water Act), the chemical industry (Appendix 22) was found to be the most important industrial source sector, with 40 % of the total industrial discharge. In addition, there are some other major source sectors which are regulated by other appendices and belong to or include the chemical industry (Appendix 30: production of soda, Appendix 43: chemical fibres, Appendix 48: use of certain dangerous substances etc.) Other important industrial source sectors are nonferrous metal production (Appendix 39; the sector with the highest emissions of cadmium and lead) and the iron and steel industry (especially for zinc).

The evaluation for each parameter also included the documentation of the ten most important direct emitters. These emitters' share of the total industrial discharge was between 82% for lead and 59% for nickel. Dividing total discharges up among the various river basins, the share of all heavy metals (excluding arsenic) was 39% for the Rhine, about 24% for the Elbe, nearly 17% for the Danube and 11% for the Weser, followed by the Baltic Sea (4%), the Ems (3%), the North Sea (2%) and the Oder (1%).

Table 1: Heavy metal emissions into German river basins (reference year 1997)

River area basin	discharge	As ¹ [kg]	Cd [kg]	Cr [kg]	Cu [kg]	Hg [kg]	Ni [kg]	Pb [kg]	Zn [kg]
Danube	Industrial	28	44	1.252	1.772	9	1.353	504	20.717
	Municipal	-	207	5.514	16.834	195	7.686	5.440	115.133
	Diffuse	-	2.413	87.273	90.210	634	61.244	84.777	540.156
	Total	-	2.664	94.039	108.817	838	70.283	90.721	676.006
Rhine	Industrial	1.385	362	13.760	21.791	143	15.894	12.384	82.719
	Municipal	-	1.707	28.822	72.862	1.571	53.209	20.677	374.064
	Diffuse	-	4.513	119.400	184.173	1.318	96.122	144.150	1.080.963
	Total	-	6.582	161.982	278.826	3.032	165.225	177.212	1.537.745
Ems	Industrial	0	4	44	166	2	135	73	5.041
	Municipal	-	62	963	2.292	107	2.027	789	15.422
	Diffuse	-	444	8.717	16.707	118	7.671	11.090	103.557
	Total	-	509	9.724	19.165	226	9.833	11.952	124.021
Weser	Industrial	26	60	962	1.190	7	1.302	1.202	13.248
	Municipal	-	246	3.830	8.986	447	6.987	2.718	54.785
	Diffuse	-	1.669	37.354	70.149	494	31.401	50.254	419.739
	Total	-	1.976	42.146	80.325	948	39.690	54.175	487.771
Elbe	Industrial	364	528	1.267	7.466	59	3.342	9.207	23.799
	Municipal	-	695	9.010	18.055	376	13.348	7.358	107.216
	Diffuse	-	3.536	75.967	183.221	1.009	62.799	111.986	867.948
	Total	-	4.759	86.244	208.741	1.445	79.490	128.551	998.964
Oder	Industrial	12	16	103	141	1	350	295	9.333
	Municipal	-	24	215	460	5	376	185	2.296
	Diffuse	-	141	2.428	6.319	38	2.233	3.953	34.298
	Total	-	180	2.746	6.920	44	2.958	4.432	45.927
North Sea	Industrial	8	2	3.027	35	1	248	44	3.917
	Municipal	-	24	368	1.490	45	769	334	8.448
	Diffuse	-	511	6.452	15.407	107	6.284	8.136	111.238
	Total	-	537	9.846	16.931	153	7.302	8.514	123.602

River area	basin	discharge	As ¹ [kg]	Cd [kg]	Cr [kg]	Cu [kg]	Hg [kg]	Ni [kg]	Pb [kg]	Zn [kg]
Baltic Sea	Industrial	1	0	20	84	0	34	43	326	
	Municipal	-	84	450	3.016	27	1.232	1.178	12.258	
	Diffuse	-	843	10.546	28.489	189	10.494	17.969	185.647	
	Total		927	11.016	31.589	216	11.760	19.190	198.231	
Germany Total	Industrial	1.824	1.016	20.435	32.646	223	22.659	23.752	159.099	
	Municipal	-	3.049	49.173	123.994	2.773	85.634	38.679	689.620	
	Diffuse	-	14.070	348.138	594.675	3.907	278.248	432.315	3.343.546	
	Total	-	18.134	417.745	751.315	6.903	386.542	494.746	4.192.266	

¹ There was no sufficient data base available for the quantification of diffuse and municipal inputs of arsenic.