

## Prioritäre Stoffe der Wasserrahmenrichtlinie

# Datenblatt Quecksilber

### Übersicht

Quecksilber (Hg) ist ein toxisches, bioakkumulierendes Schwermetall, das im Rahmen der WRRL als prioritär gefährlich eingestuft wurde. Die LA-WA-Zielvorgabe für Hg in Oberflächengewässern wurde 2004 an 19 % der Messstellen nicht eingehalten. Deutschland produziert kein primäres Hg. Die in Deutschland eingesetzten Mengen sind deutlich rückläufig. Die wichtigsten aktuellen Verwendungen sind die Chloralkalielektrolyse nach dem Amalgamverfahren, die Zahnmedizin, Knopfzellen und Leuchtstofflampen. Die Emissionen sind seit 1985 ebenfalls deutlich zurückgegangen. Die wichtigsten Emissionspfade sind die urbanen Flächen, Erosion und Drainage von landwirtschaftlichen Flächen sowie die kommunalen Kläranlagen. Die wichtigsten Ansatzpunkte für Emissionsminderungsmaßnahmen sind Maßnahmen im Bereich der Regenwasserbewirtschaftung, erosionsmindernde Maßnahmen in der Landwirtschaft, produktbezogene Maßnahmen sowie eine Reduktion der Luftemissionen, um dadurch einen Rückgang der durch atmosphärische Deposition bedingten Belastungen zu erreichen.

September 2006

---

Forschungsvorhaben "Emissionsminderung für prioritäre und prioritäre gefährliche Stoffe der Wasserrahmenrichtlinie"

**Thomas Hillenbrand, Frank Marscheider-Weidemann, Manuel Strauch** (Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung),  
**Kerstin Heitmann** (Ökopol - Institut für Ökologie und Politik)

## Prioritäre Stoffe: Datenblatt Quecksilber

<b>1</b>	<b>Nomenklatur, Stoffeigenschaften, Einstufung und Kennzeichnung .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Stoffspezifische Regelungen .....</b>	<b>4</b>
2.1	Bezogen auf Emissionen in Gewässer und Gewässerqualität .....	4
2.2	Qualitätsziele für Oberflächengewässer .....	5
2.3	Bezogen auf Emissionen in die Luft .....	6
2.4	Bezogen auf Emissionen in Böden .....	6
2.5	Bezogen auf Emissionen aus Produkten .....	7
<b>3</b>	<b>Monitoring-Ergebnisse.....</b>	<b>8</b>
3.1	Analytik (Bestimmungsverfahren, -grenzen) .....	8
3.2	Ergebnisse der Bestandsaufnahmen der Bundesländer und Flussgebietsgemeinschaften.....	9
3.3	Sonstige Ergebnisse Gewässer/Sediment .....	10
<b>4</b>	<b>Produktion und Verwendung .....</b>	<b>11</b>
4.1	Produktion in Deutschland und Europa.....	11
4.2	Verwendungen und aktuelle Entwicklungen in Deutschland bzw. Europa.....	12
<b>5</b>	<b>Emissionen in Gewässer .....</b>	<b>14</b>
<b>6</b>	<b>Ansätze für Emissionsminderungsmaßnahmen.....</b>	<b>22</b>
<b>7</b>	<b>Literatur.....</b>	<b>23</b>

# 1 Nomenklatur, Stoffeigenschaften, Einstufung und Kennzeichnung

Tabelle 1-1: Stoffeigenschaften von Quecksilber und Quecksilberoxid<sup>1</sup> (Frimmel et al., 2002; Merck, 2001; Streit, 1991; Ullmann, 1990; GESTIS, 2006)

Hauptname:	Quecksilber (Hg)	Quecksilber(II)oxid
Einordnung WRRL	prioritär gefährlich	prioritär gefährlich
CAS- Nummer	7439-97-6	21908-53-2
IUPAC- Name	Mercury	Mercury(II)oxide
EINECS- Nummer	231-106-7	244-654-7
Atomgewicht	200,59 g/mol	-
Molekulargewicht	-	216,59 g/mol
Aggregatzustand	flüssig	fest
<i>Chemisch-physikalische Stoffeigenschaften</i>		
Farbe	silberweiß	rot und gelb (abhängig von der Größe der Kristalle)
Geruch	geruchlos	
Wasserlöslichkeit	0,0056 mg/l (20°C) steigt mit der Temperatur stark an	unlöslich
Fettlöslichkeit	Q.- Dampf und organische Verbindungen: gut	
Dichte	13,595 g/cm <sup>3</sup> (25°C)	11,140 g/cm <sup>3</sup> (20°C)
Dampfdruck	0,266 Pa (20°C)	
Schmelzpunkt	-38,8°C	500°C (Zersetzung)
Siedepunkt	357,3°C	
Brennbarkeit	keine	
Explosivität	keine	
Abbaubarkeit (biotischer und abiotischer Abbau)	Hg als Schwermetall nicht abbaubar	
Sorptionsverhalten (K <sub>p</sub> -Wert)	Schwebstoffe: 124.000 bzw. 164.000 l/kg	
Bioakkumulation	Hoch für organische Quecksilberverbindungen und für HgCl <sub>2</sub>	
Toxizität/Ökotoxizität	Menschen: insbesondere Hg-Dämpfe sind äußerst giftig; Giftwirkung beruht auf der Blockierung von lebenswichtigen Enzymen, wodurch Körperzellen massiv geschädigt werden, (u. a. Schädigung des zentralen Nervensystems). Fische: Akkumulationsfaktoren für Methylquecksilber zwischen 1.000 und 10.000. Phytoplankton: Konzentration von 0,1 bis 0,2 ppm (Biomkonzentrationsfaktor gegenüber Meerwasser: ca 10 <sup>4</sup> ). Hg-Akkumulationsfaktoren für Wasserpflanzen: 2.000 bis 20.000. Halbwertszeiten für Fische und Krebs: 2-3 Jahre.	
Wichtigste Verbindungen	Quecksilberdichlorid, Dimethylquecksilber, Quecksilber(II)oxid, sonstige organische Quecksilberverbindungen	
<b>Einstufung:</b>	<b>Quecksilber (Metall)</b>	<b>Quecksilberverbindungen</b>
Wassergefährdungsklasse	3	3
MAK-Wert <sup>2</sup>	0,1 mg/m <sup>3</sup> (Einatembare)	0,01 mg/m <sup>3</sup> (Einatembare)
R+S Sätze	R 23-33-50/53 S (1/2)-7-45-60/61	R 26/27/28-33-50/53 S (1/2)-13-28-36-45-60-61

<sup>1</sup> Quecksilberoxid wurde beispielhaft als relevante Quecksilberverbindung ausgewählt.

<sup>2</sup> Seit 1. Januar 2005 besteht mit dem Inkrafttreten der neuen Gefahrstoffverordnung ein neues Grenzwert-Konzept mit gesundheitsbasierten Grenzwerten (Arbeitsplatzgrenzwert, Biologischer Grenzwert). Die alten Bezeichnungen MAK-Werte und BAT-Werte sind bis zur vollständigen Umsetzung der Verordnung als Richt- und Orientierungsgrößen weiter zu verwenden (BGIA, 2006).

## 2 Stoffspezifische Regelungen

### 2.1 Bezogen auf Emissionen in Gewässer und Gewässerqualität

- **EU-Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG:** Ordnungsrahmen für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich Wasserpolitik und Festlegung der prioritären Schadstoffe. Einstufung Quecksilber: prioritär gefährlich.
- **Wasserhaushaltsgesetz (WHG, zuletzt geändert 2005):** Nach §7a ist eine wasserrechtliche Erlaubnis für das Einleiten von Abwasser nur zu erteilen, wenn die Schadstofffracht entsprechend dem Stand der Technik verringert wird. Die entsprechenden emissionsbezogenen Anforderungen nach dem Stand der Technik werden in der **Abwasserverordnung (AbwV, 2004)** festgelegt. Die AbwV dient außerdem der Umsetzung diverser EG Richtlinien, u. a. 82/176/EWG, 84/156/EWG und 2000/76/EG und legt Analyseverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung fest. In den Anhängen sind branchenspezifische Anforderungen an Abwässer vor Vermischung angegeben, mit Grenzwerten im Allgemeinen bei 0,05 mg/l Hg, wie z. B. für die Chloralkalielektrolyse und die Metallbearbeitung.
- **Abwasserabgabengesetz (AbwAG, 2005):** Abwasserabgabe richtet sich nach der Schädlichkeit des Abwassers, u. a. nach dem Quecksilber-Gehalt.
- **EU-Oberflächenwasserrichtlinie 75/440/EWG:** Qualitätsanforderungen an Oberflächengewässer für die Trinkwassergewinnung, u. a. zwingende Werte (0,001 mg/l) und Leitwerte (0,0005 mg/l) für Quecksilber.
- **EU-Richtlinie zur Kontrolle der Oberflächengewässer 79/869/EWG:** Messmethoden, Probennahme, Analyse.
- **EU-Muschelgewässerrichtlinie 79/923/EWG:** Konzentration von Quecksilber in Muschelwasser und –fleisch darf sich nicht auf die Tiere oder die Qualität der Erzeugnisse schädlich auswirken. Halbjährliche Probenahme und Messung vorgeschrieben.
- **EU-Gewässerschutzrichtlinie 2006/11/EG** (ehemals RL **76/464/EWG**): Verschmutzung infolge der Ableitung gefährlicher Stoffe in Gewässer soll beseitigt werden.
- **EU-Richtlinie über Quecksilberableitungen 82/176/EWG:** Grenzwerte und Qualitätsziele für Hg-Ableitungen aus dem Industriezweig Alkalichloridelektrolyse.
- **EU-Quecksilberrichtlinie 84/156/EWG:** Grenzwerte und Qualitätsziele für Hg-Einleitungen mit Ausnahme des Industriezweiges Chloralkalielektrolyse.
- **EU-Grundwasserrichtlinie 80/68/EWG:** Mitgliedsstaaten sollen Maßnahmen ergreifen um u. a. die Einleitung von Quecksilber in Grundgewässer zu verhindern. Genehmigungspflicht u. a. für Ableitungen.
- **EU-IVU (IPPC) Richtlinie 96/61/EG** (Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung): Industrielle und landwirtschaftliche Tätigkeiten in Anhang I

unterliegen einer behördlichen Genehmigungspflicht. Die Genehmigungen sollen nach dem Konzept der besten verfügbaren Techniken (BAT) erteilt werden.

- **EU-Trinkwasserrichtlinie 98/83/EG:** Parameterwert für Hg in Trinkwasser (1,0 µg/l).
- **EU-EPER-Entscheidung 2000/479/EG:** Aufbau eines Europäischen Schadstoffemissionsregisters (EPER) gemäß EG-RL 96/61. Emissionen größer als 10 kg Hg/Jahr in die Luft oder 1 kg Hg/Jahr ins Wasser müssen gemeldet werden.
- **EU-E-PRTR Verordnung 166/2006/EG:** Schaffung eines Europäischen Schadstofffreisetzungs- und -verbringungsregisters (PRTR). Schwellenwerte zur Meldungspflicht der Freisetzung von Hg in die Luft: 10 kg/Jahr; in Gewässer: 1 kg/Jahr; in den Boden: 1 kg/Jahr. Erstes Berichtsjahr ist 2007, die Berichte der Mitgliedsstaaten an die Kommission müssen danach innerhalb von 18 Monaten abgegeben werden.

## 2.2 Qualitätsziele für Oberflächengewässer

Für Oberflächengewässer sind für verschiedene Schutzziele und mit unterschiedlichen juristischen Verbindlichkeiten Qualitätsziele festgelegt worden (s. Tabelle 2-1). In Tabelle 2-2 ist die Gewässergüteklassifikation für Hg für das Schutzgut mit der strengsten Zielvorgabe aufgeführt (Quecksilber: aquatische Lebensgemeinschaft). Die anzustrebende Zielvorgabe für die deutschen Gewässer ist die Güteklasse II.

Tabelle 2-1: Zielvorgaben (ZV) für Quecksilber im Wasser (µg/l) bzw. Schwebstoff (mg/kg)

Gebiet	Status	Schutzgut	Wert	Referenz
Deutschland	ZV	A	0,8 mg/kg / 0,04 µg/l	LAWA, 1998a
Deutschland	ZV	S	1 mg/kg / 0,05 µg/l	LAWA, 1998a
Deutschland	ZV	T	0,5 µg/l	LAWA, 1998a
Deutschland	ZV	F	0,1 µg/l	LAWA, 1998a
Deutschland	ZV	B	1 µg/l	LAWA, 1998a
Rhein	ZV		0,5 mg/kg	IKSR, 2000
Elbe	ZV	A	0,8 mg/kg	IKSE, 1998
Elbe	ZV	S	0,8 mg/kg	IKSE, 1998
Donau	ZV		1,6 mg/kg	StMUGV, 2005
EG Oberflächengewässer	JD-UQN (draft)		0,05 µg/l ZHK: 0,07 µg/l	EU, Entwurf 2005
EG Oberflächengewässer	JD-UQN (draft)		0,05 µg/l ZHK: 0,07 µg/l	EU, Entwurf 2006
EG	Leitwert	T	0,0005 mg/l	Richtlinie 75/440/EWG
EG	Imperativ (Zwingender Wert)	T	1 µg/l	Richtlinie 75/440/EWG Richtlinie 98/83/EG

Schutzgüter: A = „Aquatische Lebensgemeinschaften“, S = „Schwebstoffe/Sedimente“, T = „Trinkwasserversorgung“, F = „Berufs- und Sportfischerei“, B = „Bewässerung landwirtschaftlich genutzter Flächen“; kursiv: Gesamtkonzentrationen aus Schwebstoffzielvorgaben berechnet (25 mg/l Schwebstoff).

JD = Jahresdurchschnitt

ZHK = zulässige Höchstkonzentration

UQN = Umweltqualitätsnorm

EU, Entwurf 2005 = Draft for consultation of the Directive on environmental quality standards and emission controls in the field of water policy, Entwurf Juli 2005. (zitiert nach BMU, 2006)

EU, Entwurf 2006 = Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik und zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG {KOM(2006)398 endgültig}

Tabelle 2-2: Güteklassifikation von Hg im Schwebstoff nach der strengsten Zielvorgabe (für Quecksilber aquatische Lebensgemeinschaften) (LAWA, 1998a)

Güteklasse - GKL		I	I-II	II	II-III	III	III-IV	IV
Hg	mg/kg	≤ 0,2	≤ 0,4	≤ 0,8	≤ 1,6	≤ 3,2	≤ 6,4	> 6,4

### 2.3 Bezogen auf Emissionen in die Luft

- **BlmSchV - 13. Bundesimmissionsschutzverordnung (2004):** Großfeuerungs- und Gasturbinenanlagen (Umsetzung EU-Richtlinie 2001/80/EG). Emissionsgrenzwert für Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe: 0,03 mg Hg/m<sup>3</sup>.
- **EU-Großfeuerungsanlagenrichtlinie 2001/80/EG:** Maßnahmen zur SO<sub>2</sub> Emissionsminderung können auch die Hg-Emissionen verringern.
- **BlmSchV - 17. Bundesimmissionsschutzverordnung (2003):** (Umsetzung EU-Richtlinie 2000/76/EG) Festlegung von Grenzwerten für Müllverbrennungsanlagen (Tagesmittelwert: 0,03 mg/m<sup>3</sup> Hg; Halbstundenwert: 0,05 mg/m<sup>3</sup>).
- **TA Luft (Ausgabe 2002):** begrenzt allgemein die Emissionen an Hg gemäß der Klasse I Nr. 5.2.2 auf 0,25 g/h oder 0,05 mg/m<sup>3</sup>.
- **EU-Abfallverbrennungsrichtlinie 2000/76/EG:** legt für Abfallverbrennungsanlagen einen Emissionsgrenzwert von 0,05 mg/m<sup>3</sup> Hg fest und für Abwasser aus der Abgasreinigung 0,03 mg/l (Umsetzung der abwasserspezifischen Anforderungen über Anhang 47 AbwV).
- **EU-Richtlinie 2004/107/EG** (4. Tochterrichtlinie zur EU-Luftqualitäts-Rahmenrichtlinie 96/62/EG): Definition und Festlegung von Luftqualitätszielen und Kriterien zur Beurteilung der Luftqualität. Über die 4. Tochter-RL werden neben Quecksilber Arsen, Kadmium, Nickel und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe geregelt.

### 2.4 Bezogen auf Emissionen in Böden

- **Klärschlammverordnung (AbfKlärV, 1992)** (dient auch zur Umsetzung der **EU-Klärschlammrichtlinie 86/278/EWG**): Der Hg-Gehalt in landwirtschaftlich zu verwertenden Klärschlämmen ist auf 8 mg/kg TS begrenzt. Für den Boden liegt der Grenzwert bei 1 mg/kg TS.
- **Bioabfallverordnung (BioAbfV, 1998):** Höchstwert für Quecksilber in Bioabfällen und in aus Bioabfällen hergestellten Produkten: 1 mg Hg/kg TS (bei einer Maximal-

menge von 20 t Bioabfall TM je Hektar) bzw. 0,7 mg Hg/kg TS (bei einer Maximalmenge von 30 t Bioabfall TM je Hektar innerhalb von drei Jahren).

- **Pflanzenschutzanwendungsverordnung (PflSchAnwV, 1992):** Vollständiges Anwendungsverbot für quecksilberhaltige Pflanzenschutzmittel.
- **EU-Richtlinie 91/689/EWG für gefährliche Abfälle:** Beim Nachweis von Hg erfolgt Einstufung als gefährlicher Abfall, sofern dieser bestimmte Eigenschaften des Anhangs III aufweist.

## 2.5 Bezogen auf Emissionen aus Produkten

- **Chemikalienverbotsverordnung (ChemVerbotsV, 1993):** (Umsetzung der EU-Richtlinien 48/94/EG, 60/94/EG, 59/96/EWG und 51/99/EWG) Quecksilberverbindungen und Zubereitungen, die Quecksilber enthalten, dürfen nicht in Antifoulingfarben, zum Schutz von Holz, zur Imprägnierung von schweren industriellen Textilien und zur Aufbereitung von Wasser eingesetzt werden.
- **Gefahrstoffverordnung (GefStoffV, 2004):** (Umsetzung der EU-Richtlinie 98/24/EG) Verbietet das Inverkehrbringen von Quecksilberverbindungen in Antifoulingfarben, zum Holzschutz, zur Imprägnierung schwerer industrieller Textilien und zur Wasseraufbereitung.
- **Verpackungsverordnung (VerpackV, 1998):** (Umsetzung der EU-Richtlinien 91/157/EG und 94/62/EG) Beschränkt die Konzentration von Hg in Verpackungen oder Verpackungsteilen. Hg darf weder bei der Fertigung noch beim Vertrieb bewusst als Bestandteil zugegeben werden.
- **EU-Verpackungsrichtlinie 94/62/EG:** begrenzt die Konzentration von Blei, Kadmi-um, Quecksilber und Chrom VI in Verpackungen kumulativ auf 100 Gewichts-ppm.
- **Schadstoff-Höchstmengenverordnung (SHmV, 2003):** Hg-Gesamtwerte für Fi-sche: 0,5 mg Hg/kg Frischgewicht.
- **Batterieverordnung (BattV, 1998):** (Umsetzung der **EU-Batterienrichtlinie 91/157/EWG**) Alte Batterien und Akkumulatoren müssen kostenlos an den Handel oder Rückgabestellen zurückgegeben werden, die sie verwerten oder entsorgen müssen. Geräte mit eingebauten schadstoffhaltigen Batterien sind verboten. Eine mühelose Entnahme der Batterie muss möglich sein. Batterien mit mehr als 0,0005 % Hg dürfen nicht in den Verkehr gebracht werden. Ausgenommen sind Knopfzellen mit bis zu 2 % Hg.
- **Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG, 2006):** (Umsetzung der EU-Richtlinien 2002/95/EG und 2002/96/EG). Es ist verboten, neue Elektro- und Elektronikgeräte in Verkehr zu bringen, die mehr als 0,1 Gewichtsprozent Quecksilber je homogenem Werkstoff enthalten.
- **EU-RoHS-Richtlinie 2002/95/EG:** Ab 1. Juli 2006 dürfen neu in Verkehr gebrachte Elektro- und Elektronikgeräte kein Quecksilber enthalten. Ausnahmen: Kompakt-

leuchtstofflampen (5 mg pro Lampe), stabförmige Leuchtstofflampen (Halophosphat 10 mg, Triphosphat 5 mg, Triphosphat lange Lebensdauer 8 mg), stabförmige Leuchtstofflampen für spezifische Anwendungen.

- **EU-WEEE-Richtlinie 2002/96/EG:** Quecksilberhaltige Bauteile von getrennt gesammelten Elektro- und Elektronik-Altgeräten müssen entfernt werden.
- **EU-Beschränkungsrichtlinie 76/769/EWG:** verbietet das Inverkehrbringen und die Verwendung von Quecksilberverbindungen in Pflanzenschutzmitteln, Holzschutzmitteln, Imprägnierungsmitteln und zur Aufbereitung von Brauchwasser.
- **EU-Pflanzenschutzmittelverordnung 79/117/EWG:** verbietet das Inverkehrbringen quecksilberhaltiger Pflanzenschutzmittel. Ausnahmen werden in folgenden EU-Richtlinien behandelt: 83/131/EWG, 85/298/EWG, 90/335/EWG und 91/188/EWG.
- **EU-Keramikgegenstände richtlinie 84/500/EWG:** beschränkt den Quecksilbergehalt in Keramikgegenständen in Berührung mit Lebensmitteln.
- **EU-Spielzeugrichtlinie 88/378/EG:** beschränkt die tägliche biologische Verfügbarkeit von Quecksilber in Spielzeug auf 0,5 µg Hg.
- **EU-Altfahrzeugrichtlinie 2000/53/EG:** verbietet Quecksilber in Fahrzeugen seit 2003 und stellt Mindestanforderungen für Bauteile, die nachweislich Quecksilber enthalten.
- **EU-Aus- und Einfuhrverordnung 304/2003/EG:** Hg unterliegt dem Ausfuhrnotifikationsverfahren. Quecksilberverbindungen (Pestizide) unterliegen dem PIC-Verfahren. Für quecksilberhaltige kosmetische Seifen besteht Ausfuhrverbot.
- **EU-Altstoffverordnung 793/93/EWG:** Quecksilber steht in der Liste der Altstoffe, die in Mengen von mehr als 1000 Tonnen jährlich in der Gemeinschaft hergestellt oder in sie eingeführt werden. Hersteller und Importeure müssen der Kommission Angaben zu dem Stoff übermitteln gemäß den in der Verordnung geforderten Informationen.

## 3 Monitoring-Ergebnisse

### 3.1 Analytik (Bestimmungsverfahren, -grenzen)

*DIN EN 1483* (Ausgabe August 1997): Bestimmungsverfahren ist die Kaltdampf-AAS. Im wässrigen Medium wird nur das Kation analytisch bestimmt. Mit der Atom-Emissionsspektrometrie lässt sich Quecksilber bis zu einer Bestimmungsgrenze von 0,0025 – 0,04 µg/l nachweisen (BLMP, 1999). An den Messstationen der Elbe schwanken die Bestimmungsgrenzen der Labore im Deutschen Teil zwischen 0,02 µg/kg und 0,5 µg/kg (IKSE, 2005).

### 3.2 Ergebnisse der Bestandsaufnahmen der Bundesländer und Flussgebietsgemeinschaften

Die Bewertung von Schwermetallbelastungen erfolgt anhand der von der LAWA (1998b) erarbeiteten chemischen Gewässergüteklassifikation (Tabelle 2-2). Seit 1992 werden an einer wachsenden Zahl von LAWA-Messstellen Schwebstoffuntersuchungen durchgeführt (1992:31; 2004:100). Die Güteklasse II und besser wurde in 2004 für Quecksilber (Schutzgut: aquatische Lebensgemeinschaften) an 81 % der LAWA-Messstellen, an denen Schwebstoffuntersuchungen für Quecksilber erfolgen, erreicht. Bei der Güteklassifikation für Quecksilber zeigte sich im Beobachtungszeitraum 1994 bis 2004 eine abnehmende Belastungssituation (UBA, 2006a). Der Vergleich der Mittelwerte der Jahre 2002 bis 2004 mit den Umweltqualitätsnormen zur Beurteilung des ökologischen Zustandes nach WRRL und den Qualitätskriterien der EU-Richtlinie 76/464/EWG ergibt keine Überschreitungen für Quecksilber. Auch an den wenigen Messstellen, an denen Daten in der filtrierten Probe erhoben wurden, wird für Quecksilber die Umweltqualitätsnorm eingehalten (BMU, 2006).

Tabelle 3-1: Überschreitungshäufigkeit im Zeitraum 2002-2004 von a) Zielvorgaben (GKL II), b) gemeinschaftlich geregelten Qualitätszielen der Tochterrichtlinien der Gewässerschutzrichtlinie 76/464 (EGQZ), c) Umweltqualitätsnormen für den chemischen Zustand WRRL, Entwurf Juli 2005 (UQN: Mittelwert; ZHK: zulässige Höchstkonzentration; nach BMU, 2006)

	GKL II	EGQZ	UQN	ZHK-UQN
<b>Zielwerte</b>	0,8 mg/kg	1 µg/l <sup>1)</sup>	0,05 µg/l <sup>2)</sup>	0,07 µg/l <sup>2)</sup>
<b>Überschreitungshäufigkeit</b>	10 bis 15 % der Messstellen	Einhaltung	Einhaltung	Einhaltung

1) Gesamtwasserprobe; 2) filtrierte Probe

Die Belastungssituation der Oberflächengewässer hinsichtlich der prioritären Stoffe wurde von den Bundesländern im Rahmen der Bestandsaufnahmen zur Wasserrahmenrichtlinie bewertet. Teilweise wurden dazu zusätzliche Untersuchungsprogramme initiiert. Von Seiten der LAWA erfolgte in 2005 eine Länderabfrage zu den Bewertungsergebnissen. Zusätzlich wurde abgefragt, wie von Seiten der Bundesländer die Relevanz der prioritären Stoffe aufgrund der im Juli 2005 als Entwurf vorliegenden Qualitätsnormen eingeschätzt wird. In Tabelle 3-2 ist die Zahl der Bundesländer angegeben, die den jeweiligen Stoff als relevant (Überschreitungen von Qualitätsnormen) bzw. nicht relevant eingestuft haben. Zu beachten ist, dass in den Ländern teilweise unterschiedliche Analyse- und Auswertungsverfahren sowie unterschiedliche Bewertungskriterien verwendet wurden. In der Tabelle sind außerdem Angaben zur Verfügbarkeit ausreichend empfindlicher Analyseverfahren sowie zu zusätzlich vorliegenden Monitoring-Ergebnissen mit aufgeführt.

Tabelle 3-2: Übersicht über Monitoring-Ergebnisse für Quecksilber in Deutschland (Ergebnisse der Länderabfrage 2005 nach Lehmann, Vietoris, 2006: Zahlen entsprechen Anzahl der Bundesländer)<sup>3</sup>

	Ergebnisse Länderabfrage			Sonstige Monitoring Ergebnisse	Gesamtbewertung
	Unzureichende Analytik	Bestandsaufnahme	UQN-Juli 2005		
Quecksilber	-	Relevant (7)	Relevant (7)	Relevant	Relevant

### 3.3 Sonstige Ergebnisse Gewässer/Sediment

Die natürliche Quecksilberkonzentration in anthropogen und geogen unbelasteten Fließgewässern liegt etwa im Bereich von 0,005 bis 0,02 µg/l. Ein erheblicher Teil der Hg-Gesamtgehalte im Süßwasser ist an Schwebstoffe adsorbiert. Der Hintergrundwert für die Quecksilbergehalte in feinkörnigen Sedimenten (Fraktion < 20 µm) wird für Deutschland mit 0,2 mg/kg angegeben. Regelmäßige Messungen werden schon seit 1986 durchgeführt, die gemessenen Konzentrationen liegen zwischen 0,1 und 4 mg/kg.

<sup>3</sup> Angaben zu Schwermetallen unter Vorbehalt (Gesamtwasserprobe)

Tabelle 3-3: Zeitliche Entwicklung der Quecksilberbelastung des suspendierten partikulären Materials (in mg/kg Trockenmasse; Mittelwerte; schattiert: Maximalwerte) (BMU, 1999; Daten ab 2001: ARGE Elbe; IKS, 2001)

	1988	1990	1992	1994	1996	1999	2001	2002	2003	2004
<b>Donau, Jochenstein</b>	0,56	0,40	0,80	0,50	0,20	0,13				
<b>Rhein, Kleve-Bimmen</b>		0,60	0,72	0,39	0,58	0,47	0,49			
<b>Weser, Bremen</b>	0,58	0,58	0,58	0,28	10,29	0,25				
<b>Elbe, Schnackenburg</b>	16,3	21,1	11,9	17,5	4,1	3,6	3,5	3,4	2,5	2,8
<b>Oder, Schwedt</b>					2,5	1,2				

Für die Meeres- und Küstengewässer wurde in den Jahren 2002 bis 2004 keine Überschreitung der UQN (0,3 µg/l) für Quecksilber festgestellt (UBA, 2005).

## 4 Produktion und Verwendung

Hauptbasis der Quecksilbererzeugung sind sulfidische Erze, die in relativ geringen Gehalten Zinnober (HgS) enthalten. Teilweise wird Quecksilber in Verbindung mit der Schwefelsäureproduktion, durch die Entfernung aus Erdgas oder durch die Veraschung von Kohle gewonnen. Einen wesentlichen Beitrag zur Quecksilbererzeugung liefert die Aufarbeitung von Sekundär-Quecksilber aus unterschiedlichsten Verwendungen.

### 4.1 Produktion in Deutschland und Europa

Weltweit wichtigste Quecksilberproduzenten sind Spanien und Kirgistan, in der EU wird außerdem in Finnland Hg als Beiprodukt in der Zinkproduktion hergestellt (50 – 70 t Hg/a) und in den Niederlanden als Beiprodukt bei der Behandlung von Erdgas (ca. 10 t) (EU, 2002). Durch die Außerbetriebnahme von Chloralkalielektrolysebetrieben, die nach dem Amalgamverfahren betrieben werden, werden in den nächsten Jahren zusätzliche Hg-Mengen freigesetzt. In Deutschland gibt es keine Primärproduktion von Quecksilber, jedoch hat die Aufarbeitung quecksilberhaltiger Abfälle eine größere Bedeutung (Rauhut, 1996).

Tabelle 4-1: Quecksilber-Hersteller/Importeure in Europa

Land	Hersteller, Standort	Kommentare
<b>Finnland</b>	Outokumpu Zink Oyj, Kokkola	ESIS, 2006 (primärer Produzent: by-product)
<b>Deutschland</b>	Degussa AG, Frankfurt am Main	ESIS, 2006 (kein primärer Produzent)
	Merck KGaA, Darmstadt	ESIS, 2006 (kein primärer Produzent)
	Dmc <sup>2</sup> , Degussa Metals Catalysts Cerdec AG, Hanau	ESIS, 2006 (kein primärer Produzent)
<b>Spanien</b>	Mayasa (Minas de Almadén y Arrayanes SA), Almadén	EU, 2004a (nicht im ESIS verzeichnet) (primärer Produzent)

Infolge starker Preisschwankungen haben die Quecksilberverarbeiter und der –handel in der Vergangenheit in stark wechselndem Umfang spekulative Lagerhaltung betrieben (Rauhut, 1996), die zu den starken Schwankungen des weltweiten Produktionsvolumens geführt hat. Ausschlaggebend für die weltweit rückläufige Tendenz bei Verbrauch und Produktion waren Verwendungsbeschränkungen, Emissionsauflagen und Substitutions-erfolge durch neue technische Lösungen in praktisch allen Einsatzgebieten (Metallsta-

tistik, verschiedene Jahrgänge). Detaillierte Informationen über die Quecksilberrecycling-Produktion in Europa sind nicht vorhanden (Hylander and Meili, 2004). Die Welt-Primärproduktion lag zwischen 1995 und 2000 bei 3.000 – 4.000 t/Jahr, für das Jahr 2001 wird eine Produktion von 1.800 t angegeben (UNEP, 2002).

Tabelle 4-2: Quecksilber Produktion in Europa in t Hg/a (GTK, 2005; Instituto Geológico y Minero de España, 2003; UNEP, 2002; Hylander and Meili, 2002; Canadian Minerals Yearbook, 2003.)

	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
<b>Finnland</b>	98	89	90	88	63	80	80	45	71,2	50,6	25	23,5
<b>Spanien</b>	643	393	1497	862	863	675	600	237	524	726		
<b>EU primär</b>	791	531	1648	1137	477	548	473	281				

Anm.: Die verschiedenen Literaturquellen weisen teils unterschiedliche Werte für dasselbe Jahr auf. Bspw. ist in manchen Jahren die gesamte Europäische Produktion geringer als die Einzelproduktion eines Landes.

## 4.2 Verwendungen und aktuelle Entwicklungen in Deutschland bzw. Europa

Von der EU-Kommission wurde in 2005 die "Gemeinschaftsstrategie für Quecksilber" vorgelegt, durch die die mit Hg verbundenen Risiken für die Umwelt und für die menschliche Gesundheit verringert werden sollen<sup>4</sup>. Diese sieht verschiedene Maßnahmen vor, um u. a. die Emissionen zu verringern, Exporte aus der EU zu verbieten und den Wissensstand zu verbessern. Die wichtigsten aktuellen Verwendungen von Hg in Deutschland sind im Folgenden kurz beschrieben.

- **Chloralkalielektrolyse (Amalgamverfahren):** Chlor und Natronlauge werden durch Amalgam-, Diaphragma- und Membranverfahren gewonnen. Aus ökologischen Gründen und zur Kostensenkung bei neuen Anlagen ersetzt das Membranverfahren immer weiter das Amalgam-Verfahren. Nach der neuen TA-Luft (2002) dürfen Anlagen zur Herstellung von Chlor nicht mehr nach dem Amalgam-Verfahren errichtet werden. Deutschland ist mit Abstand der größte Chlor-Produzent Europas (Eurochlor, 2004). Nach einer Empfehlung der PARCOM soll bis zum Jahre 2010 vollständig auf das Amalgam-Verfahren verzichtet werden. Nach einer freiwilligen Selbstverpflichtung der in EUROCHLOR organisierten Unternehmen ist eine Stilllegung oder ein Umstieg der Amalgamanlagen zur Herstellung von Chlor und Natronlauge bis spätestens 2020 vorgesehen. In Deutschland wurden bis 2003 etwa 50 % der in 1991 bestehenden Kapazitäten nach dem Amalgam-Verfahren (2.478 kt/a Chlor) umgerüstet.<sup>5</sup>

<sup>4</sup> Mitteilung der Kommission vom 28. Januar 2005, „Gemeinschaftsstrategie für Quecksilber“ [[KOM\(2005\) 20](#) - Amtsblatt C 52 vom 2. März 2005]

<sup>5</sup> nach: "German answers to the questions to be discussed at the stakeholder consultation meeting 08. September 2005."  
Abgerufen unter <http://ec.europa.eu/environment/chemicals/mercury/doc/germany.doc>

- **Zahnmedizin (Quecksilberamalgam):** Seit 1990 sind in Deutschland in den Zahnarztpraxen alle Spülbecken der Behandlungseinheiten mit Amalgamabscheidern auszurüsten und die anfallenden Mengen ebenso wie die Rückstände aus der Vorbereitung der Füllungen als Sonderabfall zu entsorgen. Diese Rückstände gehen heute in Deutschland zu einem erheblichen Teil in die Aufarbeitung quecksilberhaltiger Abfälle. U. a. aus Kostengründen haben sich bislang hochwertige Kunststoff-, Gold- und Spezialkeramikfüllungen nicht in dem Umfang durchgesetzt wie erwartet. Die derzeit in Deutschland in diesem Bereich eingesetzte Hg-Menge wird auf ca. 10 t geschätzt.
- **Leuchtstoffröhren:** Nach der Richtlinie 2002/95/EG darf Hg nach dem 01.07.2006 nicht mehr in Elektro- und Elektronikgeräten enthalten sein. Allerdings sind hier verschiedene Ausnahmen vorgesehen. Nach 2002/95/EG ist der Quecksilbergehalt in einfachen Leuchtstoffröhren auf 10 mg Hg/Röhre und in CFL (compact fluorescent tubes) auf 5 mg/Röhre begrenzt. In Neonröhren, UV-Lampen, HID (high-intensity discharge)-Lampen und in "high pressure sodium" kann der Hg-Gehalt noch deutlich höher liegen (Reichart, 2005; PRAM, 1997). 2002 lag die hier eingesetzte Menge in Deutschland bei unter 3 t Hg/Jahr (Böhm et al., 2002). Für 2005 wurde eine Menge von ca. 1 t geschätzt. Insgesamt wird erwartet, dass der Bedarf an Hg in der Lampenindustrie zunehmen wird (Reichart, 2005).
- **Batterien:** Bei den Primärbatterien (Leclanché-, Alkali/Mangan-Zellen) wird heute auf die Zugabe von Quecksilber verzichtet. Der Hg-Gehalt in Primärbatterien ist auf 0,0005 Gewichtsprozent begrenzt. Quecksilberoxid-Knopfzellen werden von den europäischen Batterieherstellern nicht mehr verkauft. In 2001 wurden letztmalig legal etwa 21 t Hg-Oxid-Knopfzellen in Verkehr gebracht (entsprechend ca. 8,4 t g; Reichart, 2005). In Knopfzellen dürfen inzwischen nur noch bis zu 2 Gew. % Hg enthalten sein. Damit ergibt sich bei 230 t Silberoxid-, Zink-Luft- und Alkalin-Mangan-Knopfzellen für 2003 ein Gehalt von maximal 4,6 t Hg, Reichart (2005) schätzt die tatsächliche Menge auf ca. 3,5 t. Über die vorgeschriebene Rückgabe wird nur circa ein Drittel der Batterien entsorgt, der Rest gerät in den Hausmüll (UBA, 2006b). Zusätzlich können über importierte Produkte Hg-haltige Batterien eingeführt werden.
- **Chemikalien und Reagenzien:** Quecksilber und Quecksilberverbindungen haben noch immer Bedeutung als Nachweismittel und Reagenzien in chemischen Labors. Rauhut (1996) ermittelte für das Jahr 1993 eine inländische Verwendung von 3 t und für das Jahr 2000 wird eine Verwendungsmenge von deutlich unter 2 t Hg abgeschätzt. Bis Anfang der 90er Jahre wurde Quecksilber als Katalysator in verschiedenen chemischen Prozessen verwendet, bis 1983 setzte man es noch aufgrund seiner fungiziden Wirkung in Schutzanstrichen ein. Auch in Schädlingsbekämpfungsmitteln (Saatgutbeizmittel) kamen in der Vergangenheit Quecksilberverbindungen zur Anwendung (Rauhut, 1996).
- **Messinstrumente, Medizintechnik:** In einer Vielzahl von Geräten wurde in der Vergangenheit Hg eingesetzt, u. a. Thermometer, Blutdruckmesser, Barometer und Manometer oder auch Druckventile. Die Geräte werden zunehmend durch Hg-freie

Instrumente ersetzt. Im Rahmen der Hg-Strategie hat die EU in 2006 einen Richtlinienentwurf zum Verbot von Hg in Messinstrumenten vorgelegt<sup>6</sup>.

Die Verwendung von Hg in elektrotechnischen Bauteilen (Schaltelemente) sowie die medizinische Verwendung spielt u. a. aufgrund der Anforderungen der Richtlinie 2002/95/EC keine Rolle mehr. Es ist zu erwarten, dass die Verwendungsmengen für Hg in der EU aufgrund der gesetzlichen Beschränkungen und den verfügbaren Substitutionsmöglichkeiten insgesamt zurückgehen werden. Da auch weltweit der Bedarf der Hauptanwender (Chloralkali-Industrie, Batteriehersteller) sinken wird, das Angebot aber eher steigen wird (freigesetzte Hg-Mengen aus dem Amalgamverfahren), besteht eine zunehmende Gefahr einer illegalen Nutzung von Hg.

Tabelle 4-3: Europäischer Quecksilberverbrauch in 2000 (European Commission DG Environment, 2004a)

<b>Branche</b>	<b>EU-15 Hg Verbrauch (in t)</b>
Chloralkali-Industrie	95
Zahnmedizin	70
Messung und Kontrolle	26
Elektrische Schaltelemente	25
Lampen	21
Batterien	15
Andere Kategorien	50
<i><b>Gesamt</b></i>	<i><b>302</b></i>

## 5 Emissionen in Gewässer

Quecksilber ist ein in der Erdkruste selten vorkommendes Schwermetall (Ullmann, 1990). Aufgrund seiner (früheren) technischen Bedeutung und wegen des Vorkommens von Quecksilber in vielen Rohstoffen, die in großen Mengen eingesetzt werden, übersteigen die anthropogenen Quellen die Einträge in die Gewässer, die durch die durchschnittlichen Gehalte in Böden bedingt sind. Die mit der Verarbeitung und Verwendung von Quecksilber bzw. von mit Quecksilber belasteten Rohstoffen verbundenen Stoffströme sind über die Abwasser-, Abgas-, Abfall- und Produktpfade auf vielfältige Weise miteinander verknüpft, so dass es nicht möglich ist, den einzelnen Verwendungsbereichen die unterschiedlichen Gewässerbelastungen mit Quecksilber zuzuordnen. Eine Ausnahme bilden die Emissionen aus den Amalgam-Anlagen. In Tabelle 5-1 ist eine grobe weltweite Übersicht über natürliche und anthropogene Quellen von Quecksilberemissionen in die Luft dargestellt.

<sup>6</sup> Vorschlag KOM(2006) 69 vom 21. Februar 2006 für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 76/769/EWG des Rates hinsichtlich der Beschränkung des Inverkehrbringens gewisser quecksilberhaltiger Messinstrumente.

Tabelle 5-1: Vergleich der in die Atmosphäre emittierten, anthropogenen und natürlichen Quecksilberemissionen weltweit (1989; in t/a) (OSPAR, 2000).

<b>Natürliche Quellen</b>		<b>Anthropogene Quellen</b>	
Windgeblasener Staub	50	Kohleverbrennung	2100
Meersalz Spray	20	Bleiverbrennung	10
Vulkane	1000	Kupfer-/Nickelverbrennung	120
Waldbrände	20	Müllverbrennung	1200
Kontinentale Partikelmaterialien	20	Holzverbrennung	180
Kontinentale flüchtige Stoffe	610	Chloralkalielektrolyse	7
Meeres-Quellen	770		
<b>Gesamt</b>	<b>2500</b>	<b>Gesamt</b>	<b>3600</b>

Im Rahmen der Arbeiten auf EU-Ebene zu den prioritären Stoffen wurden Emissionspfade bzw. -quellen nach ihrer Relevanz folgenden Kategorien zugeordnet:

- **Kategorie 1:** Emissionsquelle/-pfad trägt zu einem möglichen Verfehlen der WRRL-Ziele bei;
- **Kategorie 2:** unzureichende Informationslage für eine Einstufung;
- **Kategorie 3:** Emissionsquelle/-pfad trägt nicht zu einem möglichen Verfehlen der WRRL-Ziele bei.

Die Ergebnisse der Einstufung sind in Tabelle 5-2 dargestellt, wobei nur die Quellen/Pfade der Kategorie 1 und 2 aufgelistet sind.

Tabelle 5-2: Relevante Emissionspfade für Quecksilber – Ergebnisse der Arbeiten auf EU-Ebene

Quelle/Pfad	*	Anmerkungen
<b>Diffuse Emissionsquellen</b>		
S1 Atmosphärische Deposition	1	wichtige Luftemissionsquellen: Verbrennungsanlagen (Hg-Anteile in Mineralien wie Kohle), Müllverbrennungsanlagen (Hg in Produkten), industrielle Emissionen (Chloralkalielektrolyse)
S3 Landwirtschaftliche Aktivitäten (durch Auslaugen, Erosion, direkte Dränung)	1	geogen, Klärschlamm, atmosphärische Deposition (Belastung im Klärschlamm abnehmend)
<b>Punkt förmige Emissionsquellen</b>		
S7 Belastungen in Abwasser/ Niederschlagswasser durch Abflüsse von Materialien/Bauten auf kanalisiertem Flächen (inkl. Abfluss landwirtschaftlicher, mit dem Kanalsystem verbundener Nutzflächen)	2	Atmosphärische Deposition ist wichtige Hg-Quelle für Abflüsse von versiegelten Flächen
S8 Belastungen in Abwasser/Niederschlagswasser durch Haushalte und Konsum	2	Anwendungsbereiche: Knopfzellen, Leuchtstoff- und Energiesparlampen; Emissionen aus ungeordneter Entsorgung von Produkten z. B. über die Kanalisation; gespeicherte Mengen in Produkten aus früherer Herstellung (Messtechnik, Geräte); nach Wander (2004) stammt Hg im häuslichen Abwasser hauptsächlich aus Reinigungsaktivitäten.
S9 Industrielle Aktivitäten	1	
S9.1 Kleine und mittlere Punktquellen als Direkt- oder Indirekteinleiter (Nicht-IVU)	1	
Zahnmedizin	1	In Deutschland: Einsatz von Amalgam-Abscheidern
S9.2 Große Punktquellen als Direkt- oder Indirekteinleiter (IVU-Anlagen)	1	Aus Verarbeitung von Quecksilber relativ geringe Emissionen. Industrie: mit Abstand am wichtigsten: Chem. Industrie (incl. Soda-herst.), dann Rauchgaswäschen, Anh. 48 (gefährl. Stoffe), Papierindustrie (EU, 2004a).
Chloralkalielektrolyse	1	Luft- und Wasseremissionen aus Amalgam-Anlagen (rückläufig).
Herstellung Primärer Batterien	2	
Metallindustrie, Röst- und Sinteranlagen, Metallgewinnung	1	Hg-Gehalte in Sekundärrohstoffen (Eisen, Stahl) (UNEP Mercury Assessment Report).
Entsorgung gefährlicher Abfälle	1	Müllverbrennung
Quecksilbergewinnung	2	In Deutschland keine Produktion, nur Recycling. Wichtigste Länder in Europa: Spanien, Finnland; in 1995 wurden bei einer Fördermenge von 1500 t Quecksilber in der Mine Almadén laut Schätzung ca. 4 t Hg direkt in die Atmosphäre emittiert (EU, 2002).
Organische chemische Grundstoffe	1	
Zellstoff, Papier, Pappe	1	
Verbrennungsanlagen > 50 MW	1	Kohle enthält geringe Mengen Hg, die bei der Verbrennung emittiert werden; Richtlinie 2001/80/EG zur SO <sub>2</sub> Emissionsminderung wird auch Hg-Emissionen reduzieren (Matsakis, 2005).
Mineralöl- und Gasraffinerien	1	
Herst. von Zementklinker, Glas u. a.	1	sehr geringe Quecksilbergehalte in Mineralien
Anorg. chem. Grundstoffe oder Düngemittel	1	
Pflanzenschutzm., Biozide, Explosivstoffe	2	
Arzneimittel	2	
Vorbehandlung von Fasern oder Textilien	2	
Kokereien	2	
Kohlevergasung und Verflüssigung	2	
Schlachth., Milchprod., tierische u. pflanzl. Rohstoffe	2	
S10 Müllbehandlung		
S10.1 Deponien	2	
S10.2 Abfallentsorgung	1	
S11 Emissionen aus belasteten Böden (Altlasten)		
<b>Diffuse Emissionsquellen</b>		
S11.1 Belastete Sedimente	2	
S11.2 Belastete Böden	2	
S12 Geogene Quellen	1	Siehe S3: geogene Quellen.
<b>Emissionen in die Atmosphäre</b>		
		Luftemissionen: Begleitelement bei Feuerungen, Eisen +Stahl, Müll-

Quelle/Pfad	*	Anmerkungen
		verbrennung, Steine+Erden.
A1 Aus Land- und Forstwirtschaft	2	
A3 Von Gebäuden	2	
A5 Aus Industrie (IVU-Anlagen)	1	
Müllverbrennung	1	Emissionen aus der Müllverbrennung hängen u. a. von der Zusammensetzung des Mülls ab.
A6 Aus Industrie (Nicht-IVU-Anlagen) Holz-Verbrennung/Krematorien	1	Krematorien: Emission des in Zahn-Plomben enthaltenen und durch Nahrung aufgenommenen Hg (Matsakis, 2005) OSPAR (2006): Krematorien in Deutschland: 105 Krematorien setzen Techniken zur Hg-Abscheidung ein (Emissionen: 17,7 kg Hg, 21 setzen keine spezifischen Techniken ein (Emissionen: 18,3 kg Hg).
A7 Aus Müllbehandlung/-entsorgung	2	In Deutschland werden noch rund zwei Drittel der Batterien über den Hausmüll entsorgt (UBA, 2006b).
A8 Von kontaminierten Böden (Altlasten)	2	

\* Einstufung des Emissionspfads in Kategorie 1 bzw. 2

Die Ergebnisse des europäischen Emissionsinventars EPER zu den industriellen Emissionen für Hg sind in Tabelle 5-3 zusammengefasst. Bei den industriellen Direkteinleitern werden danach in Deutschland die größten Emissionsmengen von den Bereichen anorganische und organische chemische Grundstoffe verursacht. Die Luftemissionen stammen zu über 50 % aus großen Verbrennungsanlagen. Insgesamt liegt der Anteil der von Deutschland verursachten industriellen Emissionen für den Pfad Luft bei 30 %, den Pfad Wasser (direkt) bei 5 % und den Pfad Wasser (indirekt) bei 8 % (s. Tabelle 5-4). Nach EPER (2004) wurden bei der Prüfung der Daten Emissionsmeldungen zu Hg aus dem Bereich Verbrennung (Kokereien) in Spanien vermisst. Entec (2005) weisen darauf hin, dass die Emissionsdaten für Großfeuerungsanlagen unvollständig sind. Dies könnte auch der Grund für den hohen Anteil Deutschlands an den Gesamtemissionen im Bereich Luft sein.

Im Rahmen des EPERs nicht berücksichtigt werden die Emissionen kleiner Verbrennungsanlagen (unter 50 MW). Auf europäischer Ebene wurde dazu ein Emissionsinventar erarbeitet mit einer Unterteilung zwischen den Bereichen Haushalte, Industrie, Handel und Landwirtschaft (AEA Technology/NILU –Polska, 2005). Die Ergebnisse zeigen, dass dieser Bereich in erheblichem Umfang zu den gesamten Luftemissionen beiträgt, der Anteil wird auf EU-Ebene auf 16 % geschätzt (dabei bestehen deutliche Unsicherheiten bzgl. der eingesetzten Emissionsfaktoren und der eingesetzten Brennstoffe). Für Deutschland liegt der Anteil an den nach EPER gemeldeten Luftemissionen mit 32 % nochmals deutlich höher. Die höchsten spezifischen Emissionsfaktoren pro erzeugter Energiemenge gelten für die Verbrennung von Stein- und Braunkohle, danach folgt die Verbrennung von Holz. Die Ergebnisse für die EU und für Deutschland sind in Tabelle 5-5 zusammengefasst.

Tabelle 5-3: Industrielle Quecksilberemissionen in Europa und Deutschland in die Luft und direkt bzw. indirekt ins Wasser (EPER, Daten von 2001)

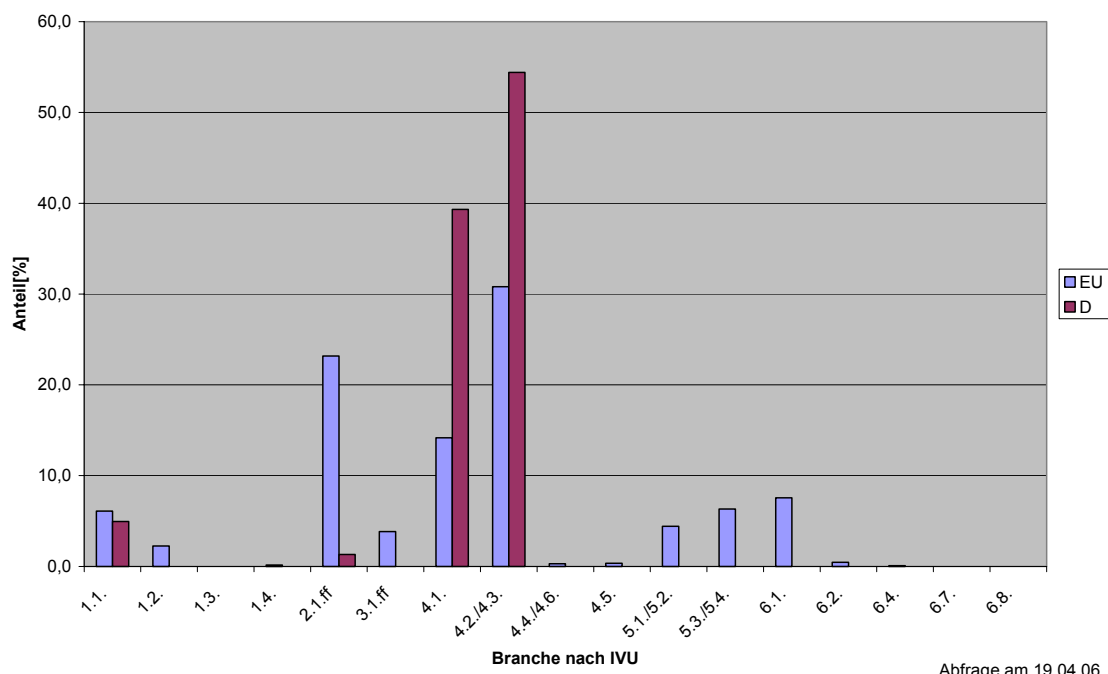
Hg	Europäische Union								Deutschland								% D an EU
	Luft		Wasser direkt		Wasser indirekt		Gesamt		Luft		Wasser direkt		Wasser indirekt		Gesamt		
	kg/a	%	kg/a	%	kg/a	%	kg/a	%	kg/a	%	kg/a	%	kg/a	%	kg/a	%	
1.1.	7440	31	121	6,1	2,3	0,9	7564	29	3966	55	5,3	5			3972	54	53
1.2.	1130	5	45	2,3	2	0,8	1177	4,5	11	0,1					11	0,1	0,9

1.3.					1,6	0,7	1,6						1,6	3,4	1,6	0,0	100
1.4.			3,2	0,2			3,2										
2.1.ff	4870	20	461	23	9	3,6	5340	20	327	4,5	1,4	1,3	8,9	19	338	4,5	6,3
3.1.ff	2890	12	76	3,8			2966	11	781	11					781	11	26
4.1.	2230	9	282	14	15	6,2	2527	10	994	14	42	39	1,2	2,6	1037	14	41
4.2./4.3.	4170	17	613	31	57	23	4840	18	1061	15	58	54			1118	15	23
4.4./4.6.			6	0,3	1,6	0,7	7,6										
4.5.			7	0,3	31	13	38	0,1					28	60	28	0,4	74
5.1./5.2.	1060	4,4	88	4,4	43	18	1191	4,5	111	1,5					111	1,5	9,3
5.3./5.4.	59	0,2	126	6,3	7,3	3	192	0,7	18	0,2			7,3	15	25	0,3	13
6.1.	66	0,3	151	7,6	40	16	256	1									
6.2.			9	0,5	7,9	3,3	17	0,1									
6.4.	15	0,1	1,8	0,1	25	10	42	0,2									
6.7.	71	0,3					71	0,3									
6.8.	16	0,1					16	0,1									
<b>Σ</b>	<b>24017</b>	<b>100</b>	<b>1988</b>	<b>100</b>	<b>243</b>	<b>100</b>	<b>26248</b>	<b>100</b>	<b>7269</b>	<b>100</b>	<b>106</b>	<b>100</b>	<b>47</b>	<b>100</b>	<b>7422</b>	<b>100</b>	<b>28</b>

IVU Quellenkategorien nach IVU-Richtlinie 96/61/EG, Anhang I

- 1.1. Verbrennungsanlagen > 50 MW
- 1.2. Mineralöl- und Gasraffinerien
- 1.3. Kokereien
- 1.4. Kohlevergasungs- und -verflüssigungsanlagen
- 2.1.ff Metallindustrie, Röst- und Sinteranlag., Metallgew.
- 3.1.ff Herstellung von Zementklinker, Glas u. a.
- 4.1. Organische chemische Grundstoffe
- 4.2./4.3. Anorganische chem. Grundstoffe oder Düngemittel
- 4.4./4.6. Herstellung von Pflanzenschutzmitteln, Bioziden, Explosivstoffen
- 4.5. Arzneimittel
- 5.1./5.2. Entsorgung gef. Abfälle
- 5.3./5.4. Beseitigung ungefährlicher Abfälle
- 6.1. Herstellung von Erzeugnissen aus Zellstoff, Papier und Pappe
- 6.2. Herstellung von Textilien und Textilerzeugnissen (>10t/d)
- 6.4. Schlachthäuser (>50t/d), Milchproduktion (>200t/d), tierische (75t/d) u. pflanzliche Rohmaterialien (>300t/d)
- 6.7. Anlagen zur Behandlung von Oberflächen unter Verwendung organischer Lösemittel
- 6.8. Herstellung von Kohlenstoff oder Elektrographit

Abbildung 5-1: Auswertung EPER-Daten für Hg: Anteile der verschiedenen Industriezweige an den direkten Emissionen ins Wasser in 2001



Abfrage am 19.04.06

K:\NVP\321249 - Prioritäre Stoffe II\3\_Zwischenberichte\_Papiere\fact sheets\Quecksilbertabellen.xls

Tabelle 5-4: EPER: Industrielle Quecksilberemissionen in der EU und in Deutschland (EPER-Daten 2001)

Pfad	EU (kg/a)	Deutschland (kg/a)	Deutschland
Luft	24.135	7.269	30 %
Wasser direkt	1.993	106	5 %
Wasser indirekt	623	47	8 %

Tabelle 5-5: Quecksilberemissionen aus kleinen Verbrennungsanlagen (< 50 MW) für unterschiedliche Sektoren in der EU und in Deutschland (AEA Technology/NILU –Polska, 2005) (in kg/a für 2002)

	Industrie	Handel	Haushalte	Landwirtschaft
Deutschland	2.025	89	218	27
EU	15.149	2.579	4.874	642

Für die Oberflächengewässer in Deutschland wurden detaillierte Untersuchungen zur Quantifizierung der Stoffeinträge für insgesamt 8 Schwermetalle durchgeführt (Fuchs et al., 2002; Böhm et al, 2001). Die in Tabelle 5-6 zusammengefassten Ergebnisse für Quecksilber zeigen insgesamt einen deutlichen Rückgang der Emissionen seit 1985. Die aktuell wichtigsten Emissionsquellen sind die landwirtschaftlichen Flächen über die Eintragspfade Erosion, Drainage und Abschwemmung, die niederschlagsbedingten Einträge von urbanen Flächen sowie die kommunalen Kläranlagen. Die im Rahmen dieser

Arbeiten erhobenen Daten zu den Hg-Konzentrationen im Ablauf kommunaler Kläranlagen sind in der Abbildung 5-3 dargestellt (unterer Teil; im oberen Teil ist der Prozentsatz der Messwerte dargestellt, der über der Bestimmungsgrenze liegt)

Tabelle 5-6: Quecksilbereinträge in die Oberflächengewässer in Deutschland für 1985, 1995 und 2000 in kg/a (Fuchs et al. 2002)

Bezugsjahr	1985	1995	2000	Änderung
Industrie	21761	226	165	-99 %
Kläranlagen	3542	2015	1116	-68 %
Atmosphärische Deposition	1003	301	327	-67 %
Hofabläufe und Abdrift	3	2	2	-29 %
Abschwemmung	689	321	169	-75 %
Erosion	654	677	681	4 %
Drainagen	399	429	429	7 %
Regenwasserkanäle	776	652	669	-14 %
Mischwasserüberläufe	958	548	561	-41 %
Kanäle ohne Kläranlage	383	113	115	-70 %
Haushalte ohne Anschluss	31	11	11	-65 %
Grundwasser	446	411	411	-8 %
<b>Emission Gesamt</b>	<b>30645</b>	<b>5706</b>	<b>4656</b>	<b>-85 %</b>

Abbildung 5-2: Quecksilbereinträge in die Oberflächengewässer in Deutschland in 2000 (Fuchs et al., 2002)

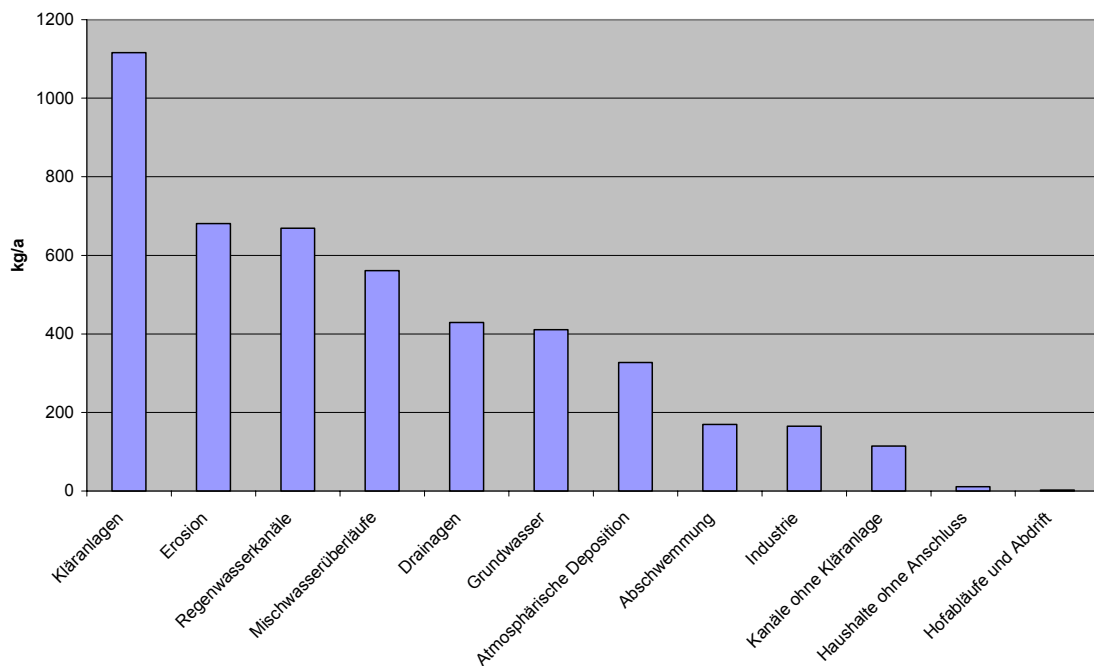
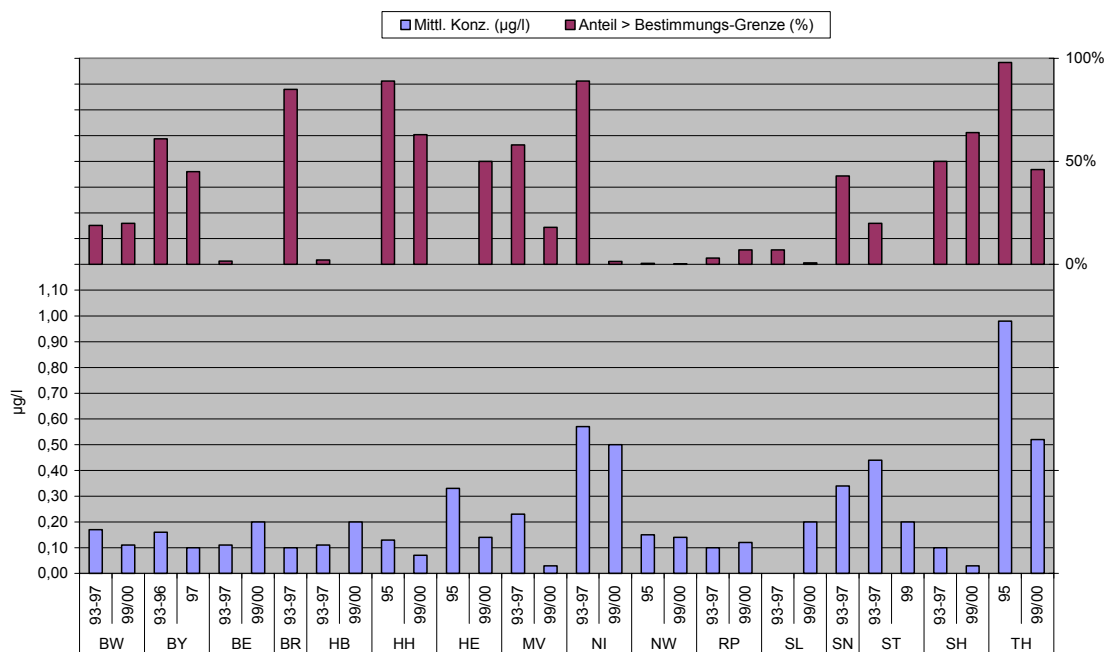


Abbildung 5-3: Mittlere Quecksilberablaufkonzentrationen kommunaler Kläranlagen in den Bundesländern (Fuchs et al., 2002)



K:\NP\321249 - Prioritäre Stoffe II\3\_Zwischenberichte\_Papiere\fact sheets\Quecksilbertabellen.xls  
 Die Ergebnisse der Kontrolluntersuchungen für landwirtschaftlich verwertete Klärschlämme sind in Tabelle 5-7 aufgeführt. Die Daten zeigen einen deutlichen Rückgang der Hg-Belastungen bis 2000, in den letzten Jahren sind die Konzentrationen weitgehend konstant geblieben.

Tabelle 5-7: Mittlere Konzentrationen an Quecksilber in landwirtschaftlich verwerteten Klärschlämmen (in mg/kg Trockenmasse) (BMU, 2001; BMU, 2004)

1977	1982	1994	2000	2001	2002	2003	Entwicklung in % (1977-2000)	Grenzwert nach AbfKlärV
4,8	2,3	1,6	0,9	0,8	0,7	0,7	-81	8

Zur Entwicklung der Luftemissionen von Quecksilber liegen Untersuchungen von Denier van der Gon et al. (2005) vor, die im Rahmen zweier Szenarien die zu erwartenden Emissionsminderungen aufgrund des Schwermetallprotokolls der Genfer Luftreinhaltekonvention abschätzen (s. Tabelle 5-8). Die Quecksilberemissionen werden voraussichtlich am wenigsten durch das Protokoll verändert, da Hg überwiegend in flüchtiger Form emittiert wird (90%) und die durch das Protokoll induzierten Maßnahmen zum größten Teil bei den staubförmigen Emissionen ansetzen (Denier van der Gon, 2005). Bei den Verbrennungsprozessen in Haushalten ist der Brennstoff mit der höchsten Relevanz für Quecksilber das Holz (60% der Emissionen). Nach der vollen Umsetzung des Schwermetallprotokolls werden in 2020 die größten Hg-Emissionsquellen in der EU Heiz- und Stromkraftwerke sowie die Herstellung von Zement sein.

Tabelle 5-8: Luftemissionen von Quecksilber in der EU-25 in 2000 sowie Projektionen bis 2020 hinsichtlich des Schwermetallprotokolls (Denier van der Gon et al., 2005; in t/a)

Szenarien:	2000	2010	2015	2020
"Current Legislation and Ratification status"	344	328	325	326
"Full Implementation"	344	318	315	316

## 6 Ansätze für Emissionsminderungsmaßnahmen

Im Folgenden sind die wichtigsten laufenden Maßnahmen sowie mögliche zusätzliche Ansatzpunkte für weitergehende Maßnahmen zusammengestellt. Es wird dabei zwischen den verschiedenen Emissionsquellen Luftemissionen/atmosphärische Deposition, urbane Flächen, kommunale Kläranlagen, industrielle Einleitungen, Altlasten und Produkte unterschieden.

### • **urbane Flächen**

- **zusätzliche Ansatzpunkte:** Regenwasserbewirtschaftung: Entsiegelung, Behandlung, Versickerung von Niederschlagswasser; Ansatzpunkt in Deutschland: Erarbeitung eines neuen Anhangs "Niederschlagswasser" zur Abwasserverordnung.

### • **kommunale Kläranlagen**

- **zusätzliche Ansatzpunkte:** weitergehende Abwasserbehandlung bei großen kommunalen Kläranlagen (Membranfiltration, Aktivkohlefiltration).

### • **Industrie**

- **wichtige laufende Maßnahmen:** Umsetzung IVU-Richtlinie (ab 30.10.2007 sind auch bestehende Anlagen auf der Grundlage der BVT zu betreiben; außerdem Revision der BVT-Blätter).
- **zusätzliche Ansatzpunkte:**  
auf EU-Ebene: IVU-Anlagen: bessere Integration der Emissionsanforderungen für prioritäre Stoffe bei der BREF-Erstellung; Nicht-IVU-Anlagen: Informationsprozess vergleichbar der BREF-Erarbeitung für IVU-Anlagen (bzgl. Luftemissionen s.u.);  
in Deutschland: ggf. weitergehende Anforderungen zur Abwasserbehandlung bei relevanten Branchen (über Anhänge zur Abwasserverordnung).

### • **Landwirtschaft**

- **wichtige laufende Maßnahmen:** Verschärfung der EU-Klärschlamm-RL bzw. der Klärschlammverordnung.
- **zusätzliche Ansatzpunkte:** Umsetzung erosionsmindernder Maßnahmen.

### • **Produkte:**

- **wichtige laufende Maßnahmen:** Umsetzung der Hg-Strategie der EU: Beschränkung des Inverkehrbringens quecksilberhaltiger Mess- und Kontrollinstrumente (Vorschlag der Kommission zur Änderung der Richtlinie

76/769/EWG); EU-weites Exportverbot für quecksilberhaltige Produkte ab 2011.

• **atmosphärische Deposition/Luftemissionen:**

- **wichtige laufende Maßnahmen:** Umsetzung der Richtlinie 2004/107/EG zur Luftqualität (Cd, Hg, Ni, PAK); Umsetzung der Hg-Strategie der EU ([KOM\(2005\) 20](#)).
- **zusätzliche Ansatzpunkte:** weitergehende Emissionsminderung bei Holzöfen, Krematorien und Feuerungsanlagen (Ansatzpunkte in Deutschland: bzgl. Holzöfen 1. BImSchV, bzgl. Krematorien: 27. BImSchV, bzgl. Großfeuerungsanlagen: 13. BImSchV; ggf. Erweiterung auch für kleinere Feuerungsanlagen). Ersatz von Brennstoffe wie Kohle, Öl und Holz durch Erdgas, sowie Einsatz von Abfällen mit niedrigeren Hg-Gehalten, insbesondere bei der Zementherstellung.

## 7 Literatur

- AEA Technology/NILU –Polska (2005): Costs and environmental effectiveness of options for reducing mercury emissions to air from small-scale combustion installations. Final report.  
[http://ec.europa.eu/environment/chemicals/mercury/pdf/sci\\_final\\_report.pdf](http://ec.europa.eu/environment/chemicals/mercury/pdf/sci_final_report.pdf) (abgerufen am 28.08.06)
- ARGE Elbe (verschiedene Jahrgänge): Wassergütedaten der Elbe von Schmilka bis zur See – Zahrentafel 2001, 2002, 2003, 2004. <http://www.arge-elbe.de/wge/Download/DDaten.php> (abgerufen am 10.10.2006)
- BGIA (2006): BGIA Report 1/2006: Gefahrstoffliste 2006: Gefahrstoffe am Arbeitsplatz.  
[http://www.hvbg.de/d/bia/pub/rep/rep05/pdf\\_datei/biar0106/rep1\\_2006.pdf](http://www.hvbg.de/d/bia/pub/rep/rep05/pdf_datei/biar0106/rep1_2006.pdf) (abgerufen am 18.09.2006).
- BLMP, Bund/Länder-Messprogramm (1999): Nord- und Ostsee: Schlussbericht zum Forschungsvorhaben 03 F 0188A.
- BMU (1999): Schutz von Flüssen und Seen. [http://www.bmu.de/fb\\_gew/index.php?fb=2894](http://www.bmu.de/fb_gew/index.php?fb=2894)
- BMU (2001): Umweltverträglicher Einsatz von Düngemitteln. Umwelt Nr. 12/2001.
- BMU (2004): Berichtspflicht der Länder nach Klärschlammverordnung und EU-Klärschlamm-Richtlinie.  
<http://www.env-it.de/umweltdaten/public/document/downloadImage.do?ident=7232> (abgerufen am 18.07.2006)
- BMU, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2006): Wasserwirtschaft in Deutschland.
- Böhm, E.; Hillenbrand, T.; Marscheider-Weidemann, F. (2002): Ermittlung der Quellen für die prioritären Atoffe nach Artikel 16 der Wasserrahmenrichtlinie und Abschätzung ihrer Eintragsmengen in die Gewässer in Deutschland. Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie im Auftrag des Umweltbundesamtes.
- Denier van der Gon, H. A. C.; van het Bolscher, M.; Visschedijk, A. J. H.; Zandveld, P. Y. J. (2005): Study to the effectiveness of the UNECE Heavy Metals Protocol and costs of possible additional measures Phase I: Estimation of emission reduction resulting from the implementation of the HM Protocol, TNO report B&O-A R 2005/193.
- Entec (2005): Preparation of the review relating to the Large Combustion Plant Directive. Final Report, Entec UK Limited

- EPER (2001): Europäisches Schadstoffemissionsregister. [www.eper.de](http://www.eper.de) (abgerufen am 19.04.2006)
- EPER (2004): EPER Review Report.  
<http://www.eper.cec.eu.int/eper/documents/EPER%20Review%20report,%20final.pdf>  
(abgerufen am 03.07.2006).
- ESIS (2006): European Chemical Substances Information System. <http://ecb.jrc.it> (abgerufen am 25.04.2006)
- EU (2004b): Source Screening of priority substances under the WFD. Results for (21) Mercury.  
[http://forum.europa.eu.int/Public/irc/env/wfd/library?l=/framework\\_directive/i-priority\\_substances/supporting\\_background/substance\\_screening&vm=compact&sb=Title](http://forum.europa.eu.int/Public/irc/env/wfd/library?l=/framework_directive/i-priority_substances/supporting_background/substance_screening&vm=compact&sb=Title)  
(abgerufen am 07.08.2006).
- EU- Kommission (2002): Bericht der Kommission an den Rat über aus der Chloralkaliindustrie stammendes Quecksilber. KOM(2002)489.  
[http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/de/com/2002/com2002\\_0489de01.pdf](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/de/com/2002/com2002_0489de01.pdf)
- EU- Kommission (2004a): Mercury Flows in Europe and the World: The impact of decommissioned chlor-alkali plants.
- EU- Kommission (2005): Mitteilung der Kommission an den Rat und das Europäische Parlament KOM(2005)20. Gemeinschaftsstrategie für Quecksilber {SEC(2005) 101}.
- EU- Kommission (2006): Vorschlag zur Änderung der Richtlinie 76/769/EWG des Rates hinsichtlich der Beschränkung des Inverkehrbringens gewisser quecksilberhaltiger Messinstrumente {SEK(2006) 194}.
- Eurochlor (2004): Production of chlorine by country – 2004.  
<http://www.eurochlor.org/productionbycountry> (abgerufen am 30.06.2006)
- Europäisches Parlament (2005): Entschließung des Europäischen Parlaments zu der Gemeinschaftsstrategie für Quecksilber (2005/2050(INI)).
- Frimmel, F. H.; Ohlenbusch, G.; Münch, C.; Jähnel, J.; Abbt-Braun, G. (2002): Ableitung von Qualitätszielen für Kandidatenstoffe der prioritären Liste für die EU-Wasserrahmenrichtlinie. DVGW-Forschungsstelle, Karlsruhe.
- Fuchs, S.; Scherer, U.; Hillenbrand, T.; Marscheider-Weidemann, F.; Behrendt, H.; Opitz, D. (2002): Schwermetalleinträge in die Oberflächengewässer Deutschlands. UBA-Texte 54/02, Berlin.
- GESTIS Stoffdatenbank (2006): Gefahrstoffinformationssystem der gewerblichen Berufsgenossenschaften. Institut für Arbeitsschutz. <http://www.hvbg.de> (abgerufen am 25.04.06).
- GTK (2005): Geological Survey of Finland. <http://www.gtk.fi> (abgerufen am 25.04.2006).
- Haskoning, Consulting Engineers (2004): Fact sheets on production, use and release of priority substances in the WFD.
- Helcom (2002): Implementing the Helcom Objective with regard to Hazardous Substances. Helsinki Commission, Baltic Marine Environment Protection Commission.
- Hylander and Meili (2002): 500 years of mercury production: global annual inventory by region until 2000 and associated emissions. The Science of the Total Environment.
- Hylander and Meili (2004): Response to stakeholders questions. <http://europa.eu.int> (abgerufen am 28.04.2006).
- IKSE – Internationale Kommission zum Schutz der Elbe (1998): Erster Bericht über die Erfüllung des "Aktionsprogramms Elbe".
- IKSE – Internationale Kommission zum Schutz der Elbe (2005): Informationsdokumente zum internationalen Messprogramm der IKSE für das Jahr 2005.
- IKSR - Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (2000): Zielvorgaben 2000.

- IKSR (2001): Bestandsaufnahme 2001.
- Instituto Geológico y Minero de Espana (2003). Panorama Minero 2003. <http://www.igme.es> (abgerufen am 26.04.2006).
- LAWA - Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (1998a): Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer. Band II (Schwermetalle). Kulturbuchverlag, Berlin.
- LAWA - Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (1998b): Beurteilung der Wasserbeschaffenheit von Fließgewässern in der Bundesrepublik Deutschland - Chemische Gewässergüteklassifikation -. Berlin.
- Lehmann, M.; Vietoris, U. (2006): Prioritäre Stoffe – Ergebnisse Länderabfrage 2005. Vortrag im Rahmen des Workshops "Emissionsminderungsmaßnahmen für prioritäre Stoffe der Wasserrahmenrichtlinie - Bestandsaufnahme und Handlungsoptionen", 30.05.2006, abrufbar unter <http://www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/stoffhaushalt/ws-prio-stoffe.htm>
- Matsakis, M. (2005): Draft Report on Community Strategy Concerning Mercury. Committee on the Environment, Public Health and Food Safety of the European Parliament.
- Merck (2001). Sicherheitsdatenblatt. Aus CD-ROM 2001/1.
- Metallstatistik (verschiedene Jahrgänge): World Bureau of Metal Statistics – Metall-Statistik. UBS Warburg –Enron Metals Ltd., Ware, England.
- MUNLV (2004): Untersuchungen zum Eintrag und zur Elimination von gefährlichen Stoffen in kommunalen Kläranlagen. MUNLV, NRW.
- Natural Resources Canada (2003). Canadian Minerals Yearbook.
- OSPAR (2006): Draft Overview Report on implementation of OSPAR Recommendation 2003/4 on Controlling the dispersal of Mercury from Crematoria.
- OSPAR Commission (2000, 2004 update): OSPAR Background Document on Mercury and Organic Mercury Compounds.
- PRAM (1997): Draft Background Document on Further Restrictions on the Discharge of Mercury, Oslo and Paris Conventions for the Prevention of Marine Pollution, Programmes and Measures Committee (PRAM), Presented by the United Kingdom.
- Rauhut, A. (1996): Eintrag von Blei, Cadmium und Quecksilber in die Umwelt. Bilanzen über Verbrauch und Verbleib, Band 2. Landesgewerbeanstalt Bayern, Bereich Technische Information. Forschungsbericht 106 01 047, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin.
- Reichert, A. (2005): Quecksilber – noch immer ein Problem. Umweltbundesamt, Dessau
- Royal Ministry of the Environment (2005): Norway's Action Plan for Reducing Mercury Releases.
- Smith, B. (2002): Removal and Stabilization of Mercury From Mixed Waste Debris Using Polymer Filtration Technology. Compendium of a presentation at the Breaking the Mercury Cycle Conference, organized by the Northeast Waste Management Officials' Association (NEWMOA). <http://www.newmoa.org/prevention/mercury/breakingcycle/toc.cfm> (abgerufen am 14.05.2006).
- StMUGV (2000): Gewässerbeschaffenheit in Bayern – Fließgewässer. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz.
- Streit, B. (1991): Lexikon Ökotoxikologie. VHC Verlagsgesellschaft, Weinheim.
- UBA (2005): Bericht der Bundesrepublik Deutschland zur Durchführung der Richtlinie 76/464/EWG und Tochterrichtlinien betreffend die Verschmutzung infolge der Ableitung bestimmter gefährlicher Stoffe in die Gewässer der Gemeinschaft. Zeitraum 2002 — 2004. [http://www.wasserblick.net/servlet/is/34533/Bericht\\_RL76-464-EWG\\_02-04.pdf?command=downloadContent&filename=Bericht\\_RL76-464-EWG\\_02-04.pdf](http://www.wasserblick.net/servlet/is/34533/Bericht_RL76-464-EWG_02-04.pdf?command=downloadContent&filename=Bericht_RL76-464-EWG_02-04.pdf)
- UBA (2006a): Daten+Fakten: Schwermetalle. [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de) (abgerufen am 22.05.2006).

- UBA (2006b): Batterieschrott gehört nicht in den Hausmüll. Umweltbundesamt Presseinformation 50/2006.
- Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry (1990): 5<sup>th</sup> Edition, Vol. A16: Mercury, Mercury Alloys, Mercury Compounds, S.269-298, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim.
- UNEP (2002): Global Mercury Assessment. <http://www.chem.unep.ch> (abgerufen am 14.04.2006).
- Wander, R. (2004): Quellenbezogene Analyse und Quantifizierung der Schmutzstofffrachten im Trockenwetter- und Regenwasserabfluss von Kanalisationssystemen. Diplomarbeit am Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Universität Karlsruhe (unveröffentlicht).