

# **Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer**

## **Band II**

**Ableitung und Erprobung von Zielvorgaben zum Schutz  
oberirdischer Binnengewässer für die Schwermetalle  
Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und  
Zink**

Herausgegeben von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)  
Vorsitz: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie Berlin /  
Ministerium für Umweltschutz, Naturschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg

1. Auflage: Berlin, Januar 1998

Für den Druck wurde Recyclingpapier sowie umweltfreundliches, chlorfrei gebleichtes Papier verwendet.

Nachdruck und Vervielfältigung, auch auszugsweise, ist nur mit Genehmigung des Herausgebers gestattet.

Die vorliegende Veröffentlichung ist zu einem Preis von 10,00 DM zu beziehen über den:

**Kulturbuchverlag Berlin GmbH**

**Sprosserweg 3, 12351 Berlin**

Tel: 030/661 8484; Fax.: 030/661 7828

ISBN - Nr.: 3-88961-216-4

---

**Ableitung und Erprobung von Zielvorgaben zum Schutz  
oberirdischer Binnengewässer  
für die Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel,  
Quecksilber und Zink**

**Stand: 2. Juni 1997**

#### 4 LAWA-Arbeitskreis "Zielvorgaben" - Mitglieder und Ansprechpartner-

---

##### Mitglieder:

|   |   |
|---|---|
| Dipl.-Biol. Rainer Bock                                 | Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam  |
| Dipl.-Biol. Christian Ebel<br>(Mitglied bis April 1997) | vormals Umweltbehörde, Amt für Bodenschutz, Hamburg, jetzt im Ausland tätig                       |
| Dipl.-Chem.'in Karin Gründig                            | Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie Radebeul  |
| Dr. Ulrich Irmer  | Umweltbundesamt, Berlin   |
| Dr. Norbert Kirchhoff<br>(Geschäftsführer)              | Staatliches Umweltamt, Minden   |
| Dr. Falk Krebs  | Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz  |
| Dr. Carola Kussatz                                      | Umweltbundesamt, Berlin   |
| Dipl.-Ing.'in Petra Martin                              | Thüringer Landesanstalt für Umwelt, Jena  |
| Dipl.-Geoökologin Irene Mözl                            | Ministerium für Umwelt und Verkehr des Landes Baden-Württemberg, Stuttgart                        |
| Dr. Walter Mühlhölzl                                    | Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Wasserforschung, München                 |
| Prof. Dr. Hans-Gerd Nolting                             | Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Braunschweig                             |
| Dr. Werner Rocker<br>(Obmann)                           | Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf |
| Dr. Fred Schulz   | Landesamt für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein, Flintbek                                       |
| Dipl.-Biol.'in Beate Zedler                             | Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit, Wiesbaden             |

##### Ansprechpartner:

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| Dr. Volkhard Herbst         | Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Hildesheim                               |
| Dr. Hans Reiner Kirn        | Staatliches Institut für Gesundheit und Umwelt Saarbrücken                         |
| Dipl.-Ing. Matthias Klein   | Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie Berlin         |
| Dr. Irene Krauß-Kalweit     | Ministerium für Umwelt und Forsten des Landes Rheinland-Pfalz, Mainz               |
| Dipl.-Ing.'in Roswitha Kühn | Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Halle/Saale                             |
| TA Heinrich Meier           | Senator für Frauen, Gesundheit, Jugend, Soziales und Umweltschutz Bremen           |
| Dipl.-Ing. Bernd Segebarth  | Ministerium für Bau, Landesentwicklung und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern, Schwerin |

## Inhaltsverzeichnis

|          |   |    |
|----------|---|----|
|          | <b>Zusammenfassung</b> .....  | 06 |
| <b>1</b> | <b>Einführung</b> .....   | 06 |
| <b>2</b> | <b>Ableitung von Zielvorgaben für Schwermetalle zum Schutz oberirdischer Binnengewässer</b> .....   | 07 |
|          | 2.1 Natürliches Vorkommen von Schwermetallen in Fließgewässern.....                                 | 08 |
|          | 2.1.1 Hintergrundgehalte in Schwebstoffen und Sedimenten.....                                       | 08 |
|          | 2.1.2 Hintergrundkonzentrationen in Wasser.....   | 09 |
|          | 2.2 Festlegung von Zielvorgaben für Schwermetalle zum Schutz aquatischer Lebensgemeinschaften ..... | 10 |
|          | 2.3 Zielvorgaben für weitere Schutzgüter .....  | 12 |
|          | 2.4 Überwachung der Zielvorgaben .....  | 12 |
| <b>3</b> | <b>Ergebnisse der Zielvorgabenerprobung</b> .....   | 13 |
|          | 3.1 Überschreitungen der ZV in der Wasserphase.....   | 14 |
|          | 3.1.1 Schutzgut "Aquatische Lebensgemeinschaften".....  | 14 |
|          | 3.1.2 Schutzgut "Schwebstoffe und Sedimente".....   | 15 |
|          | 3.1.3 Schutzgut "Trinkwasserversorgung".....  | 15 |
|          | 3.1.4 Schutzgut "Fischerei".....  | 15 |
|          | 3.1.5 Schutzgut "Bewässerung landwirtschaftlich genutzter Flächen" .....                            | 16 |
|          | 3.2 Überschreitungen der ZV in der Schwebstoffphase.....  | 16 |
|          | 3.2.1 Schutzgut "Aquatische Lebensgemeinschaften".....  | 16 |
|          | 3.2.2 Schutzgut "Schwebstoffe und Sedimente".....   | 16 |
|          | 3.3 Ursachen für die festgestellten ZV-Überschreitungen und Trends in den Bundesländern.....        | 16 |
| <b>4</b> | <b>Diskussion, Bewertung und Schlußfolgerungen</b> .....  | 20 |
| <b>5</b> | <b>Literatur</b> .....  | 22 |

## Tabellen

|   |  |    |
|---|--|----|
| 1 | Hintergrundwerte für Schwermetallgehalte in feinkörnigen Sedimenten (Fraktion < 20 µm, Angaben in mg/kg) .....                                   | 08 |
| 2 | Literaturangaben zur Schwermetallkonzentration „unbelasteter“ Gewässer (µg/l) .....  | 09 |
| 3 | Abschätzung der Hintergrundkonzentration von Schwermetallen in Fließgewässern (2) .....  | 10 |
| 4 | NOEC-Werte, Hintergrundbereiche und Zielvorgaben für das Schutzgut „Aquatische Lebensgemeinschaften“ - Überwachung mit dem 50-Perzentilwert..... | 11 |
| 5 | Zielvorgaben für Oberflächengewässer im Hinblick auf unterschiedliche Schutzgüter .....  | 12 |
| 6 | Überschreitungen der ZV für Schwermetalle in der Wasserphase .....   | 24 |
| 7 | Überschreitungen der ZV für Schwermetalle im Schwebstoff.....  | 25 |

## 6 Ableitung und Erprobung von Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer für die Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink

### Zusammenfassung

Die vorliegende Veröffentlichung umfaßt zwei Teile:

1. die Ableitung von Zielvorgaben für Schwermetalle zum Schutz oberirdischer Binnengewässer und
2. den Erprobungsabschlußbericht.

In der **Ableitung** (Kapitel 2) werden die Grundsätze zur schutzgutbezogenen Erarbeitung von Zielvorgaben dargestellt. Darauf aufbauend werden die speziell für die Ableitung von Zielvorgaben für Schwermetalle zu beachtenden Bedingungen erläutert. Im **Erprobungsabschlußbericht** (Kapitel 3) wird das Ergebnis der Erprobung der Zielvorgaben für die Schwermetalle in den von den jeweiligen Bundesländern überwachten Gewässern zusammenfassend vorgestellt und im Kapitel 4 abschließend bewertet.

Die Erprobung erbrachte in allen Bundesländern zahlreiche Überschreitungen der Zielvorgaben. Gefährdet sind derzeit insbesondere die Schutzgüter „Aquatischen Lebensgemeinschaften“ sowie „Schwebstoffe und Sedimente“, mit weitem Abstand gefolgt vom Schutzgut „Berufs- und Sportfischerei“. Gefährdungen der Schutzgüter „Trinkwasserversorgung“ und „Bewässerung landwirtschaftlich genutzter Flächen“ sind hingegen weniger zu besorgen.

Die festgestellten Gewässerbelastungen erfordern weitergehende Anstrengungen zur Reduzierung der Stoffeinträge insbesondere bei Quecksilber, Cadmium und Zink. Mögliche Ursachen sowie Vermeidungs- und Verminderungsmaßnahmen werden genannt. Eine emissionsseitige Ursachenermittlung ist bei der Vielzahl von diffusen, in der Regel nicht bilanzierbaren Eintragspfaden nur sehr schwer durchzuführen.

### 1. Einführung

Die Schadstoffbelastung der meisten Fließgewässer in Deutschland ist in den letzten Jahren deutlich zurückgegangen. Zur Reduzierung der Gewässerbelastung mit gefährlichen Stoffen hat vor allem die konsequente Anwendung des Standes der Technik bei der Abwasserreinigung und -vermeidung beigetragen. In Abhängigkeit vom Grad der

Industrialisierung und Urbanisierung können sich jedoch Restfrachten von Einleitern sowie Einträge über diffuse Quellen zu einer erheblichen Gewässerbelastung addieren. Die Nutzung und der Naturhaushalt eines Gewässers können somit auch beeinträchtigt werden, wenn der Stand der Technik bei der Abwasserreinigung eingehalten wird.

Ende 1986 vereinbarten die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) und das Bundesumweltministerium (BMU) die Gründung des Bund/Länder-Arbeitskreises "Gefährliche Stoffe - Qualitätsziele für oberirdische Gewässer" (BLAK QZ). Der Arbeitskreis hat in den folgenden Jahren unter Beteiligung interessierter Kreise eine "Konzeption zur Ableitung von Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer vor gefährlichen Stoffen" erstellt, die im Mai 1993 von der 40. Umweltministerkonferenz (UMK) unter dem Vorbehalt der weiteren Erprobung verabschiedet wurde (1). Auf der Grundlage der Konzeption können künftig bei der Bewirtschaftung der Gewässer in Ergänzung zu den bestehenden rechtlichen Regelungen zur Emissionsbegrenzung Anforderungen an die Gewässerqualität definiert werden.

Die Konzeption beinhaltet Grundsätze zur Ableitung von Zielvorgaben für folgende Schutzgüter:

- Aquatische Lebensgemeinschaften
- Berufs- und Sportfischerei
- Bewässerung landwirtschaftlich genutzter Flächen
- Schwebstoffe und Sedimente
- Freizeit und Erholung
- Trinkwasserversorgung.

Bei den fachlich begründeten Zielvorgaben (ZV) handelt es sich um Konzentrationsangaben für gefährliche Stoffe in Wasser, Schwebstoff oder Sediment, die nach Möglichkeit nicht überschritten werden sollten (Orientierungswerte). Die Einhaltung der Zielvorgaben gewährleistet nach dem heutigen Stand wissenschaftlicher Erkenntnisse, daß eine Gefährdung der betrachteten Schutzgüter nicht zu besorgen ist. Bei festgestellter Überschreitung der Zielvorgaben können nach entsprechender Ursachenforschung Prioritäten im Gewässerschutz besser definiert werden. Ferner liefert der beschriebene Zielvorgabenansatz eine Grundlage zur Gewässerzustandsbeschreibung und trägt zur

Prioritätensetzung bei der Optimierung von Analyseverfahren bei.

Auf der Grundlage dieser Konzeption wurden vom Umweltbundesamt für eine Reihe von gefährlichen Stoffen fachlich begründete Zielvorgaben abgeleitet, die teilweise noch unter dem Vorbehalt der weiteren Erprobung stehen. Bisher liegen für die folgenden zwei Stoff-

gruppen:

- 28 gefährliche organische Stoffe (Industriechemikalien)
- 7 Schwermetalle

Zielvorgaben für die Schutzgüter "Aquatische Lebensgemeinschaften", "Trinkwasserversorgung" u.a. vor (21, 2). Die Zielvorgaben haben eine vom BLAK QZ durchgeführte Anhörung durchlaufen, d.h. sie wurden unter Beteiligung interessierter Kreise fachlich abgestimmt.

Für Biozide und Pflanzenbehandlungsmittel wurden im Gegensatz zu o.g. Stoffgruppen bislang lediglich für das Schutzgut „Trinkwasserversorgung“ Zielvorgaben abgeleitet.

Parallel wurden die Arbeiten des BLAK QZ auch von der Internationalen Kommission zum Schutze des Rheins (IKSR) bei der Ableitung von Zielvorgaben für insgesamt 65 prioritäre Stoffe bzw. Stoffgruppen berücksichtigt (3).

Auf der 101. Sitzung der LAWA-Vollversammlung am 26./27. 08. 1993 wurde als Nachfolger des BLAK QZ der LAWA-Arbeitskreis "Zielvorgaben" (LAWA -AK „ZV“) eingerichtet, dessen Aufgabe es zunächst war, schwerpunktmäßig die Erprobung der bisher abgeleiteten Zielvorgaben durchzuführen.

Die Erprobung wurde für die o.g. Stoffgruppen getrennt durchgeführt. Sie erfolgt in 3 Stufen. In der Stufe 1 werden die als Jahreskennwerte aggregierten Immissionsdaten an den LAWA-Meßstellen mit den jeweiligen Zielvorgaben für die verschiedenen Schutzgüter verglichen. Bei einer Überschreitung der Zielvorgaben erfolgt durch die jeweils betroffenen Bundesländer in der Stufe 2 eine Recherche der Ursachen einschließlich einer Prüfung, durch welche Maßnahmen und in welchen Zeiträumen mit der Einhaltung der Zielvorgabe gerechnet werden kann. Die Stufe 3 sieht darüber hinaus eine freiwillige Ausdehnung der Erprobung auf Meßstellen vor, die keine LAWA-Meßstellen sind.

Bisher wurde die Erprobung der Zielvorgaben für die Gruppe der 28 gefährlichen organischen Stoffe (Industriechemikalien) in allen 3 Stufen erfolgreich abgeschlossen. Laut Beschluß der 105. LAWA-Sitzung vom 14./15. September 1995 und der 45. UMK vom 30. Nov./1. Dez. 1995 hat sich die durch den BLAK QZ erstellte Konzeption als Verfahren zur Ableitung von Zielvorgaben in der Erprobung für die 28 gefährlichen organischen Industriechemikalien bewährt. Daher wird die Anwendung der Zielvorgaben für die erprobten 28 gefährlichen organischen Stoffe im wasserwirtschaftlichen Vollzug empfohlen.

Der vorliegende Bericht enthält eine modifizierte Kurzfassung der Anleitung zur „Ableitung von Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer für die Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink“ (2) und beschreibt, wie Zielvorgaben für Schwermetalle als natürlich vorkommende Stoffe auf der Basis der Zielvorgaben-Konzeption (1) abgeleitet werden.

Die Ergebnisse der Zielvorgabenerprobung sind in Kapitel 3 zusammengefaßt. Ein umfassender Ist-Soll-Wertvergleich findet sich in (20).

## **2. Ableitung von Zielvorgaben für Schwermetalle zum Schutz oberirdischer Binnengewässer**

Als Ausgangspunkt für die Ableitung von Zielvorgaben für das Schutzgut „Aquatische Lebensgemeinschaften“ dienen grundsätzlich Toxizitätsdaten für Vertreter der vier zentralen Trophiestufen der Gewässerbiozönose (Bakterien, Algen, Krebse, Fische). Verwendet werden Daten aus anerkannten Testverfahren, die eine Beurteilung der längerfristigen Wirkungen erlauben. Ausgehend vom niedrigsten Testergebnis--vorzugsweise ein NOEC-Wert für die empfindlichste Art--wird in der Konzeption (1) in der Regel ein Ausgleichsfaktor in Höhe von 0,1 angesetzt, um den Unsicherheiten bei der Übertragung der Labortestergebnisse auf das Gewässer und auf möglicherweise empfindlichere Arten unter Freilandbedingungen Rechnung zu tragen. Für natürlich vorkommende Stoffe legt die Konzeption (1) folgendes Vorgehen fest:

„Wird nach der vorgenannten Vorgehensweise für einen natürlich vorkommenden Stoff, z.B. für ein Schwermetall, eine Zielvorgabe abgeleitet, die im Bereich der natürlichen

## 8 Ableitung und Erprobung von Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer für die Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink

Grundbelastung dieses Stoffes oder darunter liegt, ist eine gesonderte Betrachtung erforderlich. Dabei sollte sich die Zielvorgabe an der natürlichen Grundbelastung als Ableitungsgrundlage orientieren.“

Die Ableitung der Zielvorgaben für die übrigen Schutzgüter erfolgt entsprechend der Konzeption (1).

### 2.1 Natürliches Vorkommen von Schwermetallen in Fließgewässern

Der natürliche Schwermetallgehalt von anthropogen unbeeinflussten Fließgewässern ist im wesentlichen vom Schwermetallgehalt des geologischen Untergrundes abhängig (4). Der Hintergrundwert von Metallen im Wasser und in Sedimenten beschreibt dabei einen Zustand, der frei von jeder anthropogenen Beeinflussung sein sollte. Bei der Ermittlung von Hintergrundwerten sind mögliche anthropogene Belastungsquellen wie z. B. Einträge durch Abwassereinleitungen, Einträge über Luft und Niederschlag, diffuse Einträge durch frühere oder bestehende Bergbautätigkeit sowie erhöhte Freisetzung von Metallen durch saure Niederschläge im Gewässereinzugsgebiet auszuschließen.

Hinweise auf Gebiete, in denen für die einzelnen Metalle mit einer erhöhten geogenen Hintergrundbelastung oder einer erhöhten Belastung z. B. durch frühere Bergbautätigkeit zu rechnen ist, kann u. a. dem Geochemischen Atlas der Bundesrepublik Deutschland aus dem Jahre 1985 entnommen werden (5). Viele Gebiete, in denen eine erhöhte Schwermetallbelastung des Bodens vorliegt, sind durch Untergrundgesteine mit mangelnder Pufferungsfähigkeit gekennzeichnet. Durch saure Niederschläge kommt es in diesen Gebieten zu einer Versauerung des Bodens und zu einer erhöhten Freisetzung von Metallen aus dem Untergrund.

Während die geogene Hintergrundbelastung von Sedimenten im allgemeinen gut durch Sedimentuntersuchungen aus vorindustriellen Zeiträumen zu bestimmen ist, läßt sich die Hintergrundkonzentration von Schwermetallen im Wasser nur näherungsweise abschätzen, da es heute kaum noch Gebiete gibt, die frei von anthropogener Beeinflussung sind. Im folgenden Abschnitt ist die Abschätzung von Hintergrundwerten für die Schwermetallgehalte in Schwebstoffen, Sedimenten und Wasser beschrieben.

### 2.1.1 Hintergrundgehalte in Schwebstoffen und Sedimenten

Bei der Definition von Hintergrundwerten für die Schwermetallgehalte in Sedimenten (12) (Tabelle 1) wurden auch die Hintergrundwerte für Schwermetalle im Tongesteinstandard (6, 7), in der Feinkornfraktion von Sedimenten aus vorindustriellen Zeiträumen (8, 9, 10) so

wie von unbelasteten Fließgewässerabschnitten (11) berücksichtigt. Die Hintergrundwerte des Bund/Länder-Meßprogrammes (12) geben die natürliche Metallbelastung von Gewässersedimenten realistischer wieder als der Tongesteinstandard, da sie mit den Schwermetallgehalten von Flußsedimenten der Elbe und des Rheins aus vorindustriellen Zeiträumen vergleichbar sind. Sie werden daher zur Beurteilung der Schwermetallbelastung von Flußsedimenten empfohlen. Zu berücksichtigen ist, daß die natürlichen Schwermetallgehalte etwa um den Faktor 2 schwanken können.

Die Schwermetallgehalte in Schwebstoffen variieren je nach dem Gehalt an organischer Substanz und dem Tonmineralgehalt, sind im allgemeinen aber mit den Schwermetallgehalten in der Fraktion < 20 µm des Gewässersedimentes vergleichbar. Die in Tabelle 1 aufgeführten Hintergrundwerte für Sedimente können daher als Vergleichsgröße für die Beurteilung der Belastung von Schwebstoffen mit Schwermetallen herangezogen werden.

| Metall      | Hintergrundwert | Geschätzter Schwankungsbereich |
|-------------|-----------------|--------------------------------|
| Blei        | 25              | 12,5-50                        |
| Cadmium     | 0,3             | 0,15-0,6                       |
| Chrom       | 80              | 40-160                         |
| Kupfer      | 20              | 10-40                          |
| Nickel      | 30              | 10-60                          |
| Quecksilber | 0,2             | 0,1-0,4                        |
| Zink        | 100             | 50-200                         |

Tab. 1: Hintergrundwerte für Schwermetallgehalte in feinkörnigen Sedimenten (Fraktion < 20 µm, Angaben in mg/kg)

### 2.1.2 Hintergrundkonzentrationen in Wasser

Im Wasser kommen Schwermetalle sowohl in gelöster als auch in partikulär gebundener Form vor, wobei Umsetzungsprozesse zwischen gelösten und adsorptiv gebundenen Schwermetallen auftreten. Untersuchungen über die Bindungsformen von Schwermetallen im Gewässer wurden u. a. von (13, 14, 15) durchgeführt. Hinweise zum Konzentrationsverhältnis zwischen den Gehalten in der unfiltrierten und der 0,45 µm filtrierten Wasserprobe lassen sich u. a. den Untersuchungen an bayrischen Fließgewässern entnehmen (11). Die Filtration (0,45 µm) wird üblicherweise zur Trennung der partikulären gebundenen und der "gelösten" Schwermetallanteile genutzt.

Für die natürliche Hintergrundkonzentrationen von Schwermetallen in Oberflächengewässern liegen bisher keine vergleichbar verlässlichen Daten wie für Sedimente vor. Diese Daten fehlen, weil es aufgrund des aktuellen Immissionseintrages praktisch keine "unbelasteten" Gewässer mehr gibt. Eine weitere Schwierigkeit besteht darin, daß aus der Literatur oft nicht zu entnehmen ist, ob sich die Angaben zur Hintergrundkonzentration auf die Gesamtkonzentration oder auf den "gelösten" Anteil beziehen.

Auf der Basis der aus Literaturangaben abgeschätzten Hintergrundwerte für die "gelösten" Schwermetalle, der Hintergrundgehalte von Schwermetallen in Schwebstoffen und der durchschnittlichen Schwebstoffkonzentration wurde im folgenden Abschnitt eine Abschätzung von Hintergrundwerten für die Gesamtkonzentration der Schwermetalle vorgenommen.

Die Gesamtkonzentration von Schwermetallen ist von der Konzentration des an Schwebstoffe gebundenen Schwermetalls ( $C_s$ ) und der Konzentration des in der Wasserphase gelösten Schwermetalls ( $C_{gel}$ ) abhängig.

$$C_{ges} = C_s + C_{gel}$$

Die Hintergrundkonzentration der gelösten Schwermetalle im Gewässer ist von der Geologie des Untergrundes und dem Wasserchemismus (Wasserhärte, pH-Wert, Ionenstärke usw.) abhängig, so daß die Hintergrundkonzentration einer gewissen Schwankungsbreite unterliegt. In Tabelle 2 sind die in der Literatur angegebenen Konzentrationen für unbelastete Gewässer zusammengestellt.

|             | IKSR (16) |        | Wachs (11, 17)   | Salomons / Förster (18) | Merian (19) |
|-------------|-----------|--------|------------------|-------------------------|-------------|
|             | gelöst    | gesamt | Filtr. (0,45 µm) |                         |             |
| Blei        | 0,007     | 1,5    | < 0,2            | 0,2                     | 0,3         |
| Cadmium     | 0,003     | 0,02   | < 0,03           | 0,02                    | 0,4         |
| Chrom       | 0,5       | 4,7    | < 0,1            | 0,5                     | 1           |
| Kupfer      | 0,9       | 2,2    | < 0,5            | 1                       | 2           |
| Nickel      | 7,7       | 9,5    | < 0,3            | 0,3                     | 0,3         |
| Quecksilber | 0,002     | 0,01   | < 0,01           | 0,01                    | 0,07        |
| Zink        | 1,3       | 5,5    | < 3              | 5 - 10                  | 7           |

Tab. 2: Literaturangaben zur Schwermetallkonzentration "unbelasteter" Gewässer (µg/l)

Beim Vergleich der Literaturangaben für weitgehend unbelastete Gewässer ist zu berücksichtigen, daß heute in vielen Fällen eine eindeutige Trennung von anthropogener und geogener Belastung kaum noch möglich ist, da durch frühere Bergbautätigkeit, diffuse Einträge über Luft und Niederschlag und Freisetzung von Metallen aus dem Untergrund durch saure Niederschläge auch die Schwermetallkonzentration im quellennahen Bereich beeinflusst sein können. Die aus den Literaturangaben unter Berücksichtigung der gegenwärtigen Immissionssituation abgeschätzten Werte für die durchschnittliche Hintergrundkonzentrationen der gelösten Schwermetalle sind in Tabelle 3, Spalte 4 angegeben.

Die Hintergrundkonzentration ( $c_s$ ) für die partikulär gebundenen Schwermetalle im Wasser kann aus den Hintergrundgehalten in Schwebstoffen ( $W_s$ ) und der durchschnittlichen Schwebstoffkonzentration ( $C_{sch}$ ) abgeschätzt werden.

## 10 Ableitung und Erprobung von Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer für die Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink

$$C_s(\mu\text{g/l}) = W_s(\mu\text{g/kg}) \cdot C_{sch}(\text{mg/l}) \cdot 10^{-6} \text{ (kg/mg)}$$

Für die Berechnung von  $C_s$  wurden die Hintergrundwerte des unbelasteten Sediments aus Tabelle 1 verwendet. Die Schwebstoffkonzentration im Wasser wurde für die Berechnung auf 25 mg/l festgelegt und entspricht der durchschnittlichen Konzentration für einen mittleren Abfluß im Rhein bei Koblenz. Die in dieser Weise abgeschätzten Hintergrundkonzentrationen für die partikulär gebundenen Schwermetalle sind in Tabelle 3, Spalte 3 angegeben.

Aus diesen Hintergrundkonzentrationen für die partikulär gebundenen und die gelösten Schwermetalle wurden die Hintergrundwerte

für die normierte Gesamtkonzentration ermittelt. Diese sind in Tabelle 3, Spalte 5 angegeben. Aufgrund der verschiedenen natürlichen Einflußfaktoren kann die Gesamtkonzentration der einzelnen Schwermetalle in unbelasteten Gewässern etwa um den Faktor 2 variieren. Der geschätzte Schwankungsbereich für die Gesamtkonzentration ist in Tabelle 3, Spalte 6 eingetragen. Ein Vergleich der Gesamtschwermetallgehalte von Proben mit abweichenden Schwebstoffkonzentrationen mit der normierten Gesamtkonzentration des Backgrounds (Tabelle 3, Spalte 5) führt zu fehlerhaften Ergebnissen und sollte deshalb unterbleiben.

|             | 1   | 2                             | 3   | 4  | 5   | 6   |
|-------------|---|-------------------------------|---|--|---|---|
|             | Hintergrund-<br>gehalt<br>in<br>Schwebstoffen | Schwebstoff-<br>konzentration | Hintergrund-<br>konzentration<br>Wasser<br>partikulär ge-<br>bunden | Hintergrund-<br>konzentration<br>Wasser gelöst | Hintergrund-<br>konzentration<br>Wasser<br>gesamt | Hintergrund-<br>konzentration<br>Geschätzter<br>Schwankungs-<br>bereich |
|             | $W_s$   | $C_{sch}$                     | $C_s$   | $C_{gel}$                                      | $C_{ges}$   | $C_{ges}$   |
|             | mg/kg   | mg/l                          | $\mu\text{g/l}$   | $\mu\text{g/l}$                                | $\mu\text{g/l}$                                   | $\mu\text{g/l}$   |
| Blei        | 25  | 25                            | 0,625   | 0,2  | 0,83  | 0,4 - 1,7   |
| Cadmium     | 0,3   | 25                            | 0,0075  | 0,01   | 0,018   | 0,009 - 0,036   |
| Chrom       | 80  | 25                            | 2,0   | 0,5  | 2,5   | 1,3 - 5,0   |
| Kupfer      | 20  | 25                            | 0,5   | 0,5  | 1,0   | 0,5 - 2,0   |
| Nickel      | 30  | 25                            | 0,75  | 0,3  | 1,1   | 0,6 - 2,2   |
| Quecksilber | 0,2   | 25                            | 0,005   | 0,005  | 0,01  | 0,005 - 0,02  |
| Zink        | 100   | 25                            | 2,5   | 1  | 3,5   | 1,8 - 7   |

Tab. 3: Abschätzung der Hintergrundkonzentration von Schwermetallen in Fließgewässern (2)

### 2.2 Festlegung von Zielvorgaben für Schwermetalle zum Schutz aquatischer Lebensgemeinschaften

Schwermetalle kommen von Natur aus in Gewässern vor und sind für Organismen z.T. essentiell. Bei erhöhten Konzentrationen haben sie jedoch eine schädigende Wirkung auf Wasserorganismen. Die Wirkungsschwellenwerte werden in der Regel unter definierten Laborbedingungen und mit vollständig gelösten Schwermetallen ermittelt. Die Übertragung auf Freilandbedingungen bereitet Schwierigkeiten, da im Gewässer nur ein Teil der Schwermetalle gelöst vorliegt. Hiervon abgesehen ist der bioverfügbare Teil nicht zwangsläufig mit dem gelösten Anteil gleich-

zusetzen. In der filtrierten Wasserprobe (<0,45  $\mu\text{m}$ ) liegt nur ein Teil der Schwermetalle biologisch verfügbar gelöst vor, ein anderer Teil ist kolloidal gelöst oder fest an Komplexbildner gebunden. Ferner ist zu berücksichtigen, daß Organismen Schwermetalle auch aus der partikulären Phase aufnehmen können. Der bioverfügbare Anteil der Schwermetallkonzentrationen im Gewässer variiert und könnte nur sehr aufwendig bestimmt werden. Es erscheint daher, aus Vorsorgegründen gerechtfertigt, die Wirkungstestergebnisse mit der Gesamtkonzentration in der Wasserprobe zu vergleichen, auch wenn ein unbestimmter Schwermetallanteil biologisch nicht verfügbar sein dürfte.

Die Wirkungsdaten für Vertreter der vier zentralen Trophiestufen (Bakterien, Algen, Krebse, Fische), die für die Ableitung von Zielvorgaben heranzuziehen sind, sind in den Stoffdatenblättern in (2) aufgelistet. Die Zusammenstellung von NOEC- bzw. Wirkungsschwellenwerten für Wasserorganismen in Tabelle 4 zeigt, daß die NOEC-Werte für die empfindlichsten Arten im Bereich der natürlichen Hintergrundkonzentration von Gewässern oder wenig darüber liegen. Eine Ableitung von zahlenmäßigen Zielvorgaben unter Anwendung von Ausgleichsfaktoren auf die NOEC-Werte der empfindlichsten Art wird daher nicht vorgenommen. Zum Schutz der aquatischen Lebensgemeinschaften ist die Belastung der Gewässer mit Schwermetallen so gering wie möglich zu halten.

Für die Beurteilung der Belastung von Fließgewässern mit Schwermetallen wurde deshalb zum Schutz der aquatischen Lebensgemeinschaften eine Zielvorgabe (50-Perzentilwert) in Höhe des doppelten oberen Hintergrundwertes aufgestellt. Dies berücksichtigt die nicht vollständige Bioverfügbarkeit sowie eine mögliche regionale Schwankungsbreite der Hintergrundwerte.

Es ist nach heutigem Stand des Wissens davon auszugehen, daß bei Einhaltung der

Zielvorgabe eine Beeinträchtigung der aquatischen Ökosysteme in der Regel nicht zu besorgen ist.

In Tabelle 4 sind für die einzelnen Schwermetalle sowohl für die Wasserphase als auch für Schwebstoffe die jeweiligen Hintergrundbereiche und Zielvorgaben zusammengestellt. Die aus einer breiten Datenbasis ermittelten Hintergrundwerte für die Schwermetallgehalte in Sedimenten und die darauf basierenden Zielvorgaben für Schwebstoffe sollten für die Gewässergüteüberwachung und für die Überprüfung von Zielvorgaben für das Schutzgut „Aquatische Lebensgemeinschaften“ zugrunde gelegt werden. Die angegebenen Werte für die Schwermetallkonzentration in der Wasserphase dienen lediglich zur Beurteilung vorliegender Meßergebnisse und sollten nur ersatzweise, wenn Schwebstoffdaten fehlen, zur Überprüfung der Zielvorgaben herangezogen werden.

Die Zielvorgaben für die Wasserphase sind auf eine Schwebstoffkonzentration von 25 mg/l bezogen. Bei Gewässern mit deutlich niedrigeren oder höheren Schwebstoffgehalten kann eine Anpassung der Zielvorgaben an die jeweilige gewässertypische Schwebstoffkonzentration erforderlich werden.

|             | Wasser  |                                  |                              | Schwebstoffe       |                |
|-------------|---|----------------------------------|------------------------------|--------------------|----------------|
|             | NOEC-Werte der empfindlichsten Art            | Hintergrundbereich <sup>1)</sup> | Zielvorgabe <sup>1) 2)</sup> | Hintergrundbereich | Zielvorgabe    |
|             |   | C <sub>ges</sub>                 | C <sub>ges</sub>             | W <sub>s</sub>     | W <sub>s</sub> |
|             | µg/l  | µg/l                             | µg/l                         | mg/kg              | mg/kg          |
| Blei        | 0,2   | 0,4 - 1,7                        | 3,4                          | 12,5 - 50          | 100            |
| Cadmium     | 0,08  | 0,009 - 0,036                    | 0,072                        | 0,15 - 0,6         | 1,2            |
| Chrom       | Cr <sup>6+</sup> : 2<br>Cr <sup>3+</sup> : 10 | 1,3 - 5,0                        | 10                           | 40 - 160           | 320            |
| Kupfer      | 0,2   | 0,5 - 2,0                        | 4                            | 10 - 40            | 80             |
| Nickel      | 0,2   | 0,6 - 2,2                        | 4,4                          | 15 - 60            | 120            |
| Quecksilber | anorg. < 0,23<br>org. < 0,04                  | 0,005 - 0,02                     | 0,04                         | 0,1 - 0,4          | 0,8            |
| Zink        | 0,2   | 1,8 - 7                          | 14                           | 50 - 200           | 400            |

Tab. 4: NOEC-Werte, Hintergrundbereiche und Zielvorgaben für das Schutzgut „Aquatische Lebensgemeinschaften“ - Überwachung mit dem 50-Perzentilwert

<sup>1)</sup> Die Werte sind auf Gewässer mit einer Schwebstoffkonzentration von 25 mg/l bezogen.

<sup>2)</sup> Der Wert gilt ersatzweise, wenn Schwebstoffdaten fehlen.

## 12 Ableitung und Erprobung von Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer für die Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink

### 2.3 Zielvorgaben für weitere Schutzgüter

Die Zielvorgaben, die für die Schutzgüter „Aquatische Lebensgemeinschaften“, „Berufs- und Sportfischerei“, „Bewässerung landwirtschaftlich genutzter Flächen“, „Schwebstoffe und Sedimente“ und „Trinkwasserversorgung“ auf der Grundlage der Konzeption der LAWA abgeleitet wurden (1), sind in Tabelle 5 zusammengefaßt. Die Ableitung der Zielvorgaben erfolgt in den jeweiligen Stoffdatenblättern, die auch die Datengrundlage enthalten (2). Eine Ableitung von Zielvorgaben für das Schutzgut „Freizeit und Erholung“ wurde nicht vorgenommen. Es wird davon ausgegangen, daß die Einhaltung der Zielvorgaben für das Schutzgut „Trinkwasserversorgung“ in der

Regel auch die Nutzung als Badegewässer sicherstellt.

Für die Schutzgüter „Berufs- und Sportfischerei“, „Trinkwasserversorgung“ sowie „Bewässerung landwirtschaftlich genutzter Flächen“ sind die Zielvorgaben auf die Gesamtkonzentration im Wasser bezogen (Prüfwert: 90-Perzentil), während die Werte für die Schutzgüter „Aquatische Lebensgemeinschaften“ und „Schwebstoffe und Sedimente“ auf die Schwermetallgehalte in Schwebstoffen bezogen sind (Prüfwert: 50 Perzentil).

Die Schutzgüter „Aquatische Lebensgemeinschaften“ und „Schwebstoffe und Sedimente“ stellen die strengsten Anforderungen an die Wasserqualität.

|             | Schwebstoff   |   | Wasser                                      |                         |                            |
|-------------|---|---|---|-------------------------|----------------------------|
|             | Aquatische <sup>1)</sup><br>Lebensgemein-<br>schaften | Boden<br>Schwebstoffe/<br>Sedimente <sup>3)</sup> | Berufs- und<br>Sportfischerei <sup>2)</sup> | Bewässerungs-<br>wasser | Trinkwasser-<br>versorgung |
|             | mg/kg (TS)  | mg/kg (TS)  | µg/l  | µg/l                    | µg/l                       |
| Blei        | 100   | 100   | 5,0   | 50                      | 50                         |
| Cadmium     | 1,2   | 1,5   | 1,0   | 5                       | 1                          |
| Chrom       | 320   | 100   | nr  | 50                      | 50                         |
| Kupfer      | 80  | 60  | nr  | 50                      | 20                         |
| Nickel      | 120   | 50  | nr  | 50                      | 50                         |
| Quecksilber | 0,8   | 1   | 0,1   | 1                       | 0,5                        |
| Zink        | 400   | 200   | nr  | 1.000                   | 500                        |

Tab. 5: Zielvorgaben für Oberflächengewässer im Hinblick auf unterschiedliche Schutzgüter

### 2.4 Überwachung der Zielvorgaben

Eine Zielvorgabe gilt in einem Jahr für das Schutzgut „Aquatische Lebensgemeinschaften“ bzw. „Schwebstoffe und Sedimente“ als eingehalten, wenn das 50-Perzentil der gemessenen Schwermetallgehalte im Schwebstoff an einer repräsentativen Gewässermeß-

stelle den Zahlenwert der Zielvorgabe nicht überschreitet. Sollten nicht genügend Meßwerte vorliegen, kann hilfsweise der Mittelwert herangezogen werden. Für die Verwendung von 50-Perzentilen spricht die Tatsache, daß die Schwermetallzielvorgaben für das Schutzgut „Aquatische Lebensgemeinschaften“ von

<sup>1)</sup> Erläuterungen siehe: Kap. 2.2

<sup>2)</sup> Schutzgut: Fisch als Nahrungsmittel, nr) nicht relevant

<sup>3)</sup> Höchstzulässige Schwermetallgehalte im Boden nach der Klärschlammverordnung vom 15.04.1992

der mittleren geogenen Hintergrundkonzentration abgeleitet sind und für das Schutzgut "Schwebstoffe und Sedimente" auf den Bodengrenzwerten der Klärschlammverordnung, die sich auf Durchschnittswerte beziehen, basieren. Die Überwachung der Zielvorgaben wurde in diesem Punkt gegenüber der Konzeption zur Ableitung der Zielvorgaben (1) modifiziert.

Eine Zielvorgabe gilt in einem Jahr für das Schutzgut „Berufs- und Sportfischerei“, „Bewässerung landwirtschaftlich genutzter Flächen“, bzw. „Trinkwasserversorgung“ als eingehalten, wenn das 90-Perzentil der gemessenen Schwermetallkonzentrationen in der Gesamtwasserprobe an einer repräsentativen Gewässermeßstelle den Zahlenwert der Zielvorgabe nicht überschreitet.

### 3. Ergebnisse der Zielvorgabenerprobung

Gemäß Beschluß der 101. LAWA-Sitzung vom 26./27. August 1993 (zu TOP 7) und des Schreibens des LAWA-Vorsitzenden (LAWA 05-5311 vom 02.02.1994) haben alle Bundesländer bis zum 21. Oktober 1996 länderspezifische Erprobungsberichte eingereicht.

Der hier vorgelegte modifizierte **Erprobungsbericht über die ZV für Schwermetalle** erfolgte auf der Basis der in Kapitel 2 abgeleiteten Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Gewässer für die Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink und stellt nach Durchführung einer bundesweiten Auswertung für 151 LAWA-Meßstellen (1. Schritt der Erprobung) das zusammengefaßte Endergebnis der verschiedenen Berichte der an der Erprobung beteiligten Bundesländer dar (2. Schritt der Erprobung).

Grundlage der Ländererprobung war der Bericht "Erprobung von Zielvorgaben für gefährliche Stoffe an ausgewählten Fließgewässern - Vergleich von Belastungsdaten und Zielvorgaben für Schwermetalle (1991 - 1994)" (20). Der Vergleich der aggregierten Meßwerte von Gesamtwasser- bzw. Schwebstoff-Proben mit den Zielvorgaben für die Schutzgüter "Trinkwasserversorgung", "Bewässerung landwirtschaftlich genutzter Flächen" und "Berufs- und Sportfischerei" erfolgte mit dem 90-Perzentil, für die Schutzgüter "Schwebstoffe

und Sedimente" und "Aquatische Lebensgemeinschaften" mit dem 50-Perzentil.

Vorzugsweise sollten Schwebstoff-Meßergebnisse verwendet werden, da die Umrechnung der häufiger gemessenen Gesamtmetallkonzentrationen aus der Wasserphase in Schwebstoffwerte mit zu großen Unsicherheiten behaftet ist, als daß aussagekräftige Werte mit dieser Methode zu erhalten sind. Meßergebnisse der Schwebstoffbelastung liegen in den Bundesländern jedoch nur in geringem Umfang vor, so daß behelfsweise auf die Meßwerte der Gesamtmetallkonzentrationen in der Wasserphase zurückgegriffen werden mußte.

Zur Feststellung der ZV-Überschreitungen wurde von den Bundesländern auf das Klassifizierungssystem im Bericht (20) zurückgegriffen:

Überschreitung um einen Faktor von

|              |                 |
|--------------|-----------------|
| > 1 bis ≤ 2  | Klasse 1 (*)    |
| > 2 bis ≤ 5  | Klasse 2 (**)   |
| > 5 bis ≤ 10 | Klasse 3 (***)  |
| > 10         | Klasse 4 (****) |

Der Schwerpunkt der Erprobung liegt bei der Bewertung der erheblichen ZV-Überschreitungen ab Klasse 2 (\*\*) aufwärts.

Die Erprobung der ZV für die Schwermetalle wurde auf der Basis der von den Ländern gelieferten Meßwerte durchgeführt. Nach wie vor bestehen analytische Schwachstellen, die in Zukunft nur durch eine geänderte und verbesserte Untersuchungsstrategie der Länder bei der Gewässerüberwachung -z.B. durch eine separate Analyse der Wasser- und Schwebstoffbelastung- beseitigt werden können.

Die Länderberichte sind bezüglich des Untersuchungszeitraumes, des Umfangs der zur Verfügung stehenden Daten für die Wasser- bzw. Schwebstoffphase und somit auch des Inhalts an Detailinformationen sehr heterogen. Dies war jedoch wegen des oft nur lückenhaften Ausgangsdatenmaterials nicht anders zu erwarten. Dennoch reichen nach Ansicht des LAWA-AK"ZV" die vorhandenen Daten mit den entsprechenden Erfahrungsberichten der Länder unter Berücksichtigung der oben gemachten Einschränkungen für eine Erprobung und Bewertung der Zielvorgaben aus. Eine

## 14 Ableitung und Erprobung von Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer für die Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink

homogene Auswertung der 151 LAWA-Meßstellen ist dem Bericht (20) zu entnehmen. In die Erprobung einbezogen wurden über 80 Fließgewässer.

Eine Übersicht über die höchsten festgestellten Überschreitungen der Zielvorgaben ist schadstoffbezogen unter Angabe des Schutzgutes und der Überschreitungsstufe aus Tabelle 6 (für die Wasserphase) und aus Tabelle 7 (für die Schwebstoffphase) zu entnehmen.

Im nachfolgenden Text werden die Zielvorgabenüberschreitungen schutzgutbezogen für die einzelnen Schwermetalle und die jeweils betroffenen Gewässer erläutert, unabhängig von der jeweiligen Nutzung des Gewässers. Für die Interpretation der Überschreitungen im Einzelfall sind die jeweils zu berücksichtigenden Nutzungen zu beachten.

### 3.1 Überschreitungen der ZV in der Wasserphase

Die Schwermetallgehalte werden im Rahmen der Gewässerüberwachung der Länder nach wie vor hauptsächlich in der Wasserphase und nicht im Schwebstoff analysiert. Somit erfolgt die schutzgutbezogene Auswertung überwiegend auf der Basis von Meßreihen der Schwermetallgesamtbelastung im Wasser. Dies gilt auch für die Schutzgüter "Aquatische Lebensgemeinschaften" und "Schwebstoffe und Sedimente", bei denen die ZV primär für das Kompartiment Schwebstoff abgeleitet und anschließend in Ermangelung einer hinreichenden Anzahl von Meßwerten auf ZV in der Wasserphase umgerechnet werden mußten.

Da regionalspezifische Gegebenheiten (unterschiedliche Schwebstoffkonzentrationen und Verteilungskoeffizienten) aufgrund fehlender Daten nicht berücksichtigt werden konnten, beinhalten die auf die Wasserphase umgerechneten ZV mehr oder weniger große systematische Fehler. Dies ist bei der Interpretation und Bewertung der entsprechenden Befunde zu berücksichtigen.

Ein Problem der Spurenanalytik in der Wasserphase besteht darin, daß häufig die analytischen Bestimmungsgrenzen so hoch liegen, daß die Prüfwerte (z.B. das 50- bzw. 90-Perzentil der Meßwerte) darunterliegen. Liegt auch die ZV unter der Bestimmungsgrenze, ist eine sichere Aussage über die Einhaltung der

ZV nicht möglich. Wegen dieser analytischen Schwierigkeiten sind im folgenden genaue Aussagen über die Einhaltung der ZV für Quecksilber und in geringerem Maße auch für Cadmium häufig nicht oder nur eingeschränkt möglich.

#### 3.1.1 Schutzgut "Aquatische Lebensgemeinschaften"

Überschreitungen der ZV für Blei werden in NI für die Weser<sup>\*\*</sup>, in NW für Werre<sup>\*\*\*</sup>, Wupper<sup>\*\*</sup>, Erf<sup>\*\*</sup> und Rur<sup>\*\*</sup> und in ST für Saale<sup>\*\*</sup> und Unstrut<sup>\*\*</sup> festgestellt.

Überschreitungen der ZV für Cadmium werden aus HH und SN für die Elbe<sup>\*\*</sup>, aus NI für Weser<sup>\*\*</sup>, Aller<sup>\*\*\*</sup> und Oker<sup>\*\*\*</sup>, aus NW für Sieg<sup>\*\*</sup>, Lippe<sup>\*\*</sup> und Möhne<sup>\*\*</sup>, aus BB für Oder<sup>\*\*</sup> und Neiße<sup>\*\*</sup>, aus MV für Sude<sup>\*\*</sup>, Peene<sup>\*\*</sup>, Uecker<sup>\*\*</sup>, Recknitz<sup>\*\*</sup>, Elde<sup>\*\*</sup> und Warnow<sup>\*\*\*</sup>, aus SN für Lausitzer Neiße<sup>\*\*</sup>, Große Röder<sup>\*\*</sup>, Freiberger Mulde<sup>\*\*\*\*</sup> und Vereinigte Mulde<sup>\*\*\*\*</sup>, aus ST für Saale<sup>\*\*</sup>, Elbe<sup>\*\*\*</sup> und Mulde<sup>\*\*\*\*</sup> und aus TH für Werra<sup>\*\*\*\*</sup>, Unstrut<sup>\*\*\*\*</sup>, Wipper<sup>\*\*</sup>, Ilm<sup>\*\*\*\*</sup>, Saale<sup>\*\*</sup>, Weißer Elster<sup>\*\*</sup> und Pleißer<sup>\*\*</sup> gemeldet.

ZV-Überschreitungen für Kupfer werden aus NW für Ems<sup>\*\*</sup>, Rhein<sup>\*\*</sup>, Sieg<sup>\*\*</sup>, Wupper<sup>\*\*</sup>, Ruhr<sup>\*\*</sup>, Lippe<sup>\*\*</sup>, Rur<sup>\*\*</sup>, Swist<sup>\*\*</sup>, Niers<sup>\*\*</sup> und Lenne<sup>\*\*</sup>, aus HE für den Main<sup>\*\*</sup>, aus MV für die Sude<sup>\*\*\*</sup>, aus SN für Lausitzer Neiße<sup>\*\*</sup> und Freiberger Mulde<sup>\*\*</sup>, aus ST für Elbe<sup>\*</sup> und Saale<sup>\*\*</sup> und aus TH für die Werra<sup>\*\*</sup> gemeldet.

Überschreitungen der ZV für Nickel werden in HH und ST für die Elbe<sup>\*\*</sup>, in NW für Wupper<sup>\*\*</sup>, Erf<sup>\*\*\*</sup>, Ruhr<sup>\*\*</sup>, Schwalm<sup>\*\*</sup> und Lenne<sup>\*\*</sup>, in HE für den Schwarzbach<sup>\*\*</sup>, in MV für die Sude<sup>\*\*</sup>, in SN für Schwarze Elster<sup>\*\*</sup> und Freiberger Mulde<sup>\*\*</sup>, in ST für Mulde<sup>\*\*</sup>, Saale<sup>\*\*\*</sup>, Unstrut<sup>\*\*\*</sup> und Weißer Elster<sup>\*\*\*</sup> und in TH für Weißer Elster<sup>\*\*</sup> und Pleißer<sup>\*\*</sup> gefunden.

ZV-Überschreitungen für Quecksilber werden in HH und ST für die Elbe<sup>\*\*\*</sup>, in NI und SN für die Elbe<sup>\*\*</sup>, in BY für Donau<sup>\*\*\*</sup>, Inn<sup>\*\*\*</sup> und S. Saale<sup>\*\*\*</sup>, in MV für Elde<sup>\*\*</sup> und Tollense<sup>\*\*</sup>, in SN für die Lausitzer Neiße<sup>\*\*</sup>, in ST für die Saale<sup>\*\*\*</sup> und in TH für Steinach<sup>\*\*\*\*</sup>, Werra<sup>\*\*\*\*</sup>, Unstrut<sup>\*\*\*\*</sup>, Wipper<sup>\*\*</sup>, Ilm<sup>\*\*\*\*</sup>, Saale<sup>\*\*\*\*</sup>, Weißer Elster<sup>\*\*\*\*</sup> und Pleißer<sup>\*\*\*\*</sup> beobachtet.

Überschreitungen der ZV für Zink werden in HH, NI und ST für die Elbe<sup>\*\*\*</sup>, in NI für Weser<sup>\*\*\*</sup>, Aller<sup>\*\*</sup> und Oker<sup>\*\*\*\*</sup>, in NW für Ems<sup>\*\*\*</sup>, Steuer<sup>\*\*</sup>, Werre<sup>\*\*\*</sup>, Rhein<sup>\*\*</sup>, Sieg<sup>\*\*\*</sup>, Wupper<sup>\*\*</sup>, Erft<sup>\*\*</sup>, Ruhr<sup>\*\*</sup>, Lippe<sup>\*\*</sup>, Rur<sup>\*\*\*</sup>, Swist<sup>\*\*</sup>, Niers<sup>\*\*</sup>, Schwalm<sup>\*\*</sup>, Lenne<sup>\*\*\*</sup> und Möhne<sup>\*\*</sup>, in HE für Schwarzbach<sup>\*\*</sup> und Weschnitz<sup>\*\*</sup>, in BW für den Neckar<sup>\*\*</sup>, in SL für die Saar<sup>\*\*</sup>, in BB für die Oder<sup>\*\*</sup>, in MV für die Warnow<sup>\*\*</sup>, in SN für Lausitzer Neiße<sup>\*\*</sup>, Große Röder<sup>\*\*</sup> und Elbe<sup>\*\*</sup>, in ST für Schwarze Elster<sup>\*\*</sup>, Mulde<sup>\*\*\*</sup>, Saale<sup>\*\*\*</sup>, Weißer Elster<sup>\*\*\*</sup>, Havel<sup>\*\*</sup> und Aland<sup>\*\*</sup> und in TH für Werra<sup>\*\*</sup>, Unstrut<sup>\*\*</sup>, Wipper<sup>\*\*</sup>, Ilm<sup>\*\*</sup>, Saale<sup>\*\*</sup> und Weißer Elster<sup>\*\*</sup> ermittelt.

### 3.1.2 Schutzgut „Schwebstoffe und Sedimente“

Wie die Tabelle 6 ausweist, entsprechen die ZV-Überschreitungen beim Schutzgut „Schwebstoffe und Sedimente“ im wesentlichen den Überschreitungen beim Schutzgut „Aquatische Lebensgemeinschaften“. Unterschiede in Form von geringfügig häufigeren Überschreitungen und z.T. höheren Überschreitungsklassen können aufgrund der gegenüber dem Schutzgut „Aquatische Lebensgemeinschaften“ strengeren ZV bei Chrom, Kupfer, Nickel und Zink auftreten. Die ZV-Überschreitungen für das Schutzgut „Schwebstoffe und Sedimente“ in den Bundesländern NW (für den Rhein) und BE (für die Spree) werden nicht hier, sondern im Kapitel 3.2 für die Schwebstoffphase aufgeführt (s. Tabelle 7). In NI wurde dieses Schutzgut nicht erprobt.

Auffällige zusätzliche Überschreitungen werden in BY für Kupfer in der Salzach<sup>\*\*\*</sup> und für Zink in der S. Saale<sup>\*\*\*</sup> gemeldet.

Weiterhin beobachtet HB für Nickel und Zink eine Überschreitung in der Weser<sup>\*\*</sup>. Auch SL stellt für Nickel eine neue Überschreitung in der Saar<sup>\*\*</sup> fest.

HE berichtet von zusätzlichen Überschreitungen für Kupfer im Schwarzbach<sup>\*\*</sup>, für Nickel in Kinzig<sup>\*\*</sup>, Main<sup>\*\*</sup> und Nidda<sup>\*\*</sup>.

### 3.1.3 Schutzgut „Trinkwasserversorgung“

Die Überschreitungen für das Schutzgut „Trinkwasserversorgung“ gehen insgesamt aus dem Bericht (20) hervor. Die ZV für das

Schutzgut können in den meisten Gewässern von den 90-Perzentil-Werten eingehalten werden.

ZV-Überschreitungen werden weiterhin festgestellt für Cadmium von NW für die Ruhr<sup>\*\*</sup>, von SN für die Freiberger Mulde<sup>\*\*</sup>, von ST für die Mulde<sup>\*\*</sup> und von TH für Werra<sup>\*\*\*\*</sup>, Unstrut<sup>\*\*\*\*</sup>, Wipper<sup>\*\*\*</sup>, Ilm<sup>\*\*\*\*</sup> und Pleiße<sup>\*\*\*\*</sup>.

Für Kupfer werden ZV-Überschreitungen nur von NW für Sieg<sup>\*\*</sup>, Rur<sup>\*\*</sup> und Schwalm<sup>\*\*\*</sup> gemeldet, ebenso wie für Nickel in Erft<sup>\*\*</sup> und Schwalm<sup>\*\*</sup>.

Zu Überschreitungen der ZV für Quecksilber kommt es in NW für die Rur<sup>\*\*\*</sup>(1989), in ST für Saale<sup>\*\*</sup> und in TH für Saale<sup>\*\*\*</sup>, Weißer Elster<sup>\*\*\*</sup> und Pleiße<sup>\*\*\*\*</sup>.

Für Zink werden bundesweit keine ZV-Überschreitungen gemeldet.

Aus den oben genannten Gewässern (mit Ausnahme von Ems, Ruhr, Rur, Elbe, Mulde, Saale und Steuer) wird kein Trinkwasser gewonnen. Außerdem ist bei den Überschreitungen an trinkwasserrelevanten Gewässern zu berücksichtigen, daß die in hohem Anteil schwebstoffgebundenen Schwermetalle schon vor der Rohwassergewinnung durch Uferfiltration bzw. Grundwasseranreicherung in der Regel zurückgehalten werden.

### 3.1.4 Schutzgut „Fischerei“

Zielvorgaben für das Schutzgut liegen für die Schwermetalle Blei, Cadmium und Quecksilber vor.

ZV-Überschreitungen liegen für Blei aus NI für Elbe<sup>\*\*</sup>, Weser<sup>\*\*\*\*</sup>, Aller<sup>\*\*\*</sup>, Leine<sup>\*\*\*\*</sup> und Oker<sup>\*\*\*</sup>, aus NW für Steuer<sup>\*\*</sup>, Werre<sup>\*\*\*\*</sup>, Rhein<sup>\*\*</sup>, Sieg<sup>\*\*\*\*</sup>, Wupper<sup>\*\*\*</sup>, Erft<sup>\*\*\*\*</sup>, Ruhr<sup>\*\*</sup>, Rur<sup>\*\*</sup>, Swist<sup>\*\*</sup>, Niers<sup>\*\*\*</sup>, Schwalm<sup>\*\*\*\*</sup> und Lenne<sup>\*\*</sup>, aus HE für Lahn<sup>\*\*</sup>, Schwarzbach<sup>\*\*</sup> und Weschnitz<sup>\*\*</sup>, aus SL für die Saar<sup>\*\*</sup> und aus ST für Saale<sup>\*\*</sup>, Unstrut<sup>\*</sup> und Weißer Elster<sup>\*\*\*\*</sup> vor.

ZV-Überschreitungen für Cadmium werden aus NI für Weser<sup>\*\*</sup> und Oker<sup>\*\*\*</sup>, aus NW für die Ruhr<sup>\*\*</sup>, aus RP für die Nahe<sup>\*\*</sup>, aus SN für die Freiberger Mulde<sup>\*\*</sup>, aus ST für die Mulde<sup>\*\*</sup> sowie aus TH für Werra<sup>\*\*\*\*</sup>, Unstrut<sup>\*\*\*\*</sup>, Wipper<sup>\*\*\*</sup>, Ilm<sup>\*\*\*\*</sup> und Pleiße<sup>\*\*\*\*</sup> gemeldet.

## 16 Ableitung und Erprobung von Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer für die Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink

Für Quecksilber werden Überschreitungen der ZV in HH für die *Elbe*<sup>\*\*</sup>, in NI für *Weser*<sup>\*\*\*</sup>, *Leine*<sup>\*\*</sup> und *Hunte*<sup>\*\*\*\*</sup>, in NW für *Werre*<sup>\*\*</sup>, *Lippe*<sup>\*\*</sup> und *Rur*<sup>\*\*\*\*</sup> (1989), in HE für den *Schwarzbach*<sup>\*\*\*</sup>, in BY für *Inn*<sup>\*\*\*\*</sup>, *Amper*<sup>\*\*\*</sup>, *Donau*<sup>\*\*\*</sup>, *Main*<sup>\*\*\*</sup>, *Regnitz*<sup>\*\*\*</sup> und *S.Saale*<sup>\*\*\*</sup>, in ST für *Elbe*<sup>\*\*</sup> und *Saale*<sup>\*\*\*\*</sup> und in TH für *Wipper*<sup>\*\*\*</sup>, *Ilm*<sup>\*\*\*\*</sup>, *Weißer Elster*<sup>\*\*\*\*</sup> und *Pleiße*<sup>\*\*\*\*</sup> festgestellt.

### 3.1.5 Schutzgut „Bewässerung landwirtschaftlich genutzter Flächen“

Die ZV für das Schutzgut sind an den meisten Gewässermeßstellen eingehalten. Für Cadmium werden nur aus TH für die *Pleiße*<sup>\*\*\*\*</sup> Überschreitungen der ZV gemeldet.

Für Kupfer wird eine Überschreitung der ZV nur in NW für die *Schwalm*<sup>\*\*</sup> beobachtet.

Auch eine Überschreitung der ZV für Nickel wird nur aus NW für *Erft*<sup>\*\*</sup> und *Schwalm*<sup>\*\*</sup> gemeldet.

Überschreitungen der ZV für Quecksilber werden in NW für die *Rur*<sup>\*\*</sup> und in TH für die *Pleiße*<sup>\*\*\*\*</sup> festgestellt.

### 3.2 Überschreitungen der ZV in der Schwebstoffphase

Die Bundesländer Hamburg, Nordrhein-Westfalen, Hessen, Baden-Württemberg, Bayern, das Saarland und Berlin haben an *Donau, Elbe, Fulda, Inn, Isar, Kinzig, Lahn, Lech, Main, Mosel, Naab, Neckar, Nidda, Regnitz, Rhein, Saar, Sächsischer Saale, Salzach, Schwarzbach, Spree, Werra, Weschnitz* und *Weser* für die Schutzgüter „Aquatische Lebensgemeinschaften“ und „Schwebstoffe und Sedimente“ auch eine Erprobung der ZV in der Schwebstoffphase durchgeführt. Die Ergebnisse der Erprobung sind in der Tabelle 7 dargestellt.

#### 3.2.1 Schutzgut „Aquatische Lebensgemeinschaften“

Überschreitungen der ZV für Blei werden in BE für die *Spree*<sup>\*\*</sup> festgestellt.

Überschreitungen der ZV für Cadmium werden aus HH für die *Elbe*<sup>\*\*\*\*</sup>, aus HE für *Schwarzbach*<sup>\*\*</sup> und *Werra*<sup>\*\*</sup>, aus SL für die *Saar*<sup>\*\*</sup>, aus BE für die *Spree*<sup>\*\*</sup> gemeldet.

ZV-Überschreitungen für Kupfer werden aus

HH für die *Elbe*<sup>\*\*</sup>, aus HE für den *Schwarzbach*<sup>\*\*</sup>, aus BY für die *Regnitz*<sup>\*\*</sup> und aus Berlin für die *Spree*<sup>\*\*</sup> gemeldet.

ZV-Überschreitungen für Quecksilber werden in HH für die *Elbe*<sup>\*\*\*\*</sup> und in HE für den *Schwarzbach*<sup>\*\*</sup> beobachtet.

Überschreitungen der ZV für Zink werden in HH für die *Elbe*<sup>\*\*\*</sup>, in HE für den *Schwarzbach*<sup>\*\*</sup>, in SL für die *Saar*<sup>\*\*</sup> und in BE für die *Spree*<sup>\*\*</sup> ermittelt.

Die Hauptbelastung liegt für Cadmium und Quecksilber an der *Elbe*.

#### 3.2.2 Schutzgut „Schwebstoffe und Sedimente“

Überschreitungen der ZV für Blei werden in BE für die *Spree*<sup>\*\*</sup> festgestellt.

Überschreitungen der ZV für Cadmium werden aus HH für die *Elbe*<sup>\*\*\*\*</sup>, aus HE für den *Schwarzbach*<sup>\*\*</sup>, aus BE für die *Spree*<sup>\*\*</sup> gemeldet.

Die ZV für Chrom wird in HH für die *Elbe*<sup>\*\*</sup> nicht eingehalten.

ZV-Überschreitungen für Kupfer werden aus HH für die *Elbe*<sup>\*\*</sup>, aus HE für den *Schwarzbach*<sup>\*\*</sup>, aus BW für den *Neckar*<sup>\*\*</sup>, aus BY für die *Regnitz*<sup>\*\*\*</sup>, aus SL für die *Saar*<sup>\*\*</sup> und aus BE für die *Spree*<sup>\*\*\*</sup> gemeldet.

ZV-Überschreitungen für Quecksilber werden in HH für die *Elbe*<sup>\*\*\*\*</sup> und in HE für den *Schwarzbach*<sup>\*\*</sup> beobachtet.

Überschreitungen der ZV für Zink werden in HH für die *Elbe*<sup>\*\*\*\*</sup>, in NW für den *Rhein*<sup>\*\*</sup>, in HE für *Nidda*<sup>\*\*</sup>, *Schwarzbach*<sup>\*\*\*</sup> und *Weschnitz*<sup>\*\*</sup>, in BW für den *Neckar*<sup>\*\*</sup>, in SL für die *Saar*<sup>\*\*</sup> und in BE für die *Spree*<sup>\*\*</sup> ermittelt.

Die Hauptbelastung liegt für Cadmium und Zink an der *Elbe*.

### 3.3 Ursachen für die festgestellten ZV-Überschreitungen und Trends in den Bundesländern

In **Hamburg** werden als Ursache für die geringfügigen ZV-Überschreitungen für Cadmium in *Alster* und *Bille* Einträge über die

Oberflächenentwässerung von Straßen und anderen befestigten Flächen angegeben. Für die *Alster* muß auch mit Einträgen aus Überläufen der Mischabwasserkanalisation gerechnet werden. Die derzeitige Belastungssituation der *Elbe* wird auf die viel zu hohe Vorbelastung aus dem Oberlauf zurückgeführt, die wiederum die Identifizierung und Bewertung möglicher Hamburger Belastungsquellen erschwert. Die Schwermetalleinträge in Hamburg durch kommunale und industrielle Einleitungen sind bekannt und bilden nur einen Bruchteil der Gesamtbelastung. Für Quecksilber ist bekannt, daß der größte Teil der Gesamtbelastung durch eine bestehende Punktquelle, die Abwassereinleitung der Spolchemie AG in Usti/Tschechien (Jahresfracht von 1,5 - 1,7 t Hg) verursacht wird. Sanierungsmaßnahmen bei diesem Betrieb sind mit Unterstützung Hamburgs angelaufen.

**Niedersachsen** berichtet, daß die Schwermetallbelastung der *Elbe* in den letzten Jahren deutlich zurückgegangen ist, daß aber immer noch Probleme mit Zink, Quecksilber und Cadmium bestehen. Auch hier werden die Oberlieger als Verursacher gesehen.

Als ganz wesentlicher regionaler Verursacher für die festgestellte Schwermetallbelastung der Fließgewässersysteme *Oker/Aller/Weser* und *Innerste/Leine/Aller/Weser* insbesondere mit Cadmium, Zink und Blei wird die seit Jahrhunderten betriebene Bergbautätigkeit im Harz gesehen. Vor allem durch die zahlreich im Harzgebiet vorhandenen Abraumhalden und stillgelegten Bergwerke werden den Gewässern ständig diffus Schwermetalle zugeführt. An eine Einhaltung der ZV dürfte auch in Zukunft nur schwer zu denken sein. Als ein wichtiger Faktor für die in der *Unterweser* festgestellten Überschreitungen müssen jedoch auch die in diesem tidebeeinflussten Bereich vorherrschenden sehr hohen Schwebstoffgehalte angesehen werden.

Auch **Bremen** führt die Überschreitung der ZV für Blei und Zink in der *Weser* auf die frühere Erzgewinnung und Metallverarbeitung im Harz zurück.

In **Nordrhein-Westfalen** ist bei den ZV-Überschreitungen ein zeitlicher Trend bezüglich Häufigkeit und Intensität im Untersuchungszeitraum nicht zu beobachten. Bei den erheblichen Überschreitungen treten die ein-

zelnen Metalle in unterschiedlicher Häufigkeit auf; entgegen dem bundesdeutschen Durchschnitt zeigt die „NRW-Belastungsreihe“ die Reihenfolge: Zink >> Kupfer > Nickel > Blei > Cadmium > Chrom, Quecksilber

Eine Abschätzung der Anteile der Eintragsquellen an der Gesamtbelastung ist nur in aufwendigen und langjährigen Untersuchungen zu erbringen. Nach einer Untersuchung des Ruhrverbandes, die sich von 1970-78 mit der Herkunft der Schwermetallbelastung der *Ruhr* (Zn, Ni, Cr, Cu, Cd, Pb, Hg) befaßt hat, stammte die Schwermetallbelastung annähernd je zur Hälfte aus Punktquellen bzw. aus diffusen Einträgen. Ursachen der Schwermetallbelastung, v.a. bei Zink und Kupfer sind die zahlreichen und nicht quantifizierbaren diffusen und punktuellen Einträge aus den dichtbesiedelten und hochindustrialisierten Ballungszentren im Rhein-Ruhr-Gebiet (*Wupper*, *Ruhr* und *Lippe*). Die erhöhten Zink-Gehalte in der *Ruhr* sind auf die Ballung von Galvanik- und Metallverarbeitungsbetrieben zurückzuführen. Weitere Ballungszentren liegen in Mönchengladbach (*Niers*) und Gütersloh (*Ems*). Die Belastung der *Lenne* ist seit 1992 rückläufig, da ehemals direkteinleitende Metallverarbeitungsbetriebe zwischenzeitlich über Kanalisationen an moderne Kläranlagen angeschlossen sind. Die Ursache der Cadmium-Belastung der *Möhne* ist nicht bekannt; die aktuellen Meßwerte (1994/95) zeigen eine abnehmende Belastung.

Als weitere Ursache sind teilweise auch noch hochbelastete Sedimente in den Gewässern zu nennen, die bei Hochwasserereignissen aufgewirbelt und stromab transportiert werden (*Sieg* und *Wupper*).

In vielen Gebieten in NRW führen zusätzlich erhöhte geogene Hintergrundgehalte und die Folgen früherer Bergbautätigkeit zur Schwermetallbelastung von Gewässern: Die *Erft* nimmt belastetes Sumpfungswasser aus dem Burgveystollen (früherer Erzbergbau) und Abschwemmungen aus den dortigen Halden auf. Ähnliches gilt für die Einzugsgebiete der *Sieg*, *Ruhr*, *Lippe* und *Rur*.

In **Hessen** werden für das Schutzgut "Trinkwasserversorgung" die Zielvorgaben bei allen Schwermetallen eingehalten, wobei dieses Schutzgut nur für den Main zur Anwendung kommt.

## 18 Ableitung und Erprobung von Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer für die Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink

Problematisch sind die Schutzgüter "Aquatische Lebensgemeinschaften" und "Schwebstoffe und Sedimente". Dort kommt es zu ZV-Überschreitungen. Der Stoff mit der höchsten ZV-Überschreitung ist das Zink; das Fließgewässer mit der häufigsten und höchsten ZV-Überschreitung der *Schwarzbach*.

Die erhöhte Cadmium-Belastung der Schwebstoffe und Sedimente in der *Werra* ist auf einen thüringischen Industriebetrieb (mittlerweile geschlossen) zurückzuführen. Die erhöhte Chrom-Belastung in den Schwebstoffen und Sedimenten ist in der *Nidda* auf geogene Gegebenheiten, in der *Weschnitz* möglicherweise auf mehrere kleine Galvanikbetriebe zurückzuführen. Die erhöhte Nickel-Belastung von Schwebstoff und Sediment ist in der *Nidda* auf geogene Gegebenheiten, in der *Lahn* möglicherweise auf geogene Gegebenheiten und auf mehrere metallverarbeitende Betriebe zurückzuführen. Die erhöhte Zink-Belastung für die Schwebstoffe und Sedimente ist in der *Nidda* auf punktförmige Einleitungen (Verursacher noch unbekannt), in der *Weschnitz* auf geogene Gegebenheiten (mineralwasserfördernde Quellen zurückzuführen). In allen anderen Fällen ist keine der Schwermetallbelastungen hessischer Fließgewässer auf einen konkreten Einleiter (wird z.Zt. von den Wasserwirtschaftsämtern überprüft) zurückzuführen, sondern kommt dadurch zustande, daß der Abfluß der kleinen Fließgewässer zu einem großen Anteil aus kommunalem Abwasser besteht. Den höchsten Schwermetallanteil hat das Zink. Es kommt ubiquitär vor (u.a. in verzinkten Blechen, Trinkwasserrohren usw.), was sich wiederum in der dargelegten ZV-Überschreitung zeigt. Weitere diffuse Einträge kommen aus Regenwasserkanälen. Dieser Faktor spielt beim Zink ebenfalls eine große Rolle, denn ein Teil der Zink-Belastung kommt durch den Verkehr (Reifenabrieb) zustande. Die hohe Schwermetallbelastung im *Schwarzbach* liegt daran, daß dieser einen geringen natürlichen Abfluß aufweist und dazu einem extrem hohen Abwasseranteil mit darin vorhandenen Schwermetallen abführt. Hinzu kommen noch die Altsedimentablagerungen. Diese Schwermetallbelastung aus Abwasser ist bei den anderen Fließgewässern, die abflußreicher sind, entsprechend geringer.

In **Baden-Württemberg** sind die Belastungsursachen der festgestellten Zielvorgabenüber-

schreitungen nicht eindeutig zu benennen. Die Eintragspfade sind frachtmäßig nicht bilanzierbar; in der Regel können nur beschränkte spekulative Interpretationen erfolgen. Die weitgehende Konzentration der ZV-Überschreitungen für Kupfer und Zink auf die am *Neckar* gelegenen Meßstellen läßt sich jedoch plausibel mit der dortigen Belastungssituation in Zusammenhang bringen, die durch einen hohen Anteil kommunaler Abwässer (potentielle Einträge aus Hausinstallationen) sowie Abwässer aus dem Bereich der Metallverarbeitung gekennzeichnet ist. Besonders deutlich kommen diese Belastungen an den unterhalb der Ballungsräume Heilbronn/Neckarsulm und Stuttgart gelegenen Meßstellen Kochendorf und Poppenweiler zum Ausdruck. Weiterhin muß regional auch mit diffusen Kupfereinträgen aus dem Weinanbau gerechnet werden.

In **Bayern** wirkt sich die hohe Meßdichte (22 Meßstellen mit jeweils 26 Beprobungen im Jahr für die Wasserphase und 14 Meßstellen mit jeweils 2 Beprobungen im Jahr für die Schwebstoffe) und die Aggregation der Ergebnisse mehrerer Meßstellen an einem einzigen Gewässer zu einer Überschreitungs-kategorie bei der Klassifizierung nachteilig aus: Je mehr Meßstellen an einem Gewässer liegen, um so höher ist die Wahrscheinlichkeit einer ZV-Überschreitung.

Bei den 22 bzw. 14 Meßstellen traten in den Jahren 1990 bis 1993 nur vereinzelt Überschreitungen von Klasse 3 (\*\*\*) bei Kupfer, Quecksilber oder Zink bei den Schutzgütern "Aquatische Lebensgemeinschaften" und "Schwebstoffe und Sedimente" auf. Dabei war die Überschreitungsintensität für die Schwebstoff- und die Wasserphase deutlich rückläufig. Im Bereich der Klasse 4 (\*\*\*\*) wurde nur 1990 eine Überschreitung an der *Sächsischen Saale* bei Joditz in der Wasserphase (Quecksilber) festgestellt. In den vier übrigen Jahren lagen weder für die Schwebstoff- noch für die Wasserphase Überschreitungen vor. Im Jahr 1994 lagen bei der Überschreitungs-kategorie 3 (\*\*\*) in der Wasserphase keine und in der Schwebstoffphase nur eine Überschreitung für ein Metall (Kupfer in der *Regnitz* bei Hausen) vor. Im Bereich der Klasse 4 (\*\*\*\*) wurden weder für die Schwebstoffe noch für die Wasserphase Überschreitungen gemessen.

Die ZV-Überschreitungen für das Schutzgut „Fischerei“ (Quecksilber) an bayerischen Gewässern werden im Rahmen eines landesweiten Fischmonitoring-Programms auf ihre Auswirkungen im Fischfleisch hin untersucht. Auffällige Belastungen haben sich bis jetzt nicht ergeben.

Im **Saarland** stellt die Einhaltung der ZV für die Schutzgüter „Trinkwasserversorgung“, „Fischerei“ und „Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen“ mit Ausnahme von Blei, das gelegentliche Überschreitungen zeigt, kein Problem dar. Für die Schutzgüter „Aquatische Lebensgemeinschaften“ und „Schwebstoffe und Sedimente“ ist für die Metalle Blei, Kupfer, Nickel und Zink in der Saar eine Zunahme der Belastung auf der Fließstrecke zwischen Güdingen und Fremersdorf, an der die größten Kommunen und Industriebetriebe liegen, zu beobachten. Beim derzeitigen Kenntnisstand ist eine Aussage, ob die Belastung punktuell oder diffus erfolgt, nicht möglich, zudem seit Jahren an der Saar gebaggert wird, um den Ausbau zur Großschiffahrtsstraße voranzutreiben.

In **Berlin** wurden in der *Spree* für die Metalle Blei, Cadmium, Kupfer und Zink Überschreitungen der ZV festgestellt. Spezifische Belastungspunkte konnten nicht ermittelt werden.

In **Brandenburg** liegt der Schwerpunkt der Belastung in *Oder* und *Neiße* bei den Metallen Cadmium und Zink. Konkrete Belastungsursachen sind nicht bekannt. Die insgesamt hohe Schwermetallbelastung an der Neiße-Mündung läßt sich nicht in erster Linie auf Quellen in Brandenburg zurückführen. Das Haupteinzugsgebiet der Neiße liegt in Sachsen und Polen. Im Brandenburger Teileinzugsgebiet der Neiße waren industrielle Großbetriebe der Textilverarbeitung und Textilherstellung in Forst und Guben angesiedelt.

In **Mecklenburg-Vorpommern** sind Cadmium und in deutlich geringerem Umfang Quecksilber als Problemstoffe in den Gewässern des Landes anzusehen. Als Hauptbelastungspfad wird der Eintrag durch Erosion cadmiumbelasteter Böden gesehen. Die Bodenbelastungen werden auf Cadmium-Einträge durch Phosphatdünger zurückgeführt. Die zu Düngezwecken geförderten Rohphosphate können je nach Herkunftsland und geologischem Alter

Cadmiumgehalte von 1 - 150 mg/kg enthalten. Als besonders belastet gelten nordafrikanische Rohphosphate.

Auffällig ist das Auftreten erhöhter Cadmium-Gehalte im Unterlauf der *Warnow* und ihrer Nebengewässer zwischen Bützow und Rostock. Bis 1990 wurden Rohphosphate vom Hafen Rostock per Bahn längs der *Warnow* mit nicht abgedeckten Waggons transportiert. Bei den Transporten von Apatit-Konzentrat (von der Halbinsel Kola importiert) und später auch Phosphorit (aus Marokko importiert) kam es zu erheblichen Verlusten.

Als Belastungsursachen für Quecksilber kommen neben der Verbrennung von Holz, Kohle und Abfall und Einträgen aus Industriebetrieben auch Einträge aus der Landwirtschaft in Betracht. Während in der Bundesrepublik quecksilberhaltige Saatgutbeizen seit 1980 verboten waren, kamen diese auf dem Gebiet der ehemaligen DDR noch zum Einsatz. Man schätzt, daß bis 1990 auf diese Weise jährlich etwa 3000 kg Quecksilber auf die Felder gelangt sind. Es ist davon auszugehen, daß über verschiedene Wege (z.B. Bodenerosion, run-off, Nahrungskette) ein nicht unerheblicher Anteil hiervon in die Gewässer gelangt ist und für die auffälligen Belastungen verantwortlich ist.

Als Ursache für die ZV-Überschreitungen in **Sachsen**, insbesondere für den Hauptproblemstoff Cadmium, aber auch für Kupfer und Zink, werden Bergbau und Hüttenbetriebe im Freiburger Raum genannt. Neben dem unmittelbaren Bergbaueinfluß durch abgeleitete Abwässer können auch Direktversenkungen von Abwässern der Erzverhüttung sowie diffuse Einleitungen von Haldenauswaschungen wesentliche Ursachen sein. Die dadurch stark belastete *Freiberger Mulde* und die ebenfalls durch metallverarbeitende Betriebe und durch den Altbergbau stark belastete *Zwickauer Mulde* münden in die *Vereinigte Mulde* und diese später in die *Elbe*. Sie haben auf ihrer Fließstrecke an allen Meßpunkten Schwermetall-ZV-Überschreitungen. Remobilisierung des belasteten Sedimentes bei erhöhter Wasserführung trägt immer wieder zu einem Anstieg der Konzentration in den Gesamtwasserproben bei.

Die Cadmiumbelastung der *Elbe* auf sächsischem Gebiet, die zwischen dem Grenzpegel

## 20 Ableitung und Erprobung von Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer für die Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink

Schmilka und Torgau erheblich ansteigt, wird verursacht durch die Einmündung von mit Grubenabwässern des Altbergbaus sowie durch Haldenauswaschungen belastete Zuflüsse (*Biela, Müglitz, Triebisch, Rothschnöberger Stollen*).

Die wichtigsten Problemstoffe in **Sachsen-Anhalt** sind Quecksilber (in *Elbe* und *Saale*), Cadmium (in *Elbe, Saale* und *Mulde*), Nickel (in *Mulde* und *Weißer Elster*) und Zink (in *Elbe, Schwarze Elster, Mulde, Saale* und *Weißer Elster*).

Für die Überschreitungen der ZV für Cd, Hg, Ni und Zn können verschiedene Einträge aus diffusen und punktuellen Quellen verantwortlich sein, wie z.B.

- geogene Grundbelastung,
- Remobilisierung der im Sediment abgelagerten Schwermetalle im Einflußbereich der ehemaligen Industrieschwerpunkte Bitterfeld-Wolfen (*Mulde*) und Merseburg-Halle (*Saale*),
- Bergbauaktivitäten (Sümpfungswässer aus dem sächsischen Bergbau, die über *Mulde* und *Schwarze Elster* abgeleitet werden, und aus Bergbaubetrieben, die über den *Schlüsselstollen* und die *Wipper* in die *Saale* entwässern).

Eine Abschätzung der Anteile der Hauptverursacher an der Schwermetall-Gesamtbelastung ist derzeit nicht möglich.

In **Thüringen** ist seit 1993 bei Cadmium für alle Gewässer ein deutlicher Rückgang der Überschreitungsklassen von 4 auf 2 für die Schutzgüter "Aquatische Lebensgemeinschaften" und "Schwebstoffe und Sedimente" erkennbar. Für die noch bestehenden Belastungen können Einträge aus Bergbauaktivitäten und aus Industrie und Kommunen ursächlich sein.

ZV-Überschreitungen für Kupfer liegen in *Werra, Unstrut* und *Ilm* vor. Die Belastung der *Werra* beruht auf der ehemaligen Abwassereinleitung des Kaliwerkes Wintershall, deren Wärmetauscher aus Kupfer bestanden.

Eine durchgehende Nickelbelastung weisen vor allem die *Weißer Elster* und die *Pleiße* auf. Die Ursachen sind bei der *Weißer Elster* in Abwassereinleitungen aus den Industriegebieten Gera und Greiz (Metallverarbeitung,

Chemie) sowie bei der *Pleiße* in Abwassereinleitungen aus dem Sächsischen Industriegebiet Plauen und dem Thüringer Industriegebiet Gößnitz (beide Metallverarbeitung) zu sehen.

Die Belastung mit Zink und Quecksilber betrifft alle LAWA-Meßstellen. Eine Aufklärung der Belastungsursachen für Quecksilber ist nur bedingt möglich. Die Zink-Belastung der *Saale* erfolgt hauptsächlich durch die Abwassereinleitung eines Viskosebetriebes.

In einigen Fällen können die ZV-Überschreitungen bei Zink und Quecksilber auf Abwassereinleitungen der metallverarbeitenden Industrie und Viskoseproduktion (*Weißer Elster*) sowie auf allgemeine kommunale und industrielle Abwassereinleitungen (*Unstrut*) zurückgeführt werden. Für 1998 geplante abwassertechnische Maßnahmen beim Viskose-Betrieb werden eine Verringerung der Zink-Belastung herbeiführen.

Aus **Schleswig-Holstein** und **Rheinland-Pfalz** sind keine relevanten Überschreitungen der ZV gemeldet worden.

### 4. Diskussion, Bewertung und Schlußfolgerungen

Bei der Erprobung der ZV für Schwermetalle sind sowohl in der Wasser- als auch in der Schwebstoffphase eine großen Anzahl von ZV-Überschreitungen festgestellt worden. Gefährdete Schutzgüter sind derzeit insbesondere die "Aquatischen Lebensgemeinschaften" sowie "Schwebstoffe und Sedimente", mit weitem Abstand gefolgt von der "Fischerei". Gefährdungen der Schutzgüter "Trinkwasserversorgung" und "Bewässerung landwirtschaftlich genutzter Flächen" sind hingegen weniger zu besorgen.

Die Gewässerbelastung mit allen 7 Schwermetallen erfordert weitergehende Anstrengungen zur Reduzierung der Stoffeinträge. Schwerpunkt von Reduzierungsmaßnahmen sollten sich zum Schutz der aquatischen Lebensgemeinschaften insbesondere auf Cadmium und Quecksilber sowie zum Schutz der Schwebstoffe und Sedimente insbesondere auf Cadmium und Zink beziehen. Regionale Schwerpunkte der Schwermetallbelastung, insbesondere für Quecksilber, finden sich vor allem in den neuen Bundesländern.

Eine emissionsseitige Ursachenermittlung, die sich bei der Erprobung der ZV für 28 Industriechemikalien bewährt hat, ist im vorliegenden Fall bei der Vielzahl von in der Regel nicht bilanzierbaren Eintragspfaden sehr schwer durchzuführen. Als Ursache für die Schwermetallbelastungen der Gewässer kommen folgende Quellen in Betracht.

#### 1. Punktförmige Einträge:

- Industrielle und kommunale Kläranlagen, wobei die Belastung sowohl durch die Haushalte, Indirekteinleiter (Galvanikbetriebe, Zahnarztpraxen etc) als auch durch schwermetallhaltige Fällmittel verursacht sein kann,
- Kühlwasser- und sonstige Direkteinleitungen,
- Abwasserentlastungen aus der Misch- und Trennkanalisation, die sowohl kupfer-, blei- und zinkhaltige Korrosionsprodukte von Trink-, Regen- und Abwasserleitungssystemen enthalten können, als auch Abwässer von befestigten Flächen (Straßen, Gewerbe-, Industrieböden und Lagerplätze) mit sich führen können, die schwermetallhaltige Stoffe (Reifen- und Bremsbelägeabrieb, Tropfverluste, Verbrennungsrückstände, Abfälle und Verunreinigungen) enthalten,
- Deponien, deren Sickerwässer und Oberflächen-runoff mit Schwermetallen belastet sein kann.

#### 2. Diffuse Einträge:

- Geochemische und hydrochemische Hintergrundbelastungen,
- Bergbauaktivitäten,
- atmosphärische Verunreinigungen, die aus Müllverbrennungsanlagen, der Metallindustrie, Korrosionsschutzarbeiten etc. stammen können (trockene und nasse Deposition), Versauerungserscheinungen in Böden und Gewässern (saure Bedingungen fördern die Freisetzung von Aluminium und Schwermetallen),
- ausgebrachte Düngemittel und Kalk in der Land- und Forstwirtschaft, die erhebliche Schwermetallgehalte aufweisen können, (Cd in Phosphatdünger, Cu und Zn in Gülle).
- diffuse Einträge aus bebauten Bereichen und Verkehrsflächen (Metall-

dächer, Dachrinnen, Schilder, Leitplanken, Geländer, tragende Metallkonstruktionen, Verkehrsmittel, etc.).

- Jagd (Blei- und Zink-Schrot), Angeln (Bleigewichte).

Von den Bundesländern werden folgende konkrete Quellen der Schwermetallbelastung genannt:

- Industriebetrieb an der Oberelbe in Tschechien (Hg),
- frühere Bergbautätigkeit im Harz, Belastung wichtiger Weser-Zuflüsse (Pb, Cd, Zn),
- Ballungsraum Heilbronn/Neckarsulm und Stuttgart, Belastung des Neckars (Cu, Zn),
- Weinanbau, Belastung des Neckars (Cu),
- Industriebetriebe an der Saar (Pb, Cu, Ni, Zn),
- Galvanikbetriebe (HE), Belastung der Weschnitz (Cr),
- Phosphatdüngung an Warnow und Zuflüssen, Verluste beim Apatit- und Phosphorittransport (Cd),
- Saatgutbeize in den neuen Bundesländern (Hg),
- Bergbau und Hüttenbetriebe im Freiburger Raum (SN), Belastung der Mulde und Zuflüsse (Cd, Cu, Zn),
- Altbergbau der Wismut (SN), Belastung der Zuflüsse der Elbe (Cd),
- Kalibergwerk Wintershall (HE), Belastung der Werra (Cu),
- Industriegebiete Gera, Greiz und Elsterberg - Metallverarbeitung, Chemie - (TH), Belastung der Weißen Elster (Ni, Zn),
- Industriegebiete Plauen (SN) und Gößnitz (TH)-beide Metallverarbeitung, Belastung der Pleiße (Ni),
- Viskoseproduktion in Rudolstadt-Schwarza (TH), Belastung der Saale (Zn).

Die aufgeführten konkreten Belastungsquellen stellen sicherlich nur einen Ausschnitt aus dem verursachenden Bereich dar und ließen sich bei weitergehenden Untersuchungen in den Ländern fortführen. Nur ausnahmsweise werden konkrete Maßnahmen zur Verringerung punktförmiger Quellen genannt, z.B. Reduzierung der

## 22 Ableitung und Erprobung von Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer für die Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink

Schadstoffeinleitung aus der Viskoseproduktion an der Saale (TH) durch Anpassung der Abwasserbehandlung an den Stand der Technik bis 1998.

Mögliche Minderungsmaßnahmen zur Reduzierung der Schwermetallbelastung aus diffusen Quellen sind

- Bau von Absetzbecken für Straßenabwasser vor Einleitung in die Gewässer,
- Reduzierung der Abschlagsereignisse aus der Mischkanalisation,
- Verminderung der Einträge aus Siedlungsbereichen:
- Ersatz von Metalldächern durch Dachziegel,
- Verwendung von Kunststoff statt Metall für Dachrinnen,
- Versiegelung von Leitplanken, Straßenlaternen usw.,
- Verwendung von Hochdruckpolyethylenrohren statt solchen aus Kupfer und Zink, beschleunigter Ersatz von Blei bei der Hauswasserinstallation,
- Verwendung schwermetallarmer Mineraldünger,
- Verzicht auf schwermetallhaltige Pestizide (Cu).

Darüber hinaus ist ein weiterer Ausbau kommunaler und industrieller Kläranlagen zur Reduzierung der Schwermetallemissionen anzustreben. Hierbei ist insbesondere eine Optimierung der Indirekteinleiterüberwachung zur Auffindung hochbelasteter Teilströme erforderlich.

### 5. Literatur

- (1) Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (1993):  
Konzeption zur Ableitung von Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer vor gefährlichen Stoffen. Erarbeitet vom Bund/Länder-Arbeitskreis "Qualitätsziele"  
Stand: 06.05.1993 (im Druck)
- (2) Schudoma, D. (1994):  
Ableitung von Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer für die Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink.
- (3) IKS: Internationale Kommission zum Schutze des Rheins (1995):  
Stoffdatenblätter.  
Internationale Kommission zum Schutze des Rheins, Koblenz
- (4) Fauth, H. und Hindel, R. (1988):  
A multi-element geochemical survey of Germany; influence of anthropogenic contamination and lithology.  
In: Metals and metalloids in the hydrophere; impact through mining and industry, and prevention technology. Proceedings of an IHP workshop, Bochum 21. - 25.09.1987,  
Unesco, Paris
- (5) Fauth, H., Hindel, R., Siewers, U., Zinner, I. (1985):  
Geochemischer Atlas Bundesrepublik Deutschland, Verteilung von Schwermetallen in Wässern und Bachsedimenten.  
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.
- (6) Turekian, K.K. und Wedepohl, K.H. (1961):  
Bull. Geol. Soc. Am. 72, 175-192
- (7) Müller, G. (1979):  
Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins - Veränderungen seit 1971.  
Umschau 79, 778
- (8) Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet (IAWR) (ohne Jahr):  
Rheinbericht 1981/1982
- (9) Händler, V. (1987):  
ICP-atomemissionspektrometrische Untersuchungen zu Herkunft, Transport und Verbleib von Metallen im Rhein  
Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen, LWA-Materialien Nr. 6/87
- (10) Arbeitsgemeinschaft für die Reinhaltung der Elbe (1988):  
Schwermetalldaten der Elbe 1984-88.  
Wassergütestelle Elbe, Hamburg

UBA-Texte 52/94

- (11) Wachs, B. (1991):  
Ökobewertung der Schwermetallbelastung von Fließgewässern  
Münchener Beitr. Abwasser-, Fischerei und Flußbiologie Band 45, 295 ff.
- (12) Gemeinsames Bund/Länder-Meßprogramm für die Nordsee (1984):  
Gewässergütemessungen im Küstenbereich der Bundesrepublik Deutschland 1982/83.  
Hrsg : Bundesminister des Innern; seit 05.06.1986 Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn
- (13) Gunkel, G. und Schulze, G. (1988):  
Verteilung und Umsetzung von Schwermetallen in der biologischen Stufe einer kommunalen Kläranlage.  
Vom Wasser 70, 209 ff.
- (14) Gunkel, G. (1989):  
Erfassung der Schwermetallbelastung von Gewässern über ein biologisches Monitoring-Programm.  
Vom Wasser 72, 249 ff.
- (15) Wollast, R. (1982):  
Methodology of research in micropollutants - heavy metals.  
Wat. Sci. Tech. 14, 107 ff.
- (16) IKSR - Internationale Kommission zum Schutze des Rheins gegen Verunreinigungen (1989):
- Geogene Belastung des Rheinwassers. AGP/Ps 41/89 (unveröffentlicht)
- (17) Wachs, B (1989):  
Ökologisch erarbeitete Schwermetall-Qualitätsziele für Nutzungsarten des Wassers sowie zum aquatischen Ökosystem- und Artenschutz.  
gwf Wasser-Abwasser 130, 277 ff.
- (18) Salomons, W. und Förster, U. (1984):  
Metals in the Hydrocycle.  
Springer Verlag
- (19) Merian, E. (1984):  
Metalle in der Umwelt.  
Verlag Chemie, Weinheim
- (20) LAWA-Arbeitskreis "Zielvorgaben" und "Qualitative Hydrologie der Fließgewässer" (1996): Erprobung von Zielvorgaben für gefährliche Stoffe an ausgewählten Fließgewässern - Vergleich von Belastungsdaten und Zielvorgaben für Schwermetalle (1991 - 1994).  
UBA-Texte (im Druck)
- (21) Gottschalk, C. (1994):  
Zielvorgaben für gefährliche Stoffe in Oberflächengewässern.  
UBA-Texte 44/94

Überschreitungen der ZV für Schwermetalle in der Wasserphase

Tabelle 6

| Land               | Länderspezifische Übersicht über die Erprobung der Zielvorgaben für Schwermetalle in der Wasserphase |          |          |          |          |                     |          |          |          |          |                    |          |          |          |          |          |  |
|--------------------|--|----------|----------|----------|----------|---------------------|----------|----------|----------|----------|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|--|
|                    | SH   | HH       | NI       | HB       | NW       | HE                  | RP       | BW       | BY       | SL       | BE                 | BB       | MV       | SN       | ST       | TH       |  |
| 1990-94            | 1992-95  | 1990-93  | 1992-95  | 1989-93  | 1993-94  | 1990-93             | 1990-94  | 1991-94  | 1991-94  | 1990-94  | 1994-95            | 1993     | 1992-94  | 1994     | 1994     | 1992-94  |  |
| 22.08.96           | 05.07.96   | 14.08.96 | 29.04.96 | 14.07.96 | 21.10.96 | 25.04.96            | 13.06.96 | 28.05.96 | 29.04.96 | 29.04.96 | 24.04.96           | 06.05.96 | 31.05.96 | 29.05.96 | 05.06.96 | 03.06.96 |  |
| s.u.               | s.u.   | s.u.     | s.u.     | s.u.     | s.u.     | Keine <sup>22</sup> | s.u.     | s.u.     | s.u.     | s.u.     | keine <sup>3</sup> | s.u.     | s.u.     | s.u.     | s.u.     | s.u.     |  |
| 6                  | 6  | 14       | 1        | 23       | 8        | 4                   | 18       | 22       | 2        | 0        | 7                  | 7        | 7        | 11       | 11       | 8        |  |
| unters. Meßstellen |  |          |          |          |          |                     |          |          |          |          |                    |          |          |          |          |          |  |
| Blei               |  |          |          |          |          |                     |          |          |          |          |                    |          |          |          |          |          |  |
| A                  |  |          |          |          |          |                     |          |          |          |          |                    |          |          |          |          |          |  |
| S                  |  |          |          |          |          |                     |          |          |          |          |                    |          |          |          |          |          |  |
| T                  |  | ****     |          | ****     | **       |                     |          |          | **       |          |                    |          |          |          |          |          |  |
| F                  |  |          |          |          |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | ***      | ****     | **       | ****     |  |
| B                  |  | ***      |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | **       | ****     | **       | ****     |  |
| A                  | **   |          |          |          |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | **       | **       | **       | **       |  |
| S                  | **   |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    |          |          | **       | **       | ****     |  |
| T                  |  |          |          | **       |          | **                  |          |          |          |          |                    |          |          | **       | **       | ****     |  |
| F                  |  |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    |          |          | **       | **       | ****     |  |
| B                  |  |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    |          |          | **       | **       | ****     |  |
| A                  | ***  |          | **       | ***      | ***      |                     |          | ***      | **       |          |                    | **       | **       | ***      | ***      | ****     |  |
| S                  | ***  |          | **       | ***      | ***      |                     |          | ***      | ***      | **       |                    | **       | **       | ***      | ***      | ****     |  |
| T                  |  |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| B                  |  |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| A                  | ***  |          | **       | ***      | ***      |                     |          | ***      | ***      | **       |                    | **       | **       | ***      | ***      | ****     |  |
| S                  | ***  |          | **       | ***      | ***      |                     |          | ***      | ***      | **       |                    | **       | **       | ***      | ***      | ****     |  |
| T                  |  |          |          | ***      | ***      |                     |          | ***      | ***      | **       |                    | **       | **       | ***      | ***      | ****     |  |
| F                  | **   |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ***      | ***      | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| B                  | ***  |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ***      | ***      | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| A                  | ****   |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ****     | ****     | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| S                  | ****   |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ****     | ****     | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| T                  |  |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| F                  |  |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| B                  | ***  |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ***      | ***      | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| A                  | ****   |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ****     | ****     | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| S                  | ****   |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ****     | ****     | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| T                  |  |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| F                  |  |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| B                  | ***  |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ***      | ***      | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| A                  | ****   |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ****     | ****     | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| S                  | ****   |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ****     | ****     | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| T                  |  |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| F                  |  |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| B                  | ***  |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ***      | ***      | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| A                  | ****   |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ****     | ****     | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| S                  | ****   |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ****     | ****     | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| T                  |  |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| F                  |  |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| B                  | ***  |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ***      | ***      | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| A                  | ****   |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ****     | ****     | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| S                  | ****   |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ****     | ****     | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| T                  |  |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| F                  |  |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| B                  | ***  |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ***      | ***      | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| A                  | ****   |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ****     | ****     | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| S                  | ****   |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ****     | ****     | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| T                  |  |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| F                  |  |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| B                  | ***  |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ***      | ***      | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| A                  | ****   |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ****     | ****     | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| S                  | ****   |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ****     | ****     | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| T                  |  |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| F                  |  |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| B                  | ***  |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ***      | ***      | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| A                  | ****   |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ****     | ****     | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| S                  | ****   |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ****     | ****     | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| T                  |  |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| F                  |  |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| B                  | ***  |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ***      | ***      | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| A                  | ****   |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ****     | ****     | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| S                  | ****   |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ****     | ****     | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| T                  |  |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| F                  |  |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| B                  | ***  |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ***      | ***      | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| A                  | ****   |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ****     | ****     | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| S                  | ****   |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ****     | ****     | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| T                  |  |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| F                  |  |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| B                  | ***  |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ***      | ***      | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| A                  | ****   |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ****     | ****     | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| S                  | ****   |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ****     | ****     | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| T                  |  |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| F                  |  |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| B                  | ***  |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ***      | ***      | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| A                  | ****   |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ****     | ****     | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| S                  | ****   |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ****     | ****     | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| T                  |  |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| F                  |  |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| B                  | ***  |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ***      | ***      | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| A                  | ****   |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ****     | ****     | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| S                  | ****   |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ****     | ****     | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| T                  |  |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| F                  |  |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| B                  | ***  |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ***      | ***      | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| A                  | ****   |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ****     | ****     | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| S                  | ****   |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ****     | ****     | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| T                  |  |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| F                  |  |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| B                  | ***  |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ***      | ***      | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| A                  | ****   |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ****     | ****     | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| S                  | ****   |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ****     | ****     | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| T                  |  |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| F                  |  |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| B                  | ***  |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ***      | ***      | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| A                  | ****   |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ****     | ****     | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| S                  | ****   |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ****     | ****     | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| T                  |  |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| F                  |  |          |          | **       |          |                     |          |          |          |          |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| B                  | ***  |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ***      | ***      | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| A                  | ****   |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ****     | ****     | **       |                    | **       | **       | **       | **       | ****     |  |
| S                  | ****   |          | ****     | ***      | ***      |                     |          | ****     | ****     | **       |                    | **       | **       | **       | **       |          |  |

