

## 7 Schadstoffkonzentrationen im Schwebstoff (Ablauf) und Klärschlamm von kommunalen und industriellen Kläranlagen

### I. Allgemeine Angaben

Kommunale und industrielle Kläranlagen sind, wie die vorhergehenden Kapitel gezeigt haben, für eine Vielzahl von Schadstoffen Punktquellen der Gewässerbelastung. Die Schadstoffe gelangen über die Kläranlagen gelöst im Wasser oder schwebstoffgebunden in die Oberflächengewässer.

Im folgenden wird für eine Reihe von Stoffgruppen die Konzentration der Schadstoffe im Schwebstoff des Ablaufs und im Klärschlamm anhand von Messdaten aus den Jahren 2002 und 2003 verglichen. Damit kann auch die Konzentrationsverteilung von organischen Schadstoffen bei verschiedenen Kläranlagen betrachtet werden.

In der kommunalen Abwasserbehandlung werden der in der mechanischen Vorreinigung abgesetzte Schwebstoff (Primärschlamm) und der in der biologischen Stufe anfallende Überschussschlamm normalerweise als Rohschlamm zusammengeführt und anaerob stabilisiert (Faulturm). Bei den kommunalen Klärschlämmen handelt es sich daher in der Regel um ausgefaulte Klärschlämme. Eine Ausnahme machen die beiden KKA aus Frankfurt/M.-Sindlingen und -Niederrad, bei denen die Rohschlämme nicht ausgefault, sondern direkt verbrannt werden. Auch bei den industriellen Klärschlämmen handelt es sich nicht um Faul-, sondern um Rohschlämme.

Für zehn Stoffgruppen mit zusammen 73 Einzel- bzw. Summenparametern liegen in unterschiedlicher Vollständigkeit aus neun kommunalen und sechs industriellen Kläranlagen Messwerte zur Schadstoffkonzentration im Schwebstoff des Kläranlagenablaufs und im Klärschlamm für die Jahre 2002 und 2003 vor, die für einen solchen Konzentrationsvergleich herangezogen werden können (Übers. 7.0.1 und 7.0.2):

| Stoffgruppe/Parameter | Kommunale Kläranlagen |      | Industrielle Kläranlagen |      |
|-----------------------|-----------------------|------|--------------------------|------|
|                       | 2002                  | 2003 | 2002                     | 2003 |
| 01 AOX                | -                     | -    | x                        | -    |
| TOC                   | x                     | x    | x                        | x    |
| 02 PCB                | x                     | -    | x                        | -    |
| 03 Aromatische CKW    | x                     | x    | x                        | x    |
| 04 Chlorphenole       | x                     | x    | x                        | x    |
| 05 Chlorpestizide     | x                     | -    | x                        | -    |
| 07 PAK                | x                     | x    | x                        | x    |
| 08 Zinnorganika       | x                     | x    | x                        | x    |
| 09 Alkylphenole       | x                     | x    | x                        | x    |
| 18 PBDE               | x                     | x    | x                        | x    |
| 19 Chlorparaffine     | x                     | x    | x                        | x    |

Da im Rahmen dieser Studie der Schadstoffeintrag in die Oberflächengewässer von besonderem Interesse ist, wird beim Parameter-bezogenen Konzentrationsvergleich die Konzentration der Schadstoffe im Schwebstoff als prozentualer Anteil der Konzentration im Klärschlamm (je kg Trockengewicht) betrachtet („Konzentrationsverhältnisse“). Dabei ergeben sich u.U. „Konzentrationsüberschüsse“ im Schwebstoff gegenüber der Konzentration im Klärschlamm oder eine „Anreicherung“ im Klär-

schlamm im Verhältnis zur Konzentration im Schwebstoff. Die Konzentrationsüberschüsse und die Konzentrationsdifferenzen zwischen Schwebstoff und Klärschlamm bei den einzelnen Kläranlagen können auch für vergleiche zwischen den KA herangezogen werden.

Die Ergebnisse werden in *Abschn. III* stoffgruppenbezogen für 2002 und 2003 getrennt dargestellt, da z.T. starke Unterschiede zwischen beiden Jahren bestehen, die eine Zusammenfassung verbieten. Um die Darstellung nicht zu unübersichtlich zu machen, wird beim Vergleich der Kläranlagen auf die Wiedergabe der Messwerte dort verzichtet, wo eine größere Zahl von auswertbaren Messwert-Paaren (Schwebstoff-/Klärschlamm-Konzentration) vorliegt. Es wird angegeben, ob die Schadstoffkonzentration im Schwebstoff oder im Klärschlamm dominiert und wie groß die Konzentrationsdifferenzen sind. *Abschn. IV* gibt eine zusammenfassende Übersicht.

Eine Bilanzierung der Kläranlagenpassage nach Frachten würde entsprechende Zu- und Abflauflaufdaten sowie Frachtdaten für den Klärschlammaustrag voraussetzen. Da hier nur die Konzentrationsangaben für den Ablauf (Schwebstoff) und den Klärschlamm vorliegen, ist eine solche Bilanzierung nicht möglich.

Die in die Kläranlage eingetragenen Schwebstoffe werden z.T. bereits in der Vorreinigungsstufe absedimentiert und als Primärschlamm abgezogen, z.T. unterliegen sie den Abbauprozessen der biologischen Stufe, aus der sie entweder als Überschussschlamm oder als im geklärten Abwasser verbliebener Schwebstoff in den Vorfluter ausgetragen werden. Für Primär- und Überschussschlamm schließt sich bei den KKA üblicherweise der anaerobe Abbau im Faulturn an. Beide Feststofffraktionen, die hinsichtlich ihres Schadstoffgehalts in diesem Kapitel verglichen werden, machen also unterschiedliche Abbauprozesse durch. Schon von daher sind an dieser Stelle Aussagen über die Ursachen der unterschiedlichen Konzentration von Schadstoffen im Schwebstoff des Kläranlagenablaufs und im Klärschlamm ohne genauere Kenntnis des jeweiligen Anlagenbetriebs (Zuflussschwankungen, Prozessführung, Verweilzeiten etc.) und die dabei wirksamen Abbauprozesse kaum möglich.<sup>1</sup>

Anzumerken bleibt, dass im Untersuchungszeitraum bei einer Reihe von Kläranlagen größere Um- und Ausbaumaßnahmen stattfanden, so in Wiesbaden (Ausbau 1995-2003) und Hanau (Modernisierung 1999-2005).

## **II. Charakterisierung der Messdaten**

Die Schwebstoff- und Schlammproben wurden 2002 und 2003 einmal jährlich, fast immer im Sommer, gezogen.<sup>2</sup> Datenreihen aus einer häufigeren Beprobung (täglich/wöchentlich/monatlich o.ä.) sind hier nicht verfügbar. Das Ausfaulen des Schlammes bei den KKA dauert ca. 2-3 Wochen. Zwischen der Entnahme der Schwebstoff- und der Schlammproben aus einer Kläranlage lagen ca. anderthalb bis maximal elf/zwölf Wochen Distanz. Meistens wurden zuerst die Schwebstoffproben und danach die Schlammproben entnommen; 2002 war die Reihenfolge bei vier der

---

<sup>1</sup> Zu den Problemen einer solchen Bilanzierung vgl. z.B. ATV-DVWK-Arbeitsgruppe IG-5.4 2002 (Endokrin wirksame Substanzen in Kläranlagen – Vorkommen, Verbleib, Wirkung), insbes. Kap. 3.

<sup>2</sup> Kommunale Kläranlagen, Schwebstoff: zwischen 23.7. und 18.10. 2002 sowie 10.7. und 26.8. 2003; Schlamm: 20./21.8. 2002 und 1./2.9.2003 sowie 5.11.2003 (Kassel). Industrielle Kläranlagen, Schwebstoff: 29.5. 2002 (I21) sowie 10.7.-11.9.2002 und 30.6.-25.11.2003; Klärschlamm: 20./21.8 2002 bzw. 1./2.9. 2003.

KKA und einer IKA, 2003 bei einer IKA umgekehrt.<sup>3</sup> Die unterschiedlich großen zeitlichen Abstände bei der Probenentnahme und die z.T. umgekehrte Reihenfolge können, sofern diskontinuierliche Einträge der einzelnen Schadstoffe (Stoßbelastungen) anzunehmen sind, neben dem punktuellen Charakter der Messwerte eine zusätzliche Unsicherheit für die Dateninterpretation darstellen.

Um Aussagen zum Verhältnis der Konzentration der Parameter in Schwebstoff und Klärschlamm treffen zu können, ist Voraussetzung, dass für beide ein auswertbares Messwert-Paar vorliegt. Damit ein Messwert-Paar auswertbar ist, müssen beide Messwerte oberhalb der BG liegen, oder es muss einem Wert <BG ein Wert gegenüberstehen, der größer als die BG des im gegenüberstehenden Messwertes ist. (Wenn z.B. einem Schwebstoff-Wert <10 µg/kg TS ein Klärschlamm-Wert von 5 µg/kg TS gegenübersteht, ist eine Aussage nicht möglich.)

Die Aussagefähigkeit der Konzentrationsvergleiche ist auch vom Anteil der auswertbaren Messwerte bzw. Messwert-Paare bei den einzelnen Stoffgruppen abhängig, der von 18 bis 100 Prozent reicht (vgl. Übers. 7.0.2).

| <b>Übersicht 7.0.2: Auswertbare Messwert-Paare für Konzentrationsvergleiche Schwebstoff/Klärschlamm 2002/2003 nach Stoffgruppen</b> |                    |                |            |                 |
|---|--------------------|----------------|------------|-----------------|
| Stoffgruppe   | Zahl der Parameter | Messwert-Paare |            |                 |
|   |                    | insgesamt      | auswertbar | auswertbare (%) |
| 01 AOX  | 1*                 | 11             | 11         | 100,0           |
| TOC   | 1*                 | 26             | 26         | 100,0           |
| 02 PCB  | 2*                 | 16             | 16         | 100,0           |
| 03 Aromatische CKW  | 16                 | 434            | 186        | 42,9            |
| 04 Chlorphenole   | 10                 | 240            | 77         | 32,1            |
| 05 Chlorpestizide   | 20                 | 244            | 44         | 18,0            |
| 07 PAK  | 1*                 | 28             | 28         | 100,0           |
| 08 Zinnorganika   | 8                  | 216            | 139        | 64,4            |
| 09 Alkylphenole   | 2                  | 55             | 55         | 100,0           |
| 18 PBDE   | 8                  | 224            | 125        | 55,8            |
| 19 Chlorparaffine   | 4*                 | 108            | 108        | 100,0           |

\* Summenparameter

### **III. Konzentrationsvergleiche Schwebstoff/Klärschlamm nach Stoffgruppen**

#### **III.1 Stoffgruppe 01: AOX/TOC**

Die Summenparameter AOX und TOC werden hier gemeinsam behandelt.

##### *1.1 Verfügbare Daten*

Auf AOX wurden 2002 und 2003 jeweils sechs IKA (keine KKA) untersucht. Da für I31 2002 Schwebstoff-Daten nicht vorliegen, können in diesem Jahr nur fünf IKA verglichen werden.

Zu TOC liegen Daten aus neun KKA und sechs IKA für beide Jahre vor. Bei den KKA entfällt in beiden Jahren die KKA Hanau (keine Schwebstoff-Daten), so dass acht KKA vergleichbar sind. Bei den IKA sind 2002 wegen fehlender Schwebstoff-Daten

<sup>3</sup> Fulda, Limburg, Sindlingen, Kassel sowie I41 (2002) und I12 (2003).

von I31, 2003 wegen fehlender Schlamm-Daten von I11 jeweils nur fünf IKA vergleichbar.

Zu den verfügbaren Messdaten vgl. Tab. 7.1.1.

|                    | TOC KKA   |           | TOC IKA   |           | AOX IKA   |           |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                    | 2002      | 2003      | 2002      | 2003      | 2002      | 2003      |
| Zahl der Messwerte | 17        | 17        | 11        | 11        | 11        | 12        |
| Messwerte <BG (%)  |           |           |           |           |           |           |
| Messwerte ≥BG (%)  | 17 (100%) | 17 (100%) | 11 (100%) | 11 (100%) | 11 (100%) | 12 (100%) |

### 1.2 Kommunale Kläranlagen

Im Feststoff aus kommunalen Kläranlagen wurde in beiden Jahren nur TOC bestimmt. Es konnten jeweils 8 Messwert-Paare ausgewertet werden (vgl. Tab. 7.1.2).

| KKA                     | Schwebstoffkonz. >Schlammkonz. |              | Schlammkonz. >Schwebstoffkonz. |              | Konzentrationen gleich |      | Konzentrationen <BG/nicht auswertbar |      |
|-------------------------|--------------------------------|--------------|--------------------------------|--------------|------------------------|------|--------------------------------------|------|
|                         | 2002                           | 2003         | 2002                           | 2003         | 2002                   | 2003 | 2002                                 | 2003 |
| Fulda                   | X                              | X            |                                | -            | -                      | -    | -                                    | -    |
| Limburg                 | X                              | X            |                                | -            | -                      | -    | -                                    | -    |
| Sindlingen <sup>1</sup> | X                              | -            |                                | S            | -                      | -    | -                                    | -    |
| Kassel                  | X                              | -            |                                | S            | -                      | -    | -                                    | -    |
| Gießen                  | X                              | X            |                                | -            | -                      | -    | -                                    | -    |
| Niederrad <sup>1</sup>  | -                              | X            | S                              | -            | -                      | -    | -                                    | -    |
| Wiesbaden               | -                              | -            | S                              | S            | -                      | -    | -                                    | -    |
| Hanau                   | k.A.                           | k.A.         | k.A.                           | k.A.         | k.A.                   | k.A. | k.A.                                 | k.A. |
| Darmstadt               | X                              | X            | -                              | -            | -                      | -    | -                                    | -    |
| Summe/Anteil            | 6<br>(75%)                     | 5<br>(62,5%) | 2<br>(25%)                     | 3<br>(37,5%) | -                      | -    | -                                    | -    |

<sup>1</sup> Rohschlamm

X: Schwebstoffkonzentration >Schlammkonzentration; S: Schlammkonzentration >Schwebstoffkonzentration. Leere Felder: Konzentrationen <BG.

In beiden Jahren ist bei der Mehrzahl der KKA die TOC-Konzentration im Schwebstoff größer als im Klärschlamm (2002 6 von 8, 2003 5 von 8 KKA). Vier KKA machen hiervon allerdings durchgehend (Wiesbaden) bzw. zeitweilig (Sindlingen, Kassel, Niederrad) eine Ausnahme.

In Tab. 7.1.3 ist das Verhältnis der TOC-Konzentrationen in Schwebstoff und Klärschlamm für die neun KKA eingetragen. Die Spanne reicht 2002 von 66 Prozent (Niederrad) bis 244 Prozent (Fulda), 2003 von 43 Prozent (Wiesbaden) bis 186 Prozent (Limburg). Der in 11 von 16 Fällen gegebene Konzentrationsüberschuss im Schwebstoff bewegt sich zwischen dem 1,04fachen und dem 2,8fachen der Konzentration im Klärschlamm (Maxima: 2002 in Kassel, 2003 in Limburg).

**Tab. 7.1.3: 2002/2003 TOC – Verhältnis der Konzentrationen in Schwebstoff und Klärschlamm für acht KKA<sup>1</sup> (Prozent)**

| KKA                     | TOC-Konz. im Schwebstoff zu TOC-Konz. im Klärschlamm 2002 | TOC-Konz. im Schwebstoff zu TOC-Konz. im Klärschlamm 2003 |
|-------------------------|---|---|
| Fulda                   | 243,8   | 135,9   |
| Limburg                 | 196,7   | 185,8   |
| Sindlingen <sup>2</sup> | 150,4   | 75,6  |
| Kassel                  | 279,4   | 57,8  |
| Gießen                  | 109,1   | 103,6   |
| Niederrad <sup>2</sup>  | 65,8  | 118,5   |
| Wiesbaden               | 83,3  | 42,6  |
| Hanau                   | k.A.  | k.A.  |
| Darmstadt               | 106,5   | 125,2   |

<sup>1</sup> Ohne KKA Hanau; <sup>2</sup> Rohschlamm

### 1.3 Industrielle Kläranlagen

Bei den industriellen Kläranlagen sind 2002 und 2003 für AOX fünf bzw. sechs Messwert-Paare Schwebstoff/Klärschlamm auswertbar (Tab. 7.1.4).

**Tab. 7.1.4: AOX 2002/2003 – Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm und Verhältnis der Konzentrationen in Schwebstoff und Klärschlamm für sechs IKA**

| IKA | Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm |        | Verhältnis der AOX-Konzentrationen in Schwebstoff und Klärschlamm (%) |       |
|-----|---|--------|---|-------|
|     | 2002  | 2003   | 2002  | 2003  |
| I13 | S   | X      | 92,8  | 263,2 |
| I12 | S   | S      | 87,1  | 58,0  |
| I11 | X   | X      | 124,3   | 103,3 |
| I41 | S   | gleich | 79,5  | 100,0 |
| I31 | k.A.  | X      | k.A.  | 167,9 |
| I21 | X   | X      | 171,8   | 114,7 |

X: Schwebstoffkonzentration > Schlammkonzentration; S: Schlammkonzentration > Schwebstoffkonzentration.

2002 war die AOX-Konzentration bei drei IKA im Klärschlamm und bei zwei im Schwebstoff größer, 2003 dagegen bei vier IKA im Schwebstoff und bei einer im Schwebstoff. In einem Fall war die Konzentration gleich hoch.

Mit Ausnahme von I13 (2003) sind keine sehr großen Überschüsse im Schwebstoff zu erkennen (Tab. 7.1.4). Die Unterschiede zwischen einzelnen Kläranlagen und zwischen den beiden Bezugsjahren sind recht ausgeprägt. Bei I13 und I12 war das Konzentrationsverhältnis AOX im Schwebstoff/AOX im Klärschlamm 2002 fast gleich, 2003 dominiert dagegen bei I13 die AOX-Konzentration im Schwebstoff, bei I12 die Anreicherung im Klärschlamm. I12 hat die mit Abstand größte AOX-Belastung (ca. 2-3 g/kg TS)

Beim TOC – in beiden Jahren sind jeweils Messwert-Paare aus fünf von sechs IKA vorhanden, wobei 2002 I31 und 2003 I11 entfallen – dominierte stets die Konzentration im Schwebstoff. Ausnahmen kommen bei zwei Betrieben vor (I21 2002 und I31 2003).

Der Konzentrationsüberschuss im Schwebstoff reicht 2002 bis zum 8fachen (I41), 2003 bis zum 3,8fachen (I13). Bei einzelnen Betrieben treten deutliche Schwankungen von Jahr zu Jahr auf (vgl. I41 oder I21).

**Tab. 7.1.5: TOC 2002/2003 – Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm und Verhältnis der Konzentrationen in Schwebstoff und Klärschlamm für sechs IKA**

| IKA | Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm |      | Verhältnis der TOC-Konzentrationen in Schwebstoff und Klärschlamm (%) |       |
|-----|---|------|---|-------|
|     | 2002  | 2003 | 2002  | 2003  |
| I13 | X   | X    | 226,5   | 382,8 |
| I12 | X   | X    | 152,7   | 130,4 |
| I11 | X   | k.A. | 164,0   | k.A.  |
| I41 | X   | X    | 803,0   | 354,3 |
| I31 | k.A.  | S    | k.A.  | 81,1  |
| I21 | S   | X    | 98,3  | 170,9 |

X: Schwebstoffkonzentration >Schlammkonzentration; S: Schlammkonzentration >Schwebstoffkonzentration.

#### 1.4 Zusammenfassung AOX und TOC

Aussagen zum Konzentrationsverhältnis von AOX und TOC im Schwebstoff und Klärschlamm sind bei den KKA und IKA, soweit 2002/2003 untersucht, für alle Messwert-Paare möglich. Allerdings wird die Vergleichbarkeit der Angaben beim TOC in IKA dadurch eingeschränkt, dass nur für vier IKA Daten aus beiden Jahren vorliegen.

**Tab. 7.1.6: AOX und TOC 2002/2003 – Zusammengefasster Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm für kommunale und industrielle Kläranlagen**

|     | AOX-Konzentration     |                       |                       |                       | TOC-Konzentration     |                       |                       |                       |
|-----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|     | 2002                  |                       | 2003                  |                       | 2002                  |                       | 2003                  |                       |
|     | größer im Schwebstoff | größer im Klärschlamm |
| KKA | k.A.                  | k.A.                  | k.A.                  | k.A.                  | 6                     | 2                     | 5                     | 3                     |
| IKA | 2                     | 3                     | 5 <sup>1</sup>        | 1                     | 4                     | 1                     | 4                     | 1                     |

<sup>1</sup> Darunter ein Fall mit gleich großer Konzentration wie im Klärschlamm.

Beim AOX überwiegt 2002 die Dominanz im Klärschlamm, 2003 umgekehrt die Dominanz im Schwebstoff. Beim TOC aus kommunalen Kläranlagen ist die Konzentration im Schwebstoff mehrheitlich, bei den IKA fast immer größer als im Klärschlamm. Letzteres gilt auch, wenn nur die vier in beiden Jahren vollständig beprobten IKA berücksichtigt werden (vgl. Tab. 7.1.5).

Die Konzentrationsüberschüsse im Schwebstoff sind beim AOX eher mäßig, beim TOC z.T. ausgeprägter.

### III.2 Stoffgruppe 02: Polychlorierte Biphenyle (PCB)

#### 2.1 Verfügbare Daten

Für 2002 liegen Messwerte für die Summe der sechs DIN-PCB sowie die Summe der 12 WHO-PCB aus 10 kommunalen Kläranlagen im Klärschlamm und aus 8 KKA (ohne die KKA Wetzlar und Wiesbaden) im Schwebstoff vor. Bei den industriellen Kläranlagen sind Schlammkonzentrationen aus sechs und Schwebstoffkonzentrationen aus fünf IKA (ohne I31) verfügbar. Damit sind Konzentrationsvergleiche für acht KKA (insgesamt 16 Messwert-Paare) und für fünf IKA (10 Messwert-Paare) möglich.

**Tab. 7.2.1: PCB – verfügbare Schwebstoff-/Klärschlamm-Messdaten aus Kläranlagen für Konzentrationsvergleiche 2002**

|                    | KKA       | IKA       |
|--------------------|-----------|-----------|
| Zahl der Messwerte | 36        | 22        |
| Messwerte <BG (%)  | -         | -         |
| Messwerte ≥BG (%)  | 36 (100%) | 22 (100%) |

#### 2.2 Kommunale Kläranlagen

Die jeweils 8 Messwert-Paare für die Summe der DIN- und der WHO-PCB aus Schwebstoff und Klärschlamm der KKA sind allesamt auswertbar.

**Tab. 7.2.2: Summe der 6 DIN- und der 12 WHO-PCB 2002 – Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm für acht kommunalen Kläranlagen<sup>1</sup>**

| KKA                     | DIN-PCB                   |                           |                                    | WHO-PCB                   |                           |                                    |
|-------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------------|
|                         | Schwebstoff<br>(µg/kg TS) | Klärschlamm<br>(µg/kg TS) | Schwebstoff/<br>Klärschlamm<br>(%) | Schwebstoff<br>(µg/kg TS) | Klärschlamm<br>(µg/kg TS) | Schwebstoff/<br>Klärschlamm<br>(%) |
| Fulda                   | 68,9                      | 91,0                      | 75,7                               | 11,7                      | 13,2                      | 88,6                               |
| Limburg                 | 70,8                      | 171,0                     | 41,4                               | 10,2                      | 25,1                      | 40,5                               |
| Sindlingen <sup>2</sup> | 140,0                     | 69,0                      | <b>203,8</b>                       | 27,4                      | 11,7                      | <b>235,0</b>                       |
| Kassel                  | 64,7                      | 110,0                     | 42,5                               | 12,1                      | 19,7                      | 61,7                               |
| Gießen                  | 129,0                     | 230,0                     | 56,1                               | 18,2                      | 27,6                      | 66,1                               |
| Niederrad <sup>2</sup>  | 51,0                      | 74,8                      | 68,2                               | 9,0                       | 18,2                      | 49,1                               |
| Hanau                   | 169,3                     | 152,0                     | <b>111,4</b>                       | 18,7                      | 26,4                      | 70,8                               |
| Darmstadt               | 127,0                     | 106,0                     | <b>119,8</b>                       | 18,6                      | 16,7                      | <b>111,7</b>                       |

<sup>1</sup> Ohne die KKA Wetzlar und Wiesbaden. <sup>2</sup> Rohschlamm. Konzentrationsüberschüsse im Schwebstoff fett hervorgehoben. Grau unterlegt: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff erhöht (≥100 µg/kg TS).

Bei den kommunalen Kläranlagen ist die Konzentration an DIN-PCB in drei Fällen (Sindlingen, Hanau und Darmstadt) im Schwebstoff größer als im Klärschlamm. Gleiches gilt bei den KKA Sindlingen und Darmstadt auch für die WHO-PCB (Tab. 7.2.2, Werte hervorgehoben). Nur bei der KKA Sindlingen ist der Konzentrationsüberschuss im Schwebstoff ausgeprägt (Konzentration im Schwebstoff gut doppelt so groß wie im Klärschlamm). Bei der zweiten KKA mit nicht ausgefaultem Klärschlamm (KKA Niederrad) ist die PCB-Konzentration im Klärschlamm deutlich größer als im Schwebstoff. Der DIN-PCB-Gehalt im Schwebstoff macht bei den anderen KKA zwischen 41 und 76 Prozent aus. Die Konzentration an WHO-PCB im Schwebstoff liegt zwischen 112 Prozent (Darmstadt) und 235 Prozent (Sindlingen), ansonsten zwischen 41 und 89 Prozent der Konzentration im Klärschlamm.

Bei der Hälfte der KKA übersteigt die DIN-PCB-Konzentration im Schwebstoff 100 µg/kg TS.

### 2.3 Industrielle Kläranlagen

Alle jeweils fünf Messwert-Paare für DIN- und WHO-PCB aus industriellen Kläranlagen können für die Auswertung herangezogen werden.

Tab. 7.2.2 zeigt: Die Konzentration der DIN-PCB ist bei einer (I41), die der WHO-PCB bei zwei IKA (I41 und I13) höher als im Klärschlamm. Deutlich ist der Konzentrationsüberschuss im Schwebstoff nur bei I41.

Erhöhte PCB-Gehalte im Schwebstoff finden sich bei I12 und I21 (DIN-PCB) sowie bei I11 (WHO-PCB).

**Tab. 7.2.3: Summe der 6 DIN- und der 12 WHO-PCB 2002 – Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm für fünf industrielle Kläranlagen<sup>1</sup>**

| IKA | DIN-PCB                   |                           |                                    | WHO-PCB                   |                           |                                    |
|-----|---------------------------|---------------------------|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------------|
|     | Schwebstoff<br>(µg/kg TS) | Klärschlamm<br>(µg/kg TS) | Schwebstoff/<br>Klärschlamm<br>(%) | Schwebstoff<br>(µg/kg TS) | Klärschlamm<br>(µg/kg TS) | Schwebstoff/<br>Klärschlamm<br>(%) |
| I13 | 22,7                      | 37,7                      | 60,2                               | 24,9                      | 21,2                      | 117,1                              |
| I12 | 158,0                     | 234,0                     | 67,5                               | 22,1                      | 35,1                      | 62,9                               |
| I11 | 21,4                      | 28,5                      | 75,1                               | 123,0                     | 490,9                     | 25,0                               |
| I41 | 7,8                       | 3,0                       | 260,0                              | 0,8                       | 0,4                       | 208,3                              |
| I21 | 145,0                     | 348,0                     | 41,7                               | 19,4                      | 50,5                      | 38,5                               |

<sup>1</sup> Ohne I31. <sup>2</sup> Rohschlamm. Konzentrationsüberschüsse im Schwebstoff fett hervorgehoben. Grau unterlegt: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff erhöht (≥100 µg/kg TS).

Bei den industriellen Kläranlagen sind die absoluten Konzentrationswerte etwas gespreizter als bei der KKA: Zwei IKA weisen höhere, drei niedrigere Werte auf. Die erhöhten PCB-Konzentrationen in Schwebstoff und Klärschlamm bei den IKA sind etwas größer als bei den KKA.

### 3. Zusammenfassung PCB

Aussagen zum Konzentrationsverhältnis der PCB in Schwebstoff und Klärschlamm sind bei acht KKA und fünf IKA 2002 für alle Messwert-Paare möglich.

Gegenüber dem Klärschlamm erhöhte PCB-Konzentrationen traten 2002 insgesamt bei drei der acht KKA und bei zwei der fünf IKA auf: Bei den KKA Sindlingen und Darmstadt (DIN- und WHO-PCB) sowie in Hanau (DIN-PCB) und bei der IKA I41 (DIN- und WHO-PCB) bzw. der IKA I13 (WHO-PCB). Ausgeprägt war der Konzentrationsüberschuss im Schwebstoff bei der KKA Sindlingen und der IKA I41.

**Tab. 7.2.4: PCB 2002 – Zusammengefasster Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm für kommunale und industrielle Kläranlagen**

|                  | 2002                                |                       |                                     |                       |
|------------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------|
|                  | Konzentration der Summe der DIN-PCB |                       | Konzentration der Summe der WHO-PCB |                       |
|                  | größer im Schwebstoff               | größer im Klärschlamm | größer im Schwebstoff               | größer im Klärschlamm |
| KKA <sup>1</sup> | 3                                   | 5                     | 1                                   | 4                     |
| IKA <sup>2</sup> | 1                                   | 4                     | 2                                   | 3                     |

<sup>1</sup> 8 KKA (ohne KKA Wetzlar und Wiesbaden). <sup>2</sup> 5 IKA (ohne I31).

### III.3 Stoffgruppe 03: Aromatische Chlorkohlenwasserstoffe und andere CKW

#### 3.1 Verfügbare Daten

In beiden Jahren wurden neun KKA und sechs IKA auf 16 (2002) bzw. 18 (2003) Parameter beprobt. (Da es sich – neben Hexachlorbutadien sowie Penta- und Hexachlorethan – ausschließlich um Chloraromaten handelt, wird im folgenden nicht ganz korrekt stets von „Chloraromaten“ gesprochen.) Einige Daten sind für den Vergleich jedoch nicht verwertbar:

- 2003 können nur die Daten von acht kommunalen Kläranlagen ausgewertet werden, da für die KKA Hanau die Schwebstoffwerte fehlen.
- Da 2002 für die IKA I31 keine Schwebstoffdaten und 2003 für die IKA I11 keine Schlammwerte verfügbar sind, bleibt es in beiden Jahren bei fünf auswertbaren IKA.
- Bei den KKA stehen die Dichlorbenzolwerte für 2003 aus analytischen Gründen unter Vorbehalt und werden daher nicht berücksichtigt.

Die Bestimmungsgrenzen sind 2003 gegenüber 2002 bei fast allen Parametern (bis zum Faktor 10) vermindert. Das hat für den Konzentrationsvergleich jedoch keine Auswirkungen. Wie Tab. 7.3.1 zeigt, liegt der Anteil der Schwebstoff- bzw. Klärschlamm-Messwerte oberhalb der BG bei den KKA in beiden Jahren bei etwa 27 Prozent, bei den IKA um 60 Prozent. Bei den industriellen Kläranlagen ist der Anteil der Messwerte  $\geq$ BG etwa doppelt so groß wie bei den KKA.

**Tab. 7.3.1: Chloraromaten – verfügbare Schwebstoff-/Klärschlamm-Messdaten aus Kläranlagen für Konzentrationsvergleiche 2002/2003**

|                         | KKA  |                   | IKA  |      |
|-------------------------|------|-------------------|------|------|
|                         | 2002 | 2003 <sup>1</sup> | 2002 | 2003 |
| Zahl der Messwerte      | 288  | 306               | 160  | 198  |
| Messwerte <BG (%)       | 74%  | 73%               | 39%  | 42%  |
| Messwerte $\geq$ BG (%) | 26%  | 27%               | 61%  | 58%  |

<sup>1</sup> Einschließlich der Dichlorbenzol-Werte.

#### 3.2 Kommunale Kläranlagen

**Tab. 7.3.2: Chloraromaten 2002 – Zusammengefasster Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm für 16 Parameter aus neun KKA (144 Messwertvergleiche)**

| KKA                     | Schwebstoffkonz. >Schlammkonz. | Schlammkonz. >Schwebstoffkonz. | Konzentrationen gleich | Konzentrationen <BG/nicht auswertbar |
|-------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| Fulda                   | 12                             | -                              | -                      | 4                                    |
| Limburg                 | 3                              | 1                              | -                      | 12                                   |
| Sindlingen <sup>1</sup> | 2                              | 1                              | -                      | 13                                   |
| Kassel                  | 1                              | 1                              | -                      | 14                                   |
| Gießen                  | -                              | 2                              | -                      | 14                                   |
| Niederrad <sup>1</sup>  | 2                              | 3                              | -                      | 11                                   |
| Wiesbaden               | 9                              | 1                              | -                      | 6                                    |
| Hanau                   | 5                              | -                              | -                      | 11                                   |
| Darmstadt               | 3                              | 2                              | -                      | 11                                   |
| Summe/Anteil            | 37 (25,7%)                     | 11 (7,6%)                      | -                      | 96 (66,7%)                           |

<sup>1</sup> Rohschlamm

Tab. 7.3.2 sowie Übers. 7.3.1 enthalten die Daten für den Vergleich der Konzentration von 16 Chloraromaten in Schwebstoff und Klärschlamm der neun KKA für 2002 (144 Messwert-Paare).

| <b>Übersicht 7.3.1: Chloraromaten 2002 – Konzentrationsvergleich Schwebstoff/<br/>Klärschlamm nach Parametern bei neun kommunalen Kläranlagen</b> |       |         |                         |        |        |                         |           |       |           |
|---|-------|---------|-------------------------|--------|--------|-------------------------|-----------|-------|-----------|
| Parameter   | Fulda | Limburg | Sindlingen <sup>1</sup> | Kassel | Gießen | Nieder-rad <sup>1</sup> | Wiesbaden | Hanau | Darmstadt |
| 1,2-Dichlorbenzol   | X     |         |                         |        |        | S                       | X         |       |           |
| 1,3-Dichlorbenzol   | X     | X       |                         |        |        |                         | X         |       |           |
| 1,4-Dichlorbenzol   | X     | S       | X                       | X      | S      | S                       | X         | X     | S         |
| 1,2,3-Trichlorbenzol  | X     |         | S                       |        |        | X                       | X         | X     | S         |
| 1,2,4-Trichlorbenzol  | X     | X       |                         |        |        | X                       | X         | X     | X         |
| 1,3,5-Trichlorbenzol  | X     |         |                         |        |        |                         | X         | X     |           |
| 1,2,3,4-Tetrachlorbenzol  |       |         |                         |        |        |                         | X         |       |           |
| 1,2,3,5-Tetrachlorbenzol  |       |         |                         |        |        |                         |           |       |           |
| 1,2,4,5-Tetrachlorbenzol  |       |         |                         |        |        |                         |           |       |           |
| Pentachlorbenzol  | X     |         |                         |        |        |                         |           |       | X         |
| Hexachlorbenzol   | X     | X       | X                       | S      | S      | S                       | S         | X     | X         |
| 2-Chlortoluol   | X     |         |                         |        |        |                         | X         |       |           |
| 3-Chlortoluol   |       |         |                         |        |        |                         |           |       |           |
| 4-Chlortoluol   | X     |         |                         |        |        |                         |           |       |           |
| 2,4-Dichlortoluol   | X     |         |                         |        |        |                         | X         |       |           |
| Hexachlorbutadien   | X     |         |                         |        |        |                         |           |       |           |

<sup>1</sup> Rohschlamm

X: Schwebstoffkonzentration >Schlammkonzentration; S: Schlammkonzentration >Schwebstoffkonzentration; Leere Felder: Konzentrationen <BG.

Grau unterlegt: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff überdurchschnittlich hoch ( $\geq 50 \mu\text{g/kg TS}$ ).

Dabei zeigt sich:

- In zwei Drittel der Fälle (96 Messwert-Paare) sind Aussagen zum Konzentrationsverhältnis in Schwebstoff und Klärschlamm nicht möglich, weil die Konzentrationen unterhalb der BG lagen (93 Fälle) oder weil (drei Fälle) die Daten aus anderen Gründen<sup>4</sup> nicht auswertbar waren.
- In 48 Fällen ist eine Aussage zum Konzentrationsverhältnis möglich: In 37 Fällen war die Chloraromaten-Konzentration im Schwebstoff größer, in 11 Fällen kleiner als im Schlamm.
- Bei den KKA Fulda, Wiesbaden und Hanau sind die Chloraromaten-Konzentrationen im Schwebstoff fast immer höher als im Schlamm.

Die vergleichbaren Angaben für 2003 enthalten Tab. 7.3.3 und Übersicht 7.3.2:

<sup>4</sup> In diesen Fällen stand einem kleinen positiven Wert eine Wert <BG gegenüber, bei dem die BG deutlich größer als der positive Wert war.

**Tab. 7.3.3: Chloraromaten 2003 – Zusammengefasster Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm für 15 Parameter aus acht KKA (120 Messwertvergleiche)**

| KKA                     | Schwebstoffkonz.<br>>Schlammkonz. | Schlammkonz.<br>>Schwebstoffkonz. | Konzentrationen<br>gleich | Konzentrationen<br><BG |
|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|------------------------|
| Fulda                   | -                                 | 1                                 | 1                         | 13                     |
| Limburg                 | 1                                 | 5                                 | -                         | 9                      |
| Sindlingen <sup>1</sup> | 1                                 | 1                                 | -                         | 13                     |
| Kassel                  | -                                 | 2                                 | -                         | 13                     |
| Gießen                  | 2                                 | 3                                 | -                         | 10                     |
| Niederrad <sup>1</sup>  | 1                                 | -                                 | -                         | 14                     |
| Wiesbaden               | -                                 | 1                                 | 1                         | 13                     |
| Hanau                   | k.A.                              | k.A.                              | k.A.                      | k.A.                   |
| Darmstadt               | 3                                 | 2                                 | -                         | 10                     |
| Summe/Anteil            | 8 (6,7%)                          | 15 (12,5%)                        | 2 (1,4%)                  | 95 (79,2%)             |

<sup>1</sup> Rohschlamm; KKA Hanau: wegen fehlender Schwebstoffwerte kein Vergleich möglich.

**Übersicht 7.3.2: Chloraromaten 2003 – Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm nach Parametern<sup>1</sup> bei neun kommunalen Kläranlagen**

| Parameter                | Fulda  | Limburg | Sindlingen <sup>2</sup> | Kassel | Gießen | Niederrad <sup>2</sup> | Wiesbaden | Hanau | Darmstadt |
|--------------------------|--------|---------|-------------------------|--------|--------|------------------------|-----------|-------|-----------|
| 1,2,3-Trichlorbenzol     |        | S       | S                       |        | S      |                        |           | k.A.  | X         |
| 1,2,4-Trichlorbenzol     | S      | S       |                         |        | X      | X                      | gleich    | k.A.  | S         |
| 1,3,5-Trichlorbenzol     |        | S       |                         |        |        |                        |           | k.A.  | S         |
| 1,2,3,4-Tetrachlorbenzol |        |         |                         |        |        |                        |           | k.A.  |           |
| 1,2,3,5-Tetrachlorbenzol |        | X       |                         |        |        |                        |           | k.A.  |           |
| 1,2,4,5-Tetrachlorbenzol |        |         |                         |        |        |                        |           | k.A.  |           |
| Pentachlorbenzol         |        |         |                         |        |        |                        |           | k.A.  | X         |
| Hexachlorbenzol          | gleich | S       | X                       | S      | X      |                        | S         | k.A.  | X         |
| 2-Chlortoluol            |        |         |                         |        | S      |                        |           | k.A.  |           |
| 3-Chlortoluol            |        |         |                         |        | S      |                        |           | k.A.  |           |
| 4-Chlortoluol            |        |         |                         |        |        |                        |           | k.A.  |           |
| 2,4-Dichlortoluol        |        |         |                         | S      |        |                        |           | k.A.  |           |
| Hexachlorbutadien        |        |         |                         |        |        |                        |           | k.A.  |           |
| Pentachlorethan          |        |         |                         |        |        |                        |           | k.A.  |           |
| Hexachlorethan           |        | S       |                         |        |        |                        |           | k.A.  |           |

<sup>1</sup> Ohne Dichlorbenzole; <sup>2</sup> Rohschlamm; X: Schwebstoffkonzentration >Schlammkonzentration; XX: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff übersteigt die Schadstoffkonzentration im Schlamm um mehr als das Zehnfache; S: Schlammkonzentration >Schwebstoffkonzentration; Leere Felder: Konzentrationen <BG. Grau unterlegt: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff überdurchschnittlich hoch ( $\geq 50 \mu\text{g}/\text{kg TS}$ ).

Fazit kommunale Kläranlagen 2003 und Vergleich mit 2002:

- Bei acht der neun KKA können 2003 zu 15 Chloraromaten (ohne Dichlorbenzole) Messwerte aus Schwebstoff und Klärschlamm verglichen werden (120 Messwert-Paare). Bei der KKA Hanau fehlen die Schwebstoffwerte, ein Vergleich ist nicht möglich.
- Bei 95 Messwert-Paaren lagen die Konzentrationen unterhalb der BG (79 Prozent der Fälle); auch hier ist keine Aussage möglich.

- Bei den restlichen 25 Fällen war die Konzentration an Chloraromaten im Schlamm in 15 Fälle größer und in 8 Fällen kleiner als im Schwebstoff; in zwei Fällen waren die Konzentrationen identisch. Im Vorjahr (zum Vergleich ebenfalls ohne Dichlorbenzole) wurde in 6 Fällen im Schlamm die größere, in 27 Fällen die kleinere Konzentration gemessen, das Verhältnis war also gerade umgekehrt.
- Das Konzentrations-Muster unterscheidet sich 2003 z.T. deutlich von dem des Vorjahres (Vergleich ohne Dichlorbenzole). Die KKA Fulda und Wiesbaden wiesen 2002 fast nur höhere Schwebstoff- als Schlammwerte auf. 2003 ist die Schwebstoffkonzentration bei beiden KKA in keinem Fall größer als die Konzentration im Schlamm. Wo in Limburg 2002 die Schwebstoffkonzentrationen größer waren, sind dies 2003 die Schlammkonzentrationen. In Sindlingen und Kassel stimmen beide Jahre überein, in Darmstadt sind bei den Trichlorbenzolen die Verhältnisse umgekehrt, bei Penta- und Hexachlor dagegen wie im Vorjahr.
- 2003 treten die erhöhten Schwebstoffwerte des Jahres 2002 bei den KKA Fulda und Wiesbaden ( $\geq 50 \mu\text{g}/\text{kg TS}$ , in Übersicht 03.1 grau unterlegt) nicht wieder auf.
- Die beiden KKA mit nicht ausgefaultem Klärschlamm zeigen keine besonderen Auffälligkeiten.

### 3.3 Industrielle Kläranlagen

Die Angaben zu den Chloraromaten aus industriellen Kläranlagen für 2002 enthalten Tab. 7.3.4 und Übersicht 7.3.3. Für 2002 ergibt sich:

- Bei fünf der sechs IKA können zu 16 Chloraromaten Messwerte aus Schwebstoff und Klärschlamm verglichen werden (80 Messwert-Paare). Bei der IKA I31 fehlen die Schwebstoffwerte, so dass ein Vergleich entfällt.
- In zwei Drittel der Fälle sind Aussagen möglich, bei einem Drittel liegen die Werte unterhalb der BG.
- Bei der IKA I41 konnten Chloraromaten generell nicht nachgewiesen werden.
- Bei I12 und I11 sind die Schwebstoffkonzentrationen (fast) immer größer als die Klärschlammkonzentrationen. Dabei treten bei I11 fast immer extrem hohe Konzentrationsüberschüsse auf; sie betragen das 13- bis 83fache (Ausnahmen nur Hexachlorbenzol und 1,2,3-Chlortoluol). Bei I12 betragen sie dagegen das 1,1- bis 3,1fache.
- Bei I13 sind die Schlammkonzentrationen mehrheitlich, bei I21 fast immer größer als die Schwebstoffkonzentrationen.
- Deutlich bis sehr stark erhöhte Schwebstoffwerte ( $\geq 10 \text{ mg}/\text{kg TS}$ ) werden bei I12 und I11 registriert.

**Tab. 7.3.4 Chloraromaten 2002 – Zusammengefasster Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm für 16 Parameter aus fünf IKA (80 Messwertvergleiche)**

| IKA          | Schwebstoffkonz.<br>>Schlammkonz. | Schlammkonz.<br>>Schwebstoffkonz. | Konzentrationen<br>gleich | Konzentrationen<br><BG |
|--------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|------------------------|
| I13          | 4                                 | 6                                 | 1                         | 5                      |
| I12          | 14                                | 2                                 | -                         | -                      |
| I11          | 15                                | 1                                 | -                         | -                      |
| I41          | -                                 | -                                 | -                         | 16                     |
| I21          | 1                                 | 9                                 | -                         | 6                      |
| I31          | k.A.                              | k.A.                              | k.A.                      | k.A.                   |
| Summe/Anteil | 34 (42,5%)                        | 18 (22,5%)                        | 1 (1,3%)                  | 27 (33,8%)             |

**Übersicht 7.3.3: Chloraromaten 2002 – Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm nach Parametern bei fünf IKA**

| Parameter                | I13    | I12 | I11 | I41 | I21. |
|--------------------------|--------|-----|-----|-----|------|
| 1,2-Dichlorbenzol        | S      | X   | XX  |     | S    |
| 1,3-Dichlorbenzol        | S      | S   | XX  |     | S    |
| 1,4-Dichlorbenzol        | S      | X   | XX  |     | S    |
| 1,2,3-Trichlorbenzol     | X      | X   | XX  |     | S    |
| 1,2,4-Trichlorbenzol     | gleich | S   | XX  |     | S    |
| 1,3,5-Trichlorbenzol     | X      | X   | XX  |     |      |
| 1,2,3,4-Tetrachlorbenzol | S      | X   | XX  |     | S    |
| 1,2,3,5-Tetrachlorbenzol |        | X   | XX  |     | S    |
| 1,2,4,5-Tetrachlorbenzol |        | X   | XX  |     | S    |
| Pentachlorbenzol         | S      | X   | XX  |     | S    |
| Hexachlorbenzol          | X      | X   | S   |     | X    |
| 2-Chlortoluol            | X      | X   | XX  |     |      |
| 3-Chlortoluol            |        | X   | X   |     |      |
| 4-Chlortoluol            | S      | X   | XX  |     |      |
| 2,4-Dichlortoluol        |        | X   | XX  |     |      |
| Hexachlorbutadien        |        | X   | XX  |     |      |

X: Schwebstoffkonzentration >Schlammkonzentration; XX: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff übersteigt die Schadstoffkonzentration im Schlamm um mehr als das Zehnfache; S: Schlammkonzentration >Schwebstoffkonzentration; Leere Felder: Konzentrationen <BG. Grau unterlegt: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff überdurchschnittlich hoch ( $\geq 10$  mg/kg TS).

Die Angaben für 2003 enthalten Tab. 7.3.5 und Übersicht 7.3.4:

**Tab. 7.3.5: Chloraromaten 2003 – Zusammengefasster Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm für 18 Parameter aus fünf IKA (90 Messwertvergleiche)**

| IKA          | Schwebstoffkonz. >Schlammkonz. | Schlammkonz. >Schwebstoffkonz. | Konzentrationen gleich | Konzentrationen <BG |
|--------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------|---------------------|
| I13          | 15                             | -                              | -                      | 3                   |
| I12          | 1                              | 15                             | -                      | 2                   |
| I11          | k.A.                           | k.A.                           | k.A.                   | k.A.                |
| I41          | 2                              | 2                              | -                      | 14                  |
| I21          | 5                              | 1                              | 3                      | 9                   |
| I31          | 16                             | -                              | -                      | 2                   |
| Summe/Anteil | 39 (43,3%)                     | 18 (20%)                       | 3 (3,3%)               | 30 (33,3%)          |

I11: wegen fehlender Schlammwerte kein Vergleich möglich.

Fazit industrielle Kläranlagen 2003 und Vergleich mit 2002:

- Bei fünf der sechs IKA (einschl. I31, ohne I11) können für 2003 zu 18 Chloraromaten Schwebstoff- und Klärschlammwerte verglichen werden (90 Messwert-Paare). Bei der IKA I11 fehlen die Schlammwerte.
- 2003 fiel wie 2002 ein Drittel der Werte unter die BG; für die restlichen zwei Drittel der Fälle sind Aussagen zum Konzentrations-Verhältnis der Chloraromaten in Schwebstoff und Klärschlamm möglich. Dabei fallen wesentliche Unterschiede zum Vorjahr auf:

- Bei I12 waren 2002 die Schwebstoffkonzentrationen (fast) immer größer als die Klärschlammkonzentrationen. 2003 ist dies gerade umgekehrt: Bis auf einen Parameter (1,2-Dichlorbenzol) ist die Konzentration im Klärschlamm stets größer als im Schwebstoff.
- Bei I13 traten 2002 im Schlamm bei sechs von 11 Fällen höhere Konzentrationen der Chloraromaten auf als im Schwebstoff, bei vier Parametern dominierte der Schwebstoff, in einem Fall war die Konzentration gleich groß. 2003 ist eine Verschiebung zum Schwebstoff zu beobachten, da in allen 15 auswertbaren Fällen die Schadstoffkonzentration im Schwebstoff größer sind als im Schlamm. Bei vier Parametern übersteigt die Schadstoffkonzentration im Schwebstoff diejenige im Schlamm um mehr als das Zehnfache.
- Auch bei I21, wo 2002 in 9 von 10 auswertbaren Fällen die Chloraromaten-Konzentration im Klärschlamm größer als im Schwebstoff war, hat sich das Verhältnis verändert: In fünf von neun Fällen dominiert die Konzentration im Schwebstoff, in drei Fällen ist sie gleich und in einem Fall ist sie im Schlamm größer als im Schwebstoff.
- Bei I31 ist die Schadstoffkonzentration im Schwebstoff bei allen 16 auswertbaren Parametern größer als im Schlamm, darunter in 14 Fällen um mehr als das Zehnfache, davon in mehreren Fällen um mehr als das Hundertfache.
- Bei I12 treten 2003 bei fünf (im Vorjahr bei neun) Parametern stark erhöhte Chloraromaten-Gehalte im Schwebstoff auf ( $\geq 10$  mg/kg TS).

**Übersicht 7.3.4: Chloraromaten 2003 – Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm nach Parametern für fünf IKA**

| Parameter                | I13 | I12 | I11  | Ciba Geigy | I21    | I31 |
|--------------------------|-----|-----|------|------------|--------|-----|
| 1,2-Dichlorbenzol        | X   | X   | k.A. | X          | XX     | X   |
| 1,3-Dichlorbenzol        | X   | S   | k.A. | S          | gleich | XX  |
| 1,4-Dichlorbenzol        | X   | S   | k.A. | X          | X      | XX  |
| 1,2,3-Trichlorbenzol     | X   | S   | k.A. |            | X      | XX  |
| 1,2,4-Trichlorbenzol     | X   | S   | k.A. |            | X      | XX  |
| 1,3,5-Trichlorbenzol     | X   | S   | k.A. |            | gleich | XX  |
| 1,2,3,4-Tetrachlorbenzol | XX  | S   | k.A. |            | gleich | XX  |
| 1,2,3,5-Tetrachlorbenzol | X   | S   | k.A. |            |        | XX  |
| 1,2,4,5-Tetrachlorbenzol | X   | S   | k.A. |            |        | XX  |
| Pentachlorbenzol         | X   | S   | k.A. |            | X      | XX  |
| Hexachlorbenzol          | X   | S   | k.A. |            | S      | X   |
| 2-Chlortoluol            | XX  | S   | k.A. |            |        | XX  |
| 3-Chlortoluol            | XX  | S   | k.A. |            |        | XX  |
| 4-Chlortoluol            | XX  | S   | k.A. |            |        | XX  |
| 2,4-Dichlortoluol        | X   | S   | k.A. | S          |        | XX  |
| Hexachlorbutadien        |     | S   | k.A. |            |        | XX  |
| Pentachlorethan          |     |     | k.A. |            |        |     |
| Hexachlorethan           |     |     | k.A. |            |        |     |

X: Schwebstoffkonzentration >Schlammkonzentration; XX: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff übersteigt die Schadstoffkonzentration im Schlamm um mehr als das Zehnfache; S: Schlammkonzentration >Schwebstoffkonzentration; Leere Felder: Konzentrationen <BG.

Grau unterlegt: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff überdurchschnittlich hoch ( $\geq 10$  mg/kg TS).

### 3.4 Zusammenfassung Aromatische CKW

Aussagen zum Konzentrationsverhältnis von Chloraromaten in Schwebstoff und Klärschlamm sind bei den KKA 2002 für 33 Prozent, 2003 für 21 Prozent der Messwerte möglich; bei den IKA sind dies 2002 und 2003 67 Prozent. Hierin drücken sich

bei ähnlichen Bestimmungsgrenzen die höheren Konzentrationswerte bei einer Reihe von industriellen Kläranlagen aus.

Betrachtet man nur die in beiden Jahren beprobten KKA und IKA mit Chloraromatgehalten im Feststoff oberhalb der BG, so ergeben sich für 2002/2003 folgende Schwebstoff/Schlamm-Verhältnisse:

**Tab. 7.3.6: Chloraromaten 2002/2003 – Zusammengefasster Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm für kommunale und industrielle Kläranlagen**

|                  | 2002                       |                       |        | 2003                       |                       |        |
|------------------|----------------------------|-----------------------|--------|----------------------------|-----------------------|--------|
|                  | Chloraromatenkonzentration |                       |        | Chloraromatenkonzentration |                       |        |
|                  | größer im Schwebstoff      | größer im Klärschlamm | gleich | größer im Schwebstoff      | größer im Klärschlamm | gleich |
| KKA <sup>1</sup> | 23                         | 6                     | -      | 8                          | 15                    | 2      |
| IKA <sup>2</sup> | 19                         | 17                    | 1      | 23                         | 18                    | 3      |

<sup>1</sup> Nur die 2002 und 2003 beprobten KKA (ohne KKA Hanau); ohne Dichlorbenzole.

<sup>2</sup> Nur die 2002 und 2003 beprobten IKA I13, I12, I41, I21 (ohne I11 und I31).

Bei den kommunalen Kläranlagen liegen die Chloraromatenkonzentrationen im Schwebstoff 2002 häufiger über den Konzentrationen im Klärschlamm; 2003 ist das Verhältnis umgekehrt. Bei den IKA dominiert in beiden Jahren die Chloraromatenkonzentration im Schwebstoff.

Die Detailbetrachtung nach Kläranlagen und Parametern ergeben bei den Konzentrationsverhältnissen in Schwebstoff und Schlamm kein für beide Jahre einheitliches Muster. 2002 fallen die beiden KKA Fulda und Wiesbaden mit starkem Übergewicht der Schwebstoffgehalte auf, 2003 ist dies nicht mehr der Fall. Bei den IKA stechen 2002 I12 und I11 hervor, 2003 I13 und I31 (I11 und I31 nur je einmal untersucht, beide mit sehr hohen Konzentrationsüberschüssen).

Eine Auswertung nach Parametern („Ranking“ der Häufigkeit ihrer Dominanz im Schwebstoff; sh. Übersichten) ergibt bei den KKA kein für beide Jahre einheitliches Bild; bei den IKA zeigen sich keine großen Unterschiede zwischen den einzelnen Parametern und zwischen beiden Jahren.

### **III.4 Stoffgruppe 04: Chlorphenole**

#### **4.1 Verfügbare Daten**

In beiden Jahren wurden neun KKA sowie sechs (2002) bzw. zwei (2003) IKA auf jeweils zehn Parameter beprobt. Folgende Einschränkungen sind zu beachten:

- Da 2003 die Schwebstoffwerte für die KKA Hanau fehlen, können in diesem Jahr nur für 8 KKA Vergleiche angestellt werden.
- 2002 können Daten aus fünf der sechs IKA verglichen werden; für I31 liegen keine Schwebstoffdaten vor. Für 2003 sind Werte-Paare aus den beiden IKA I13 und I21 verfügbar; bei zwei Betrieben (I12, I31) liegen keine Angaben vor, bei zwei weiteren (I11 und I41) fehlen die Schlammwerte zum Vergleich.
- Ein großer Teil der Messwerte fiel unter die Bestimmungsgrenze. Bei den KKA lagen nur 15 Prozent der Werte oberhalb der BG, bei den IKA zwischen 43 (2003) und 48 Prozent (2002). Auch dies schränkt die Auswertungsmöglichkeit ein.

**Tab. 7.4.1: Chlorphenole – verfügbare Schwebstoff-/Klärschlamm-Messdaten aus Kläranlagen für Konzentrationsvergleiche 2002/2003**

|                    | KKA  |      | IKA  |      |
|--------------------|------|------|------|------|
|                    | 2002 | 2003 | 2002 | 2003 |
| Zahl der Messwerte | 180  | 170  | 120  | 58   |
| Messwerte <BG (%)  | 85%  | 85%  | 52%  | 57%  |
| Messwerte ≥BG (%)  | 15%  | 15%  | 48%  | 43%  |

#### 4.2 Kommunale Kläranlagen

Bei den KKA sind für 19 von 90 Messwert-Paaren aus Schwebstoff und Klärschlamm Aussagen zum Verhältnis der Chlorphenol-Konzentrationen möglich (Tab. 7.4.2).

**Tab. 7.4.2: Chlorphenole 2002 – Zusammengefasster Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm für 10 Parameter aus neun KKA (90 Messwertvergleiche)**

| KKA                     | Schwebstoffkonz. >Schlammkonz. | Schlammkonz. >Schwebstoffkonz. | Konzentrationen gleich | Konzentrationen <BG/nicht auswertbar |
|-------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| Fulda                   | 2                              | -                              | -                      | 8                                    |
| Limburg                 | 2                              | -                              | -                      | 8                                    |
| Sindlingen <sup>1</sup> | 1                              | -                              | -                      | 9                                    |
| Kassel                  | 2                              | 1                              | -                      | 7                                    |
| Gießen                  | 3                              | 1                              | -                      | 6                                    |
| Niederrad <sup>1</sup>  | 2                              | -                              | -                      | 8                                    |
| Wiesbaden               | 3                              | -                              | -                      | 7                                    |
| Hanau                   | 1                              | -                              | -                      | 8                                    |
| Darmstadt               | 1                              | -                              | -                      | 9                                    |
| Summe/Anteil            | 17 (19%)                       | 2 (2%)                         | -                      | 71 (79%)                             |

<sup>1</sup> Rohschlamm

**Übersicht 7.4.1: Chlorphenole 2002 – Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm nach Parametern bei neun kommunalen Kläranlagen**

| Parameter                | Fulda | Limburg | Sindlingen <sup>1</sup> | Kassel | Gießen | Niederrad <sup>1</sup> | Wiesbaden | Hanau | Darmstadt |
|--------------------------|-------|---------|-------------------------|--------|--------|------------------------|-----------|-------|-----------|
| 2,3,4-Trichlorphenol     |       |         |                         |        |        |                        |           |       |           |
| 2,3,5-Trichlorphenol     |       |         |                         |        |        |                        |           |       |           |
| 2,3,6-Trichlorphenol     |       |         |                         |        |        |                        |           |       |           |
| 2,4,5-Trichlorphenol     |       |         |                         |        |        |                        |           |       |           |
| 2,4,6-Trichlorphenol     | X     | X       |                         | X      | X      | X                      | X         | ?     |           |
| 3,4,5-Trichlorphenol     |       |         |                         | S      | S      |                        | ?         |       |           |
| 2,3,4,5-Tetrachlorphenol |       |         |                         |        |        |                        |           |       |           |
| 2,3,4,6-Tetrachlorphenol |       |         |                         |        | X      | ?                      | X         | ?     |           |
| 2,3,5,6-Tetrachlorphenol |       |         |                         |        |        |                        |           |       |           |
| Pentachlorphenol         | X     | X       | X                       | X      | X      | X                      | X         | X     | X         |

<sup>1</sup> Rohschlamm

X: Schwebstoffkonzentration >Schlammkonzentration; S: Schlammkonzentration >Schwebstoffkonzentration; ? unklar (ein positiver Wert steht einem Wert <BG gegenüber, wobei die BG größer ist als der positive Wert). Leere Felder: Konzentrationen <BG.

Grau unterlegt: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff überdurchschnittlich hoch (≥50 µg/kg TS).

In 17 der 19 Fälle ist die Chlorphenol-Konzentration im Schwebstoff größer als im Klärschlamm. Dies betrifft, wie Übers. 7.4.1 erkennen lässt, im wesentlichen 2,4,6-Trichlorphenol und Pentachlorphenol, die in fast allen KKA im Schwebstoff stärker angereichert sind als im Klärschlamm. Dies gilt in zwei Fällen auch für 2,3,4,6-Tetrachlorphenol. Bei allen anderen Parametern lagen die Werte unterhalb der BG (oder waren – 3,4,5-Trichlorphenol – im Schlamm stärker angereichert).

2003 (vgl. Tab. 7.4.3 und Übersicht 7.4.2) zeigt sich fast das gleiche Bild.

19 Prozent der Messwertpaare liegen oberhalb der BG und sind auswertbar; in allen Fällen ist die Chlorphenol-Konzentration im Schwebstoff größer als im Klärschlamm. Dies gilt insbesondere für 2,4,6-Trichlorphenol und Pentachlorphenol. Beide Parameter sind in fast allen KKA im Schwebstoff stärker vertreten als im Klärschlamm. Zwei mal betrifft dies auch 2,3,4,6-Tetrachlorphenol.

**Tab. 7.4.3: Chlorphenole 2003 – Zusammengefasster Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm für 10 Parameter aus acht KKA (80 Messwertvergleiche)**

| KKA                     | Schwebstoffkonz. >Schlammkonz. | Schlammkonz. >Schwebstoffkonz. | Konzentrationen gleich | Konzentrationen <BG/nicht auswertbar |
|-------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| Fulda                   | 2                              | -                              | -                      | 8                                    |
| Limburg                 | 3                              | -                              | -                      | 7                                    |
| Sindlingen <sup>1</sup> | 1                              | -                              | -                      | 9                                    |
| Kassel                  | 1                              | -                              | -                      | 9                                    |
| Gießen                  | 3                              | -                              | -                      | 7                                    |
| Niederrad <sup>1</sup>  | 3                              | -                              | -                      | 7                                    |
| Wiesbaden               |                                |                                |                        | 10                                   |
| Hanau                   | k.A.                           | k.A.                           | k.A.                   | k.A.                                 |
| Darmstadt               | 2                              | -                              | -                      | 8                                    |
| Summe/Anteil            | 15 (19%)                       | -                              | -                      | 65 (81%)                             |

<sup>1</sup> Rohschlamm; KKA Hanau: wegen fehlender Schwebstoffwerte kein Vergleich möglich.

**Übersicht 7.4.2: Chlorphenole 2003 – Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm nach Parametern bei neun kommunalen Kläranlagen**

| Parameter                | Fulda | Limburg | Sindlingen <sup>1</sup> | Kassel | Gießen | Niederrad <sup>1</sup> | Wiesbaden | Hanau | Darmstadt |
|--------------------------|-------|---------|-------------------------|--------|--------|------------------------|-----------|-------|-----------|
| 2,3,4-Trichlorphenol     |       |         |                         |        |        |                        |           | k.A.  |           |
| 2,3,5-Trichlorphenol     |       |         |                         |        |        |                        |           | k.A.  |           |
| 2,3,6-Trichlorphenol     |       |         |                         |        |        |                        |           | k.A.  |           |
| 2,4,5-Trichlorphenol     |       |         |                         |        |        |                        |           | k.A.  |           |
| 2,4,6-Trichlorphenol     | X     | X       | ?                       | ?      | X      | X                      | ?         | k.A.  | X         |
| 3,4,5-Trichlorphenol     |       | X       |                         |        | ?      |                        | ?         | k.A.  |           |
| 2,3,4,5-Tetrachlorphenol |       |         |                         |        |        |                        |           | k.A.  |           |
| 2,3,4,6-Tetrachlorphenol |       |         |                         |        | X      | X                      |           | k.A.  |           |
| 2,3,5,6-Tetrachlorphenol |       |         |                         |        |        |                        |           | k.A.  |           |
| Pentachlorphenol         | X     | X       | X                       | X      | X      | X                      | ?         | k.A.  | X         |

<sup>1</sup> Rohschlamm; X: Schwebstoffkonzentration >Schlammkonzentration; S: Schlammkonzentration >Schwebstoffkonzentration; ?: unklar (ein positiver Wert steht einem Wert <BG gegenüber, wobei die BG größer ist als der positive Wert). Leere Felder: Konzentrationen <BG. Grau unterlegt: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff überdurchschnittlich hoch ( $\geq 50 \mu\text{g}/\text{kg TS}$ ).

Erhöhte Chlorphenol-Konzentrationen im Schwebstoff (Werte  $\geq 50$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  TS) treten meist bei Pentachlorphenol und bei 2,4,6-Trichlorphenol auf und sind 2002 häufiger als 2003 (vgl. Übers. 7.4.1 und 7.4.2). Keine der KKA ist in beiden Jahren besonders auffällig.

Die Konzentrationsunterschiede Schwebstoff/Klärschlamm sind in beiden Jahren jedoch nicht sehr ausgeprägt (Tab. 7.4.4). Bei 2,4,6-Trichlorphenol stehen Schlammgehalten von  $<20$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  TS Konzentrationen im Schwebstoff von 22-82  $\mu\text{g}/\text{kg}$  TS, bei 2,3,4,6-Tetrachlorphenol Schwebstoffgehalte von 14-31  $\mu\text{g}/\text{kg}$  TS gegenüber (Faktor 1-4). Bei Pentachlorphenol betragen die Schlammgehalte  $<20$ -58  $\mu\text{g}/\text{kg}$  TS und die Schwebstoffgehalte i.d.R. unter 100  $\mu\text{g}/\text{kg}$  TS. Bei zwei KKA liegen sie mit 146 bzw. 554  $\mu\text{g}/\text{kg}$  TS deutlich darüber (Frankfurt/M.-Niederrad und Gießen).

**Tab. 7.4.4: Konzentrationsdifferenzen Schwebstoff/Klärschlamm bei einigen Chlorphenolen 2002/2003 aus kommunalen Kläranlagen ( $\mu\text{g}/\text{kg}$  TS)**

| Parameter                | Konzentration 2002 |            | Konzentration 2003 |            |
|--------------------------|--------------------|------------|--------------------|------------|
|                          | im Schwebstoff     | im Schlamm | im Schwebstoff     | im Schlamm |
| 2,4,6-Trichlorbenzol     | 22-56,5            | $<20$      | 7-82               | $<20$      |
| 3,4,5-Trichlorbenzol     |                    |            | 92                 | 39         |
| 2,3,4,6-Tetrachlorbenzol | 14-23              | $<20$      | 25-31              | $<20$      |
| Pentachlorbenzol         | 62-554             | $<20$ -58  | 15-146             | $<20$ -56  |

#### 4.3 Industrielle Kläranlagen

Die Angaben zu den Chlorphenol-Konzentrationen im Klärschlamm und Schwebstoff aus industriellen Kläranlagen für 2002 enthalten Tab. 7.4.5 und Übersicht 7.4.3.

**Tab. 7.4.5: Chlorphenole 2002 – Zusammengefasster Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm für 10 Parameter aus fünf IKA (50 Messwertvergleiche)**

| IKA          | Schwebstoffkonz. >Schlammkonz. | Schlammkonz. >Schwebstoffkonz. | Konzentrationen gleich | Konzentrationen <BG/nicht auswertbar |
|--------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| I13          | 6                              | 2                              | -                      | 2                                    |
| I12          | 4                              | 4                              | -                      | 2                                    |
| I11          | 8                              | 1                              | -                      | 1                                    |
| I41          | 1                              | -                              | -                      | 9                                    |
| I21          | 1                              | 6                              | -                      | 3                                    |
| Summe/Anteil | 20 (40,0%)                     | 13 (26,0%)                     | -                      | 17 (34,0%)                           |

Zwei Drittel der Werte (33 Fälle) liegen oberhalb der BG. Bei 20 Fällen ist die Chlorphenol-Konzentration im Schwebstoff größer als im Klärschlamm, wobei dies für fast alle Chlorphenol-Typen gilt (insbesondere für 2,4,6-Trichlorphenol, bei vier von fünf IKA); in 13 Fällen ist die Chlorphenol-Konzentration im Klärschlamm größer.

Allein bei der IKA I21 ist der Chlorphenolgehalt im Klärschlamm fast immer größer als im Schwebstoff. Bei I11, I13 und I12 dominiert dagegen meist der Schwebstoffgehalt.

**Übersicht 7.4.3: Chlorphenole 2002 – Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm nach Parametern bei fünf IKA**

| Parameter                | I13 | I12 | I11 | I41 | I21 |
|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 2,3,4-Trichlorphenol     | ?   | S   | ?   |     | S   |
| 2,3,5-Trichlorphenol     | S   | ?   | X   |     | S   |
| 2,3,6-Trichlorphenol     | X   | S   | X   |     |     |
| 2,4,5-Trichlorphenol     | X   | X   | X   |     | S   |
| 2,4,6-Trichlorphenol     | X   | X   | X   | X   | S   |
| 3,4,5-Trichlorphenol     |     | S   | X   |     |     |
| 2,3,4,5-Tetrachlorphenol | X   | ?   | X   |     | S   |
| 2,3,4,6-Tetrachlorphenol | X   | X   | X   |     | S   |
| 2,3,5,6-Tetrachlorphenol | S   | S   | X   |     |     |
| Pentachlorphenol         | XX  | X   | S   |     | X   |

X: Schwebstoffkonzentration >Schlammkonzentration; XX: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff übersteigt die Schadstoffkonzentration im Schlamm um mehr als das Zehnfache; S: Schlammkonzentration >Schwebstoffkonzentration; ?: unklar (ein positiver Wert steht einem Wert <BG gegenüber, wobei die BG größer ist als der positive Wert). Leere Felder: Konzentrationen <BG. Grau unterlegt: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff überdurchschnittlich hoch ( $\geq 100 \mu\text{g/kg TS}$ ).

Für 2003 liegen nur Angaben zu zwei IKA vor (I13 und I21; vgl. Tab. 7.4.6 und Übersicht 7.4.4).

**Tab. 7.4.6: Chlorphenole 2003 – Zusammengefasster Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm für 10 Parameter aus zwei IKA (20 Messwertvergleiche)**

| IKA          | Schwebstoffkonz. >Schlammkonz. | Schlammkonz. >Schwebstoffkonz. | Konzentrationen gleich | Konzentrationen <BG |
|--------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------|---------------------|
| I13          | 5                              | 3                              | -                      | 2                   |
| I21          | -                              | 2                              | -                      | 8                   |
| Summe/Anteil | 5 (25%)                        | 5 (25%)                        | -                      | 10 (50%)            |

Bei der Hälfte der 2003 auswertbaren 10 Fälle dominiert die Chlorphenol-Konzentration im Schwebstoff, bei der anderen Hälfte im Klärschlamm. bei I21, wo im Vorjahr bis auf Pentachlorphenol die Chlorphenol-Konzentrationen im Schlamm stets größer als im Schwebstoff waren, treten 2003 keine gegenüber dem Schlamm erhöhten Schwebstoffwerte auf. Auch bei I13 sind die Verhältnisse ähnlich wie 2002: bei fünf Parametern ist die Konzentration im Schwebstoff, bei drei im Schlamm größer (Vorjahr: 6:2).

Überdurchschnittlich hohe Chlorphenolgehalte im Schwebstoff ( $\geq 100 \mu\text{g/kg TS}$ ) werden in beiden Jahren bei I13 für 2,3,4,6- und 2,3,5,6-Tetrachlorphenol sowie für Pentachlorphenol registriert; bei I11 außerdem für 2,4,6-Trichlorphenol (Übers. 7.4.4, hervorgehoben).

Die Konzentrationsdifferenzen sind bei den industriellen Kläranlagen ausgeprägter als bei den kommunalen Kläranlagen. Dabei sind auch die Unterschiede zwischen den IKAs größer (vgl. Tab. 7.4.7):

**Übersicht 7.4.4: Chlorphenole 2003 – Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm nach Parametern für zwei IKA<sup>1</sup>**

| Parameter                | I13 | I11 | I21 |
|--------------------------|-----|-----|-----|
| 2,3,4-Trichlorphenol     |     |     |     |
| 2,3,5-Trichlorphenol     | S   |     |     |
| 2,3,6-Trichlorphenol     | S   |     |     |
| 2,4,5-Trichlorphenol     | X   |     | S   |
| 2,4,6-Trichlorphenol     | S   |     | S   |
| 3,4,5-Trichlorphenol     |     |     |     |
| 2,3,4,5-Tetrachlorphenol | X   |     |     |
| 2,3,4,6-Tetrachlorphenol | X   |     |     |
| 2,3,5,6-Tetrachlorphenol | X   |     |     |
| Pentachlorphenol         | X   |     |     |

<sup>1</sup> einschl. I11 wg. erhöhter CP-Gehalte im Schwebstoff, ohne Konzentrationsvergleich, da die Schlammwerte fehlen. X: Schwebstoffkonzentration >Schlammkonzentration; S: Schlammkonzentration >Schwebstoffkonzentration; Leere Felder: Konzentrationen <BG. Grau unterlegt: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff überdurchschnittlich hoch ( $\geq 100 \mu\text{g}/\text{kg TS}$ ).

Die Chlorphenol-Konzentration beträgt bei den 2002 nachweisbaren Fällen im Schwebstoff im Verhältnis zum Schlamm überschlagsmäßig

- bei I12 das >1-2fache;
- bei I41 und I21 das 3fache,
- bei I11 das >1-7fache,
- bei I13 das 2-7fache bzw. (Pentachlorphenol) das 15fache.

2003 beträgt die Relation bei I13 das >1-13fache bzw. (Pentachlorphenol) das 21fache.

**Tab. 7.4.7: Konzentrationsdifferenzen Schwebstoff/Klärschlamm bei einigen Chlorphenolen 2002/2003 aus industriellen Kläranlagen ( $\mu\text{g}/\text{kg TS}$ )**

| Parameter                | I13 2002 | I13 2003 | I12 2002        | I11 2002 | I41 2002 | I21 2002 |
|--------------------------|----------|----------|-----------------|----------|----------|----------|
| 2,3,5-Trichlorbenzol     |          |          |                 | 54:<20   |          |          |
| 2,3,6-Trichlorbenzol     | 86:37    |          |                 | 38:<20   |          |          |
| 2,4,5-Trichlorbenzol     | 34:<20   | 24:<20   | 1.170:<br>1.090 | 212:40   |          |          |
| 2,4,6-Trichlorbenzol     | 87:23    |          | 149:77          | 273:36   | 65:<20   |          |
| 3,4,5-Trichlorbenzol     |          |          |                 | 58:<20   |          |          |
| 2,3,4,5-Tetrachlorbenzol | 27:20    | 77:<20   |                 | 30:<20   |          |          |
| 2,3,4,6-Tetrachlorbenzol | 142:<20  | 275:532  | 100:93          | 150:27   |          |          |
| 2,3,5,6-Tetrachlorbenzol |          |          |                 | 181:73   |          |          |
| Pentachlorbenzol         | 507:33   | 432:<20  | 119:89          |          |          | 103:30   |

#### 4.4 Zusammenfassung Chlorphenole

Aussagen zum Konzentrationsverhältnis von Chlorphenolen im Schwebstoff und Klärschlamm sind bei den KKA 2002 und 2003 für ca. 20 Prozent der Fälle (Messwert-Paare), bei den IKA 2002 (5 IKA) für 66 Prozent, 2003 (2 IKA) für 50 Prozent der Fälle möglich. Bei den IKA sind die Chlorphenole in Schwebstoff und Klärschlamm häufiger oberhalb der BG nachweisbar.

Betrachtet man nur die in beiden Jahren beprobten KKA und IKA mit Chlorphenolgehalten im Feststoff oberhalb der BG, so ergeben sich für 2002/2003 folgende Schwebstoff/Schlamm-Verhältnisse:

Bei den KKA ist in den analysierbaren Fällen die Chlorphenol-Konzentration im Schwebstoff fast immer größer als im Klärschlamm. Bei den in beiden Jahren untersuchten IKA trifft dies auf die Hälfte der Fälle zu; bei den drei nur 2002 untersuchten IKA ist ebenfalls die Chlorphenol-Konzentration im Schwebstoff meist größer als im Klärschlamm (IKA b in Tab. 7.4.8).

**Tab. 7.4.8: Chlorphenole 2002/2003 – Zusammengefasster Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm für kommunale und industrielle Kläranlagen**

|                    | 2002                     |                       |        | 2003                     |                       |        |
|--------------------|--------------------------|-----------------------|--------|--------------------------|-----------------------|--------|
|                    | Chlorphenolkonzentration |                       |        | Chlorphenolkonzentration |                       |        |
|                    | größer im Schwebstoff    | größer im Klärschlamm | gleich | größer im Schwebstoff    | größer im Klärschlamm | gleich |
| KKA                | 16 <sup>1</sup>          | 2                     | -      | 15                       | -                     | -      |
| IKA a <sup>2</sup> | 8                        | 8                     | -      | 5                        | 5                     | -      |
| IKA b <sup>3</sup> | 13                       | 5                     | -      | k.A.                     | k.A.                  | k.A.   |

<sup>1</sup> Nur die 2002 und 2003 beprobten KKA (ohne KKA Hanau, daher Differenz zu Tab. 7.4.2).

<sup>2</sup> Nur die 2002 und 2003 beprobten IKA I13 und I21 (ohne I11, I12, I41 und I31).

<sup>3</sup> Die nur 2002 beprobten IKA I12, I11 und I41.

Während keine der KKA hinsichtlich der Konzentrationsverhältnisse besonders auffällig ist, sind die Unterschiede bei den IKA ausgeprägter. Bei I21 und bei I41 sind gegenüber dem Klärschlamm größere Chlorphenol-Konzentrationen im Schwebstoff selten; bei den anderen IKA treten sie dagegen häufig auf, insbesondere bei I13 und I11.

Ein „Ranking“ der Parametern hinsichtlich ihrer Häufigkeit, mit der sie im Schwebstoff in größerer Konzentration als im Klärschlamm auftreten, lässt bei den KKA 2,4,6-Trichlorphenol und Pentachlorphenol hervortreten; dagegen sind bei den IKA bis auf 2,3,4-Trichlorphenol alle Parameter mehr oder weniger häufig vertreten.

### III.5 Stoffgruppe 05: Chlorpestizide

#### 5.1 Verfügbare Daten

Die im Rahmen der orientierenden Messungen 2002 im Schwebstoff und Klärschlamm von neun kommunalen und fünf industriellen Kläranlagen untersuchten fünfzehn Chlorpestizide konnten nur z.T. oberhalb der jeweiligen BG nachgewiesen werden, so dass auch nur zu einem Teil der Chlorpestizide Aussagen hinsichtlich der Konzentrationsverhältnisse in Schwebstoff und Klärschlamm gemacht werden können. Für die in die Untersuchung einbezogene sechste IKA (I31) fehlen die Schwebstoff-Werte, so dass kein Konzentrationsvergleich möglich ist.

Zusammengefasst sind bei den KKA mehr als 90 Prozent und bei den IKA rd. 85 Prozent der Messwerte <BG. Insgesamt liegen knapp 12 Prozent der Messwerte oberhalb der BG (vgl. Tab. 7.5.1).

Im einzelnen:

Hexachlorcyclohexan-Isomere (5 Parameter):

- Bei den KKA war nur einmal  $\alpha$ -HCH nachweisbar. Alle anderen Werte für HCH-Isomere in Schwebstoff und Klärschlamm lagen unter der BG.
- Bei zwei von fünf untersuchten IKA konnten sämtliche HCH-Isomere oberhalb der BG quantifiziert werden.

DDT-Familie (7 Parameter):

- Von den drei DDX-Verbindungen (je zwei Isomere) waren bei den KKA o,p-DDT und o,p-DDE oberhalb der BG nicht nachweisbar.
- Bei den IKA war allein o,p-DDE bei einem Betrieb in Schwebstoff und Klärschlamm nachweisbar (I13). Alle anderen Befunde lagen unterhalb der BG. (Zwar wurde p,p-DDE einmal im Klärschlamm bei I31 mit 5,7 µg/kg TS gefunden; wegen der fehlenden Schwebstoff-Werte für I31 ist jedoch kein Vergleich möglich.)
- Methoxychlor: bei KKA und IKA nicht nachweisbar.

**Tab. 7.5.1: Chlorpestizide – verfügbare Schwebstoff-/Klärschlamm-Messdaten aus Kläranlagen für Konzentrationsvergleiche 2002**

| Parameter             | KKA                |              |        | IKA            |               |        |
|-----------------------|--------------------|--------------|--------|----------------|---------------|--------|
|                       | Zahl der Messwerte |              |        |                |               |        |
|                       | <BG                | ≥BG          | Gesamt | <BG            | ≥BG           | Gesamt |
| HCH-Familie           | 89                 | 1            | 90     | 36             | 19            | 55     |
| DDT-Familie           | 92                 | 16           | 108    | 64             | 2             | 66     |
| Chlorierte Cyclodiene | 126                | -            | 126    | 70             | 7             | 77     |
| Bromocyclen           | 2                  | 16           | 18     | 7              | 4             | 11     |
| Summe und Anteil (%)  | 309<br>(90,4%)     | 33<br>(9,6%) | 342    | 177<br>(84,7%) | 32<br>(15,3%) | 209    |

Chlorierte Cyclodiene (7 Parameter):

- Drine: Sämtliche Werte für Aldrin, Dieldrin, Endrin und Isodrin bei KKA und IKA <BG.
- Endosulfane: Bei KKA nicht nachweisbar, bei zwei IKA in Schwebstoff und Klärschlamm nachweisbar.
- Heptachlor: Bei KKA und IKA nicht nachweisbar mit Ausnahme der IKA I12.

Bromocyclen: Bei KKA und bei zwei IKA nachweisbar.

Dichlorbenzonnitril war nicht analysiert worden.

### 5.2 Kommunale Kläranlagen

Übersicht 7.5.1 enthält die 27 von 144 Fällen (19 Prozent der Messwert-Paare), in denen das Konzentrationsverhältnis der Chlorpestizide in Schwebstoff und Klärschlamm der neun KKA bestimmbar war. Die Schwebstoffkonzentrationen bewegten sich bei diesen Fällen zwischen <BG und max. 37,8 µg/kg TS (p,p-DDE, KKA Sindlingen). In 20 Fällen ist die Konzentration im Schwebstoff, in 7 Fällen im Klärschlamm größer.

Die Konzentrationsdifferenzen zwischen Schwebstoff und Klärschlamm waren generell nicht sehr ausgeprägt und lagen stets unter 5:1. Sie betragen bei α-HCH >1:1, bei den DDX >1:1 bis max. 4:1 und bei Bromocyclen ebenfalls >1:1 bis max. 4:1. Für p,p-DDE wird in fast allen KKA (Ausnahmen: Niederrad und Wiesbaden) im Schwebstoff eine höhere Konzentration gemessen als im Schlamm; bei Bromocyclen ist das Verhältnis fast ausgeglichen. Bei allen anderen Parametern sind 1-3 der neun KKA betroffen. Bei den KKA Sindlingen und Darmstadt treten höhere Konzentrationen im Schwebstoff im Vergleich zum Klärschlamm am häufigsten auf (4 der 6 angeführten Parameter). Bei der KKA Sindlingen wurde am häufigsten (dreimal) die größte Konzentrationsdifferenz Schwebstoff/Klärschlamm gemessen.

**Übersicht 7.5.1: Chlorpestizide 2002<sup>1</sup> – Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm nach Parametern bei neun kommunalen Kläranlagen**

| Parameter   | Fulda | Limburg | Sindlingen <sup>2</sup> | Kassel | Gießen | Nieder-rad <sup>2</sup> | Wiesbaden | Hanau | Darmstadt |
|-------------|-------|---------|-------------------------|--------|--------|-------------------------|-----------|-------|-----------|
| α-HCH       |       |         |                         |        |        | X                       |           |       |           |
| p,p-DDT     |       |         |                         |        | S      |                         | X         | X     |           |
| p,p-DDD     |       |         | X                       |        | X      |                         |           |       | X         |
| o,p-DDD     |       |         | X                       |        |        |                         |           |       | X         |
| p,p-DDE     | X     | X       | X                       | X      | X      | S                       | S         | X     | X         |
| Bromocyclen | S     | S       | X                       | X      | X      | S                       | S         | X     | X         |

<sup>1</sup> Ohne β-, γ-, δ- und ε-HCH; o,p-DDT und o,p-DDE; Methoxychlor, Drine, Endosulfane und Heptachlor, bei denen sämtliche Werte unterhalb der BG lagen.

<sup>2</sup> Rohschlamm

X: Schwebstoffkonzentration >Schlammkonzentration; S: Schlammkonzentration >Schwebstoffkonzentration; Leere Felder: Konzentrationen <BG.

### 5.3 Industrielle Kläranlagen

Bei den industriellen Kläranlagen sind insgesamt 17 von 100 Messwert-Paaren auswertbar (17 Prozent; vgl. Übersicht 7.5.2). Gegenüber dem Klärschlamm erhöhte Chlorpestizidkonzentrationen im Schwebstoff werden nicht allzu häufig beobachtet (fünf Fälle). Es dominiert in den analysierbaren Fällen die Anreicherung im Klärschlamm (12 Fälle).

**Übersicht 7.5.2: Chlorpestizide 2002<sup>1</sup> – Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm nach Parametern bei fünf IKA**

| Parameter    | I13 | I12 | I11 | I41 | I21. |
|--------------|-----|-----|-----|-----|------|
| α-HCH        |     | S   |     |     | S    |
| β-HCH        |     | X   |     |     | S    |
| γ-HCH        |     | X   |     |     | S    |
| δ-HCH        |     | S   |     |     | S    |
| ε-HCH        |     | X   |     |     | S    |
| o,p-DDE      | X   |     |     |     |      |
| α-Endosulfan |     | S   | S   |     |      |
| β-Endosulfan |     | S   | S   |     |      |
| Heptachlor   |     | ?   |     |     |      |
| Bromocyclen  |     | S   | X   |     |      |

<sup>1</sup> Ohne DDT, DDD, p,p-DDE, Methoxychlor und Drine, bei denen sämtliche Werte unterhalb der BG lagen. X: Schwebstoffkonzentration >Schlammkonzentration; S: Schlammkonzentration >Schwebstoffkonzentration; ?: unklar (ein positiver Wert steht einem Wert <BG gegenüber, wobei die BG größer ist als der positive Wert). Leere Felder: Konzentrationen <BG. Grau unterlegt: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff überdurchschnittlich hoch (≥100 µg/kg TS).

Die Konzentrationsdifferenzen bei den Kläranlagen mit höherem Chlorpestizid-Gehalt im Schwebstoff als im Klärschlamm ist mit >1:1 generell sehr gering und nur in einem Fall (Bromocyclen, IKA I11: 4,3:1,1 µg/kg TS) bei einem absolut niedrigen Wert etwas höher. Die Anreicherung im Klärschlamm kann dagegen ausgeprägter sein (sie reicht bei der IKA I21 von 1:2 bis 1:13 für δ-HCH, wobei für δ-HCH absolut hohe Werte von 3,2 mg/kg TS im Klärschlamm und 246 µg/kg TS im Schwebstoff gemessen wurden).

#### 5.4 Zusammenfassung Chlorpestizide

Aussagen zum Konzentrationsverhältnis von Chlorpestiziden in Schwebstoff und Klärschlamm sind bei den KKA für 19 Prozent, bei den IKA für 17 Prozent der Messwert-Paare möglich.

Bei den auswertbaren KKA ist die Chlorpestizid-Konzentration im Schwebstoff meist größer als im Klärschlamm; bei den IKA dagegen meist im Klärschlamm größer als im Schwebstoff (vgl. Tab. 7.5.2):

**Tab. 7.5.2: Chlorpestizide 2002 – Zusammengefasster Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm für kommunale und industrielle Kläranlagen**

|                  | Konzentration der Chlorpestizide |                       |
|------------------|----------------------------------|-----------------------|
|                  | größer im Schwebstoff            | größer im Klärschlamm |
| KKA <sup>1</sup> | 20                               | 7                     |
| IKA <sup>2</sup> | 5                                | 12                    |

<sup>1</sup> 9 KKA, 6 Parameter (vgl. Übers. 7.5.1); <sup>2</sup> 5 IKA, 10 Parameter (vgl. Übers. 7.5.2).

Bei den KKA stechen, wie erwähnt, Sindlingen und Darmstadt etwas hervor. Bei den IKA wird ein Chlorpestizid-Überschuss im Schwebstoff fast nur bei I12 registriert. Bei der IKA I21 treten, wie auch bei I12, z.T. überdurchschnittlich hohe Chlorpestizidkonzentrationen im Schwebstoff auf, doch findet bei diesem Betrieb eine starke Anreicherung der Chlorpestizide im Klärschlamm statt.

Die Konzentrationsdifferenzen Schwebstoff/Klärschlamm sind allgemein nicht sehr ausgeprägt und bewegen sich zwischen >1 und <5.

### III.6 Stoffgruppe 07: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

#### 6.1 Verfügbare Daten

Bei den KKA liegen für 2002 Messwerte zur Summe der 16 EPA-PAK für neun Kläranlagen vor. Die Schlammwerte für die KKA Wiesbaden fehlen. 2003 wurden ebenfalls neun KKA untersucht, wobei in diesem Jahr für die KKA Hanau keine Schwebstoffwerte vorliegen. Damit sind in beiden Jahren Konzentrationsvergleiche für 8 KKA möglich, womit Angaben zu 7 KKA (ohne Wiesbaden und Hanau) für beide Jahren verfügbar sind.

Bei den IKA liegen für 2002 und 2003 Vergleichswerte aus 6 Kläranlagen vor.

#### 6.2 Kommunale Kläranlagen

In beiden Jahren sind jeweils 8 Messwert-Paare auswertbar. Tab. 7.6.1 lässt erkennen, dass – mit Ausnahme der KKA Gießen 2003 – bei den KKA ausnahmslos Anreicherung der PAK im Klärschlamm erfolgt. Die niedrigsten PAK-Konzentrationen im Schwebstoff im Vergleich zum Klärschlamm wurden in beiden Jahren bei den KKA Frankfurt/M.-Sindlingen und Niederrad gemessen, also den KKA mit nicht ausgefaultem Schlamm. Der PAK-Gehalt im Schwebstoff macht hier zwischen 8 und 14 Prozent des PAK-Gehalts im Klärschlamm aus. Bei den anderen KKA bewegt sich der PAK-Gehalt im Schwebstoff zwischen 14 und 75 Prozent der Konzentration im Schlamm.

Einzigste Ausnahme war 2003 die KKA Gießen, die mit 9,4 mg/kg TS den höchsten absoluten PAK-Gehalt im Schwebstoff aufwies, womit die PAK-Konzentration im Klärschlamm von 7,1 mg/kg TS überboten wurde.

**Tab. 7.6.1: Summe der 16 EPA-PAK 2002/2003 – Konzentrationsvergleich Schwebstoff/ Klärschlamm bei neun kommunalen Kläranlagen**

| Parameter               | 2002                      |                                |  | 2003                      |                                |  |
|-------------------------|---------------------------|--------------------------------|--|---------------------------|--------------------------------|--|
|                         | Schwebstoff<br>(µg/kg TS) | Klär-<br>schlamm<br>(µg/kg TS) | Schweb-<br>stoff/Klär-<br>schlamm<br>(%) | Schwebstoff<br>(µg/kg TS) | Klär-<br>schlamm<br>(µg/kg TS) | Schweb-<br>stoff/Klär-<br>schlamm<br>(%) |
| Fulda                   | 2.440                     | 4.010                          | 60,8                                     | 3.222                     | 4.960                          | 65,0                                     |
| Limburg                 | 2.420                     | 8.530                          | 28,4                                     | 4.500                     | 6.000                          | 75,0                                     |
| Sindlingen <sup>1</sup> | 382                       | 3.220                          | 11,9                                     | 319                       | 3.260                          | 9,8                                      |
| Kassel                  | 1.210                     | 5.100                          | 23,7                                     | 763                       | 4.130                          | 18,5                                     |
| Gießen                  | 2.170                     | 7.920                          | 27,4                                     | 9.424                     | 7.060                          | <b>133,5</b>                             |
| Niederrad <sup>1</sup>  | 648                       | 4.550                          | 14,2                                     | 356                       | 4.470                          | 8,0                                      |
| Wiesbaden               | 1.930                     | k.A.                           | -  | 774                       | 5.470                          | 14,1                                     |
| Hanau                   | 2.970                     | 5.675 <sup>2</sup>             | 52,3                                     | k.A.                      | 4.010                          | -  |
| Darmstadt               | 3.460                     | 7.885 <sup>2</sup>             | 43,9                                     | 3.685                     | 7.850                          | 46,9                                     |

<sup>1</sup> Rohschlamm; <sup>2</sup> Mittelwert aus zwei Messwerten.

### 6.3 Industrielle Kläranlagen

Bei den IKA sind in beiden Jahren jeweils 6 Messwert-Paare auswertbar.

**Tab. 7.6.2: Summe der 16 EPA-PAK 2002/2003 – Konzentrationsvergleich Schwebstoff/ Klärschlamm bei sechs industriellen Kläranlagen**

| Parameter | 2002                      |                                |  | 2003                      |                                |  |
|-----------|---------------------------|--------------------------------|--|---------------------------|--------------------------------|--|
|           | Schwebstoff<br>(µg/kg TS) | Klär-<br>schlamm<br>(µg/kg TS) | Schweb-<br>stoff/Klär-<br>schlamm<br>(%) | Schwebstoff<br>(µg/kg TS) | Klär-<br>schlamm<br>(µg/kg TS) | Schweb-<br>stoff/Klär-<br>schlamm<br>(%) |
| I13       | 463                       | 1.810                          | 25,6                                     | 336                       | 263                            | 127,8                                    |
| I12       | 113.000                   | 1.680.000                      | 6,7                                      | 86.000                    | 209.000                        | 41,1                                     |
| I11       | 963.000                   | 4.390                          | 21.936,2                                 | 18.700                    | 2.482                          | 753,4                                    |
| I41       | 129                       | 48,5                           | 266,0                                    | 86                        | 59                             | 484,7                                    |
| I31       | 4.920                     | 4.290                          | 114,7                                    | 7.770                     | 1.430                          | 543,4                                    |
| I21       | 628                       | 1.805                          | 34,8                                     | 1.100                     | 2.330                          | 47,2                                     |

Im Gegensatz zu den KKA sind die Konzentrationsverhältnisse bei den IKA nicht einheitlich. Bei drei IKA (I11, I31 und I41) treten in beiden Jahren z.T. große Konzentrationsüberschüsse im Schwebstoff auf (vgl. Tab. 7.6.2). Sie betragen i.d.R. das >1 – 7,5fache, in einem Fall (I11 2002) das 220fache.

Bei zwei IKA (I12 und I21) findet in beiden Jahren Anreicherung im Schlamm statt, wogegen der Schwebstoff nur eine PAK-Konzentration von 7-47 Prozent des Klärschlammes aufweist. Bei I13 ist die PAK-Konzentration 2002 im Schwebstoff, 2003 im Klärschlamm größer.

### 6.4 Zusammenfassung PAK

Aussagen zum Konzentrationsverhältnis der Konzentration der 16 EPA-PAK in Schwebstoff und Klärschlamm sind 2002 und 2003 für jeweils acht KKA (davon sieben in beiden Jahren) und für sechs IKA möglich. Alle 28 Messwert-Paare sind auswertbar.

Bei den KKA ist die PAK-Konzentration im Schwebstoff stets kleiner als im Klärschlamm (Ausnahme: KKA Gießen, 2003); bei den IKA dagegen in 7 von 12 Fällen im Schwebstoff größer als im Klärschlamm (vgl. Tab. 7.6.3):

| <b>Tab. 7.6.3: 16 EPA-PAK 2002/2003 – Zusammengefasster Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm für kommunale und industrielle Kläranlagen</b> |                              |                       |                       |                       |
|--|------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|  | 2002                         |                       | 2003                  |                       |
|  | Konzentration der 16 EPA-PAK |                       |                       |                       |
|  | größer im Schwebstoff        | größer im Klärschlamm | größer im Schwebstoff | größer im Klärschlamm |
| KKA  | -                            | 8                     | 1                     | 7                     |
| IKA  | 3                            | 3                     | 4                     | 2                     |

Bei den IKA weisen I11, I31 und I41 regelmäßig einen Konzentrationsüberschuss im Schwebstoff auf.

Die Konzentrationsdifferenzen Schwebstoff/Klärschlamm sind allgemein nicht sehr ausgeprägt. Ausnahmen stellen einerseits die beiden KKA Frankfurt/M.-Sindlingen und –Niederrad mit geringen Schwebstoffgehalten und andererseits die IKA I11 mit hohen PAK-Konzentrationen im Schwebstoff (7,5- bis 220faches der Schlammkonzentration) dar.

### **III.7 Stoffgruppe 08: Zinnorganika**

#### *7.1 Verfügbare Daten*

2002 und 2003 wurde die Konzentration von acht Zinnorganika im Schwebstoff und Klärschlamm von neun kommunalen und sechs industriellen Kläranlagen untersucht. Da für 2003 Daten zum Schwebstoff bei der KKA Hanau fehlen, können für dieses Jahr nur für acht KKA Vergleiche angestellt werden. Bei den IKA sind es jeweils nur fünf Kläranlagen, da 2002 für Schwebstoff bei I31 und 2003 für Klärschlamm bei I11 keine Daten verfügbar sind. Für vier IKA sind Vergleiche über beide Jahre möglich.

Bei den KKA lagen in beiden Jahren rd. 65-66 Prozent der Messwerte oberhalb der Bestimmungsgrenze; bei den IKA war der Wert mit 56-57 Prozent etwas geringer.

| <b>Tab. 7.7.1: Zinnorganika – verfügbare Schwebstoff-/Klärschlamm-Messdaten aus Kläranlagen für Konzentrationsvergleiche 2002/2003</b> |            |            |            |            |
|--|------------|------------|------------|------------|
|  | KKA        |            | IKA        |            |
|  | 2002       | 2003       | 2002       | 2003       |
| Zahl der Messwerte   | 144        | 136        | 88         | 88         |
| Messwerte <BG (%)  | 49 (34,0%) | 48 (35,3%) | 38 (43,2%) | 39 (44,3%) |
| Messwerte ≥BG (%)  | 95 (66,0%) | 88 (64,7%) | 50 (56,8%) | 49 (55,7%) |

Insgesamt sind bei den KKA von 136 Messwert-Paaren 92 auswertbar (67,6 Prozent); bei den IKA sind es 47 von 80 (58,8 Prozent). In den übrigen Fällen sind jeweils beide Werte <BG oder aus anderen Gründen nicht auswertbar.

#### *7.2 Kommunale Kläranlagen*

Bei den KKA sind 2002 50 von 72 Messwert-Paaren auswertbar; 31 Prozent lagen unterhalb der BG (vgl. Tab. 7.7.2).

**Tab. 7.7.2: Zinnorganika 2002 – Zusammengefasster Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm für 8 Parameter aus neun KKA (72 Messwertvergleiche)**

| KKA                     | Schwebstoffkonz.<br>>Schlammkonz. | Schlammkonz.<br>>Schwebstoffkonz. | Konzentrationen<br>gleich | Konzentrationen<br><BG/nicht auswertbar |
|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|---|
| Fulda                   | 4                                 | 1                                 | -                         | 3                                       |
| Limburg                 | 4                                 | 2                                 | -                         | 2                                       |
| Sindlingen <sup>1</sup> | 1                                 | 4                                 | 1                         | 2                                       |
| Kassel                  | 5                                 | -                                 | -                         | 3                                       |
| Gießen                  | 6                                 | -                                 | -                         | 2                                       |
| Niederrad <sup>1</sup>  | -                                 | 5                                 | -                         | 3                                       |
| Wiesbaden               | 6                                 | -                                 | -                         | 2                                       |
| Hanau                   | 6                                 | -                                 | -                         | 2                                       |
| Darmstadt               | 5                                 | -                                 | -                         | 3                                       |
| Summe/Anteil            | 37 (51,4%)                        | 12 (16,7%)                        | 1 (1,4%)                  | 22 (30,6%)                              |

<sup>1</sup> Rohschlamm

- Bei rund der Hälfte der Fälle war die Konzentration an Zinnorganika im Schwebstoff größer als im Klärschlamm, in 17 Prozent der Fälle die Konzentration im Schlamm größer als im Schwebstoff.
- Letzteres betrifft insbesondere die KKA Sindlingen und Niederrad, also jene mit nicht ausgefaultem Klärschlamm. Das Konzentrationsverhältnis Schwebstoff/Schlamm ist bei ihnen durchgängig am kleinsten. Wie Übers. 7.7.1 erkennen lässt, gilt dies bei diesen beiden KKA fast für alle Parameter, die oberhalb der BG nachweisbar waren (in Sindlingen nicht für TBT und TPT).
- Ein Konzentrationsüberschuss im Klärschlamm wurde bei den anderen KKA sonst kaum beobachtet.
- Die Zinnorganika-Konzentrationen im Schwebstoff übersteigen jene im Schlamm i.d.R. bis zum Vierfachen, in einem Fall (TBT, KKA Fulda) um das 12,3fache. Keine der KKA ist hierbei besonders auffällig.

**Übersicht 7.7.1: Zinnorganika 2002 – Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm nach Parametern für neun KKA**

| Parameter         | Fulda | Limburg | Sindlingen <sup>1</sup> | Kassel | Gießen | Niederrad <sup>1</sup> | Wiesbaden | Hanau | Darmstadt |
|-------------------|-------|---------|-------------------------|--------|--------|------------------------|-----------|-------|-----------|
| Monobutylzinn     | X     | X       | S                       | X      | X      | S                      | X         | X     | X         |
| Dibutylzinn       | X     | S       | S                       | X      | X      | S                      | X         | X     | X         |
| Tributylzinn      | XX    | X       | X                       | X      | X      | S                      | X         | X     | X         |
| Tetrabutylzinn    |       |         |                         |        |        |                        |           |       |           |
| Triphenylzinn     |       | X       | gleich                  |        | X      |                        | X         | X     |           |
| Monooctylzinn     | X     | X       | S                       | X      | X      | S                      | X         | X     | X         |
| Diocetylzinn      | S     | S       | S                       | X      | X      | S                      | X         | X     | X         |
| Tricyclohexylzinn |       |         |                         |        |        |                        |           |       |           |

<sup>1</sup> Rohschlamm; X: Schwebstoffkonzentration >Schlammkonzentration; XX: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff übersteigt die Schadstoffkonzentration im Schlamm um mehr als das Zehnfache; S: Schlammkonzentration >Schwebstoffkonzentration; Leere Felder: Konzentrationen <BG. Grau unterlegt: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff  $\geq 100 \mu\text{g/kg TS}$ .

**Tab. 7.7.3: Zinnorganika 2003 – Zusammengefasster Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm für 8 Parameter aus acht KKA<sup>1</sup> (64 Messwertvergleiche)**

| KKA                     | Schwebstoffkonz.<br>>Schlammkonz. | Schlammkonz.<br>>Schwebstoffkonz. | Konzentrationen<br>gleich | Konzentrationen<br><BG/nicht auswertbar |
|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|---|
| Fulda                   | 2                                 | 3                                 | -                         | 3                                       |
| Limburg                 | 2                                 | 4                                 | -                         | 2                                       |
| Sindlingen <sup>1</sup> | 2                                 | 4                                 | -                         | 2                                       |
| Kassel                  | -                                 | 5                                 | -                         | 3                                       |
| Gießen                  | 3                                 | 2                                 | -                         | 3                                       |
| Niederrad <sup>1</sup>  | -                                 | 5                                 | -                         | 3                                       |
| Wiesbaden               | -                                 | 5                                 | -                         | 3                                       |
| Hanau                   | k.A.                              | k.A.                              | k.A.                      | k.A.                                    |
| Darmstadt               | 5                                 | -                                 | -                         | 3                                       |
| Summe/Anteil            | 14 (21,9%)                        | 28 (43,8%)                        | -                         | 22 (34,4%)                              |

<sup>1</sup> ohne KKA Hanau; <sup>2</sup> Rohschlamm

**Übersicht 7.7.2: Zinnorganika 2003 – Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm nach Parametern für neun KKA**

| Parameter         | Fulda | Limburg | Sindlingen <sup>1</sup> | Kassel | Gießen | Niederrad <sup>1</sup> | Wiesbaden | Hanau | Darmstadt |
|-------------------|-------|---------|-------------------------|--------|--------|------------------------|-----------|-------|-----------|
| Monobutylzinn     | S     | S       | S                       | S      | X      | S                      | S         | k.A.  | X         |
| Dibutylzinn       | S     | S       | S                       | S      | X      | S                      | S         | k.A.  | X         |
| Tributylzinn      | X     | X       | X                       | S      | X      | S                      | S         | k.A.  | X         |
| Tetrabutylzinn    |       |         |                         |        |        |                        |           | k.A.  |           |
| Triphenylzinn     |       | X       | X                       |        | ?      |                        |           | k.A.  |           |
| Monooctylzinn     | X     | S       | S                       | S      | S      | S                      | S         | k.A.  | X         |
| Diocetylzinn      | S     | S       | S                       | S      | S      | S                      | S         | k.A.  | X         |
| Tricyclohexylzinn |       |         |                         |        |        |                        |           | k.A.  |           |

<sup>1</sup> Rohschlamm

X: Schwebstoffkonzentration >Schlammkonzentration; S: Schlammkonzentration >Schwebstoffkonzentration; ? unklar (ein positiver Wert steht einem Wert <BG gegenüber, wobei die BG größer ist als der positive Wert). Leere Felder: Konzentrationen <BG.

Grau unterlegt: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff  $\geq 100 \mu\text{g/kg TS}$ .

Bei den für 2003 auswertbaren 64 Messwert-Paaren aus acht KKA (vgl. Tab. 7.7.3) fällt ein annähernd großer Anteil wie im Vorjahr unter die Bestimmungsgrenze (34 Prozent).

- Der Anteil der Fälle, bei denen die Zinnorganika-Konzentration im Schwebstoff größer als im Klärschlamm ist, ist 2003 mit 22 Prozent viel niedriger als im Vorjahr. In fast der Hälfte der Fälle ist die Konzentration im Schlamm größer (2002 waren dies nur 17 Prozent der Fälle).
- Bei den KKA Wiesbaden und Kassel haben sich die Verhältnisse völlig umgekehrt (2002: Dominanz im Schwebstoff, 2003: deutlicher Konzentrationsüberschuss im Klärschlamm).
- Die KKA Niederrad (Rohschlamm) weist 2003 i.d.R. das kleinste Konzentrationsverhältnis Schwebstoff/Klärschlamm auf, Sindlingen rangiert neben Kassel und Wiesbaden.
- Die Zinnorganika-Konzentrationen im Schwebstoff betragen maximal das 4,5fache jener im Klärschlamm, sind meist jedoch noch geringer. 2003 tritt der höchste Konzentrationsüberschuss im Schwebstoff fast stets bei der KKA Darmstadt auf.

- Höhere Zinnorganika-Konzentrationen im Schwebstoff ( $\geq 100 \mu\text{g/kg TS}$ ) werden in beiden Jahren fast durchgängig für Mono- und Dibutylzinn beobachtet.

### 7.3 Industrielle Kläranlagen

2002 sind von 40 Messwert-Paaren bei den fünf untersuchten IKA 23 auswertbar (57,5%), die übrigen fallen unter die BG.

- Bei drei Betrieben (I11, I12 und I21) ist die Konzentration an Zinnorganika im Schwebstoff regelmäßig größer als im Klärschlamm (vgl. Tab. 7.7.4 und Übers. 7.7.3). Es ist aber zu berücksichtigen, dass sich die absoluten Werte für die einzelnen IKA stark unterscheiden: Bei MBT weist Hoechst 2,4 mg/kg TS auf, dagegen I12 233  $\mu\text{g/kg TS}$  und I21 57  $\mu\text{g/kg TS}$ . Die Konzentration im Schwebstoff ist bei I12 um das 21fache, bei Hoechst um das 53fache und bei I21 um das 3,8fache größer als im Schlamm.
- Stark aus dem Rahmen fällt die IKA I11: Bei MBT übersteigt die Schwebstoffkonzentration diejenige im Schlamm um das 53fache, bei DBT um das 33fache, bei MOT um das 815fache und bei DOT um das 20fache.
- Bei I41 dominiert die Zinnorganika-Konzentration im Schlamm mit z.T. sehr hohen Gehalten im mg/kg TS-Bereich, wobei die Konzentrationen im Schwebstoff deutlich kleiner, aber ebenfalls sehr hoch sind (ähnliche Größenordnung wie bei I11).
- Bei I13 treten nur wenige (niedrige Werte) auf, meist liegen sie unterhalb der BG.

**Tab. 7.7.4: Zinnorganika 2002 – Zusammengefasster Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm für 8 Parameter aus fünf IKA (40 Messwertvergleiche)**

| IKA          | Schwebstoffkonz. >Schlammkonz. | Schlammkonz. >Schwebstoffkonz. | Konzentrationen gleich | Konzentrationen <BG/nicht auswertbar |
|--------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| I13          | 1                              | 1                              | -                      | 6                                    |
| I12          | 4                              | 1                              | -                      | 3                                    |
| I11          | 6                              | -                              | -                      | 2                                    |
| I41          | -                              | 5                              | -                      | 3                                    |
| I31          | k.A.                           | k.A.                           | k.A.                   | k.A.                                 |
| I21          | 5                              | -                              | -                      | 3                                    |
| Summe/Anteil | 16 (40%)                       | 7 (17,5%)                      | -                      | 17 (42,5%)                           |

2003 entfiel bei den untersuchten IKA I11, I31 kam dazu. Von den 40 Messwert-Paaren der fünf untersuchten IKA sind ähnlich wie im Vorjahr 24 auswertbar (60%).

- Wiederum liegen bei drei der fünf IKA die Zinnorganika-Konzentrationen im Schwebstoff meist über jenen im Schlamm (I31, I12, I21). Die Konzentrationen im Schwebstoff bei I31 betragen das 1,3- bis 8,6fache jener im Schlamm; die Konzentrationsüberschüsse sind also nicht ausgeprägt wie bei I11. Dies gilt auch für die beiden anderen Betriebe.
- I41 weist wie im Vorjahr sehr hohe absolute Konzentrationen in Klärschlamm und Schwebstoff aus. Die Schwebstoffkonzentrationen betragen bei TBT in beiden Jahren etwa 100 Prozent der Schlammkonzentration, bei MBT und DBT zwischen 21 und 49 Prozent, bei Tetrabutylzinn, MOT und DOT zwischen 4 und 17 Prozent. Die Anreicherung der Abbauprodukte im Klärschlamm deutet auf betriebsspezifische Anpassung (Prozessführung; Adaption der Biocoenose,) hin.

- Die Werte bei I13 sind nicht auffällig, 2003 im Schwebstoff jedoch öfter größer als im Klärschlamm (MBT, DBT, TBT).

| Parameter         | I13 | I12 | I11 | I41 | I21. |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|------|
| Monobutylzinn     | S   | XX  | XX  | S   | X    |
| Dibutylzinn       | X   | S   | XX  | S   | X    |
| Tributylzinn      | ?   | ?   | X   | S   | X    |
| Tetrabutylzinn    |     |     | X   | S   |      |
| Triphenylzinn     |     | X   |     |     |      |
| Monooctylzinn     |     | X   | XXX | S   | X    |
| Diocetylzinn      |     | X   | XX  |     | X    |
| Tricyclohexylzinn |     |     |     |     |      |

<sup>1</sup> Ohne IKA I31; X: Schwebstoffkonzentration >Schlammkonzentration; XX: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff übersteigt die Schadstoffkonzentration im Schlamm um mehr als das Zehnfache; XXX: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff übersteigt die Schadstoffkonzentration im Schlamm um mehr als das Hundertfache. S: Schlammkonzentration >Schwebstoffkonzentration; ? unklar (ein positiver Wert steht einem Wert <BG gegenüber, wobei die BG größer ist als der positive Wert). Leere Felder: Konzentrationen <BG. Grau unterlegt: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff  $\geq 1$  mg/kg TS.

**Tab. 7.7.5: Zinnorganika 2003 – Zusammengefasster Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm für 8 Parameter aus fünf IKA (40 Messwertvergleiche)**

| IKA          | Schwebstoffkonz. >Schlammkonz. | Schlammkonz. >Schwebstoffkonz. | Konzentrationen gleich | Konzentrationen <BG/nicht auswertbar |
|--------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| I13          | 3                              | 1                              | -                      | 4                                    |
| I12          | 4                              | -                              | -                      | 4                                    |
| I11          | k.A.                           | k.A.                           | k.A.                   | k.A.                                 |
| I41          | 1                              | 5                              | -                      | 2                                    |
| I31          | 5                              | -                              | -                      | 3                                    |
| I21          | 4                              | 1                              | -                      | 3                                    |
| Summe/Anteil | 17 (42,5%)                     | 7 (17,5%)                      | -                      | 16 (40%)                             |

**Übersicht 7.7.4: Zinnorganika 2003 – Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm nach Parametern für fünf IKA<sup>1</sup>**

| Parameter         | I13 | I12 | I41 | I31 | I21. |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|------|
| Monobutylzinn     | X   | X   | S   | X   | X    |
| Dibutylzinn       | X   | ?   | S   | X   | S    |
| Tributylzinn      | X   | ?   | X   | X   | X    |
| Tetrabutylzinn    |     |     | S   |     |      |
| Triphenylzinn     |     | X   |     |     |      |
| Monooctylzinn     | S   | X   | S   | X   | X    |
| Diocetylzinn      |     | X   | S   | X   | X    |
| Tricyclohexylzinn |     |     |     |     |      |

<sup>1</sup> Ohne IKA I11; X: Schwebstoffkonzentration >Schlammkonzentration; S: Schlammkonzentration >Schwebstoffkonzentration; ? unklar (ein positiver Wert steht einem Wert <BG gegenüber, wobei die BG größer ist als der positive Wert). Leere Felder: Konzentrationen <BG. Grau unterlegt: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff  $\geq 1$  mg/kg TS.

#### 7.4 Zusammenfassung Zinnorganika

Aussagen zum Konzentrationsverhältnis von Zinnorganika im Schwebstoff und Klärschlamm sind bei den KKA 2002/2003 für 68 Prozent, bei den IKA für 58 Prozent der Fälle (Messwert-Paare) möglich.

Bei den KKA ist in den analysierbaren Fällen 2002 die Zinnorganika-Konzentration im Schwebstoff meist größer als im Schlamm; 2003 ist das Verhältnis umgekehrt. Bei den IKA überwiegt in beiden Jahren die Konzentration im Schwebstoff (Tab. 7.7.6).

**Tab. 7.7.6: Zinnorganika 2002/2003 – Zusammengefasster Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm für kommunale und industrielle Kläranlagen**

|     | 2002                       |                       |        | 2003                       |                       |        |
|-----|----------------------------|-----------------------|--------|----------------------------|-----------------------|--------|
|     | Zinnorganika-Konzentration |                       |        | Zinnorganika-Konzentration |                       |        |
|     | größer im Schwebstoff      | größer im Klärschlamm | gleich | größer im Schwebstoff      | größer im Klärschlamm | gleich |
| KKA | 37                         | 12                    | 1      | 12                         | 28                    | -      |
| IKA | 16                         | 7                     | -      | 17                         | 7                     | -      |

Bei den KKA fallen 2002 Sindlingen und Niederrad (Rohschlämme) mit durchgehend höherer Konzentration der Zinnorganika im Klärschlamm auf; 2003 betrifft dies auch andere KKA wie Kassel und Wiesbaden, jedoch Sindlingen nur noch begrenzt.

Bei den industriellen Kläranlagen haben die IKA I12, I11 (2002) bzw. I31 (2003) und I21 z.T. deutlich höhere Zinnorganika-Konzentrationen im Schwebstoff als im Klärschlamm. Insgesamt sind die Unterschiede bei den IKA sehr viel ausgeprägter als bei den KKA.

### III.8 Stoffgruppe 09: Alkylphenole

#### 8.1 Verfügbare Daten

Schwebstoff- und Klärschlammkonzentrationen von p-Nonylphenolen und p-tert.-Octylphenol wurden 2002 und 2003 grundsätzlich in neun kommunalen Kläranlagen bestimmt. Abweichungen: 2003 wurde p-Nonylphenol nur in acht KKA (ohne KKA Hanau) bestimmt; 2003 wurden zu p-tert.-Octylphenol für die KKA Hanau keine Schwebstoffdaten angegeben. Damit können bei beiden Parametern 2002 für neun, 2003 für acht KKA (ohne Hanau) Vergleiche durchgeführt werden.

**Tab. 7.8.1: Alkylphenole – verfügbare Schwebstoff-/Klärschlamm-Messdaten aus Kläranlagen für Konzentrationsvergleiche 2002/2003**

|                    | KKA      |           | IKA       |          |
|--------------------|----------|-----------|-----------|----------|
|                    | 2002     | 2003      | 2002      | 2003     |
| Zahl der Messwerte | 36       | 33        | 24        | 22       |
| Messwerte <BG (%)  | 1 (3%)   | -         | -         | 1 (5%)   |
| Messwerte ≥BG (%)  | 35 (97%) | 33 (100%) | 24 (100%) | 21 (95%) |

Bei den IKA wurden durchgehend sechs Kläranlagen untersucht. Aus 2003 sind keine Schlammwerte der IKA I11 verfügbar. Daher sind für 2002 Vergleiche bei sechs, für 2003 bei fünf IKA möglich.

Die Gesamtzahl der Messwert-Paare beträgt 56. Die Messwerte lagen bei zwei Ausnahmen (2 Prozent) oberhalb der BG (vgl. Tab. 7.8.1).

### 8.2 Kommunale Kläranlagen

2202 sind bei beiden Parametern zu 17 Fällen (Messwert-Paaren), 2003 zu 16 Fällen Aussagen möglich. Die Konzentration an p-Nonylphenol im Schwebstoff liegt fast immer unter 30 Prozent der Konzentration im Klärschlamm und nur in einem Fall (KKA Gießen, 2003) ist sie geringfügig größer als im Klärschlamm.

Bei p-tert.-Octylphenol beträgt die Konzentration im Schwebstoff i.d.R. weniger als 50 Prozent der Konzentration im Schlamm. Ausnahmen macht zum einen 2002 die KKA Fulda, bei der in beiden Jahren die Konzentrationen im Feststoff de facto identisch sind. Diese KKA ist in beiden Jahren wegen ihrer ungewöhnlich hohen Konzentrationen an p-tert.-Octylphenol im Feststoff auffällig; bei p-Nonylphenol weist sie ebenfalls recht hohe Gehalte auf. Bei der KKA Sindlingen macht die p-tert.-Octylphenol-Konzentration im Schwebstoff 2002 das 2,7fache des Klärschlammgehalts aus, liegt aber 2003 mit ca. 7 Prozent weit darunter.

**Tab. 7.8.2: p-Nonylphenole 2002/2003 – Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm bei neun kommunalen Kläranlagen**

| KKA                     | 2002                   |                        |                             | 2003                   |                        |                             |
|-------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|
|                         | Schwebstoff (mg/kg TS) | Klärschlamm (mg/kg TS) | Schwebstoff/Klärschlamm (%) | Schwebstoff (mg/kg TS) | Klärschlamm (mg/kg TS) | Schwebstoff/Klärschlamm (%) |
| Fulda                   | 2,80                   | 21,9                   | 12,8                        | 4,04                   | 44,3                   | 9,1                         |
| Limburg                 | 2,34                   | 10,3                   | 22,7                        | 2,55                   | 9,01                   | 28,3                        |
| Sindlingen <sup>1</sup> | 0,79                   | 2,56                   | 30,9                        | 1,95                   | 3,07                   | 63,5                        |
| Kassel                  | 2,06                   | 10,9                   | 18,9                        | 1,54                   | 15,90                  | 9,7                         |
| Gießen                  | 1,33                   | 12,1                   | 11,0                        | 2,21                   | 2,16                   | <b>102,3</b>                |
| Niederrad <sup>1</sup>  | 0,31                   | 2,55                   | 12,2                        | 0,52                   | 4,01                   | 13,0                        |
| Wiesbaden               | 1,99                   | 8,98                   | 22,2                        | 0,71                   | 17,40                  | 4,1                         |
| Hanau                   | 3,80                   | 43,00                  | 8,8                         | k.A.                   | 9,29                   | -                           |
| Darmstadt               | 2,05                   | 15,9                   | 12,9                        | 4,39                   | 20,50                  | 21,4                        |

<sup>1</sup> Rohschlamm.

**Tab. 7.8.3: p-tert.-Octylphenol 2002/2003 – Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm bei neun kommunalen Kläranlagen**

| KKA                     | 2002                   |                        |                             | 2003                   |                        |                             |
|-------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|
|                         | Schwebstoff (mg/kg TS) | Klärschlamm (mg/kg TS) | Schwebstoff/Klärschlamm (%) | Schwebstoff (mg/kg TS) | Klärschlamm (mg/kg TS) | Schwebstoff/Klärschlamm (%) |
| Fulda                   | 3,33                   | 3,27                   | <b>101,8</b>                | 4,090                  | 4,320                  | 94,7                        |
| Limburg                 | 0,13                   | 0,36                   | 36,1                        | 0,089                  | 0,243                  | 36,6                        |
| Sindlingen <sup>1</sup> | 0,27                   | 0,10                   | <b>270,0</b>                | 0,015                  | 0,219                  | 6,8                         |
| Kassel                  | 0,11                   | 0,76                   | 14,5                        | 0,098                  | 1,420                  | 6,9                         |
| Gießen                  | 0,05                   | 0,57                   | 8,8                         | 0,085                  | 0,178                  | 47,8                        |
| Niederrad <sup>1</sup>  | <0,01                  | 0,32                   | >3,1                        | 0,027                  | 0,341                  | 7,9                         |
| Wiesbaden               | 0,07                   | 0,44                   | 15,9                        | 0,015                  | 0,566                  | 2,7                         |
| Hanau                   | 0,19                   | 0,81                   | 23,5                        | k.A.                   | 0,298                  | -                           |
| Darmstadt               | 0,03                   | 0,81                   | 3,7                         | 0,101                  | 1,360                  | 7,4                         |

<sup>1</sup> Rohschlamm.

### 8.3 Industrielle Kläranlagen

Insgesamt liegen 22 auswertbare Messwert-Paare vor (2002 für beide Parameter je 6, 2003 je 5).

Die sechs IKA sind „gespalten“ (vgl. Tab. 7.8.4 und 7.8.5): Bei I13, I41 und I31 sind die Alkylphenol-Konzentrationen im Schwebstoff (fast) immer größer als im Schlamm. Das gilt auch für p-tert.-Octylphenol bei I11 2002. Bei I21 und I12 findet dagegen (meist) Anreicherung im Klärschlamm statt.

I.d.R. sind die Konzentrationsdifferenzen nicht sehr ausgeprägt (>1faches bis zum Vierfachen). Hier macht I13 2003 mit relativ großen Alkylphenol-Überschüssen im Schwebstoff (mehr als das sieben- bzw. das elffache) eine Ausnahme.

**Tab. 7.8.4: p-Nonylphenole 2002/2003 – Konzentrationsvergleich Schwebstoff/ Klärschlamm bei sechs industriellen Kläranlagen**

| IKA | 2002                   |                        |                             | 2003                   |                        |                             |
|-----|------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|
|     | Schwebstoff (mg/kg TS) | Klärschlamm (mg/kg TS) | Schwebstoff/Klärschlamm (%) | Schwebstoff (mg/kg TS) | Klärschlamm (mg/kg TS) | Schwebstoff/Klärschlamm (%) |
| I13 | 4,28                   | 2,46                   | <b>174,0</b>                | 12,000                 | 1,560                  | <b>769,2</b>                |
| I12 | 0,42                   | 0,63                   | 66,7                        | 0,349                  | 0,724                  | 48,2                        |
| I11 | 4,26                   | 7,12                   | 59,8                        | 0,893                  | k.A.                   | -                           |
| I41 | 18,60                  | 10,70                  | <b>173,8</b>                | 13,50                  | 14,900                 | 90,6                        |
| I31 | 1,68                   | 0,43                   | <b>390,7</b>                | 1,740                  | 0,634                  | <b>274,4</b>                |
| I21 | 0,52                   | 0,60                   | 86,7                        | 0,586                  | 1,130                  | 51,9                        |

**Tab. 7.8.5: p-tert.-Octylphenol 2002/2003 – Konzentrationsvergleich Schwebstoff/ Klärschlamm bei sechs industriellen Kläranlagen**

| IKA | 2002                   |                        |                             | 2003                   |                        |                             |
|-----|------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|
|     | Schwebstoff (mg/kg TS) | Klärschlamm (mg/kg TS) | Schwebstoff/Klärschlamm (%) | Schwebstoff (mg/kg TS) | Klärschlamm (mg/kg TS) | Schwebstoff/Klärschlamm (%) |
| I13 | 0,06                   | 0,02                   | <b>300</b>                  | 0,455                  | 0,039                  | <b>1.166,7</b>              |
| I12 | 0,01                   | 0,01                   | 100                         | 0,069                  | 0,200                  | 34,5                        |
| I11 | 0,06                   | 0,04                   | <b>150</b>                  | <0,040                 | k.A.                   | -                           |
| I41 | 0,06                   | 0                      | -                           | 0,025                  | 0,017                  | <b>147,1</b>                |
| I31 | 0,08                   | 0,05                   | <b>160</b>                  | 0,051                  | 0,044                  | <b>115,9</b>                |
| I21 | 0,09                   | 0,40                   | 22,5                        | 0,097                  | 0,522                  | 18,6                        |

Die p-Nonylphenol-Konzentrationen im Schwebstoff sind 2002/2003 bei den IKA durchweg größer als bei den KKA, im Klärschlamm dagegen kleiner. Die Konzentrationen an p-tert.-Octylphenol sind bei den IKA sowohl im Schwebstoff wie im Klärschlamm kleiner als bei den KKA.

### 8.4 Zusammenfassung Alkylphenole

Aussagen zum Konzentrationsverhältnis von p-Nonylphenolen und p-tert.-Alkylphenolen im Schwebstoff und Klärschlamm waren bei allen 55 Messwert-Paaren möglich (vgl. Tab. 7.8.5).

Bei den KKA ist in beiden Jahren die Alkylphenol-Konzentration im Schlamm in über 90 Prozent der Fälle größer als im Schwebstoff. Nur in einem Fall (KKA Sindlingen, p-tert.-Octylphenol 2002) ist die Schwebstoffkonzentration mit dem 2,7fachen der Schlammkonzentration deutlich größer (vgl. Tab. 7.8.2 und 7.8.3).

Bei den IKA weist der Schwebstoff dagegen in 13 von 22 Fällen (59 Prozent) eine höhere Alkylphenol-Konzentration auf als der Schlamm. Die Konzentrationsdifferenz reicht hier vom 1,2fachen bis zum 11fachen, ist also ausgeprägter als bei den KKA (Tab. 7.8.4 und 7.8.5).

**Tab. 7.8.6: Alkylphenole 2002/2003 – Zusammengefasster Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm für kommunale und industrielle Kläranlagen**

|     | 2002  |                       | 2003                  |                       |
|-----|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|     | Konzentration von p-Nonylphenolen und p-tert.-Octylphenol |                       |                       |                       |
|     | größer im Schwebstoff                                     | größer im Klärschlamm | größer im Schwebstoff | größer im Klärschlamm |
| KKA | 2   | 15                    | 1                     | 15                    |
| IKA | 8 <sup>1</sup>  | 4                     | 5                     | 5                     |

<sup>1</sup> Darunter ein Fall mit gleich großer Konzentration wie im Klärschlamm.

Bei p-tert.-Octylphenol weist die KKA Fulda in beiden Jahren erhöhte Werte in Schwebstoff und Klärschlamm und eine vergleichsweise hohe Konzentration im Schwebstoff auf. Auch die p-Nonylphenol-Konzentration im Schlamm ist bei dieser KKA in beiden Jahren vergleichsweise groß, die Konzentration im Schwebstoff gegenüber dem Schlamm jedoch niedrig.

I13, I41 und I31 sind IKA mit deutlich höherer Alkylphenol-Konzentration im Schwebstoff als im Schlamm. Dies gilt für beide Parameter und Jahre. Die größten Konzentrationswerte im Schwebstoff weist I13 2003 auf.

### III.9 Stoffgruppe 18: Polybromierte Diphenylether (PBDE)

#### 9.1 Verfügbare Daten

2002 und 2003 wurden die Summenwerte der Konzentration von sieben polybromierten Diphenylethern (PBDE) sowie von DecaBDE im Schwebstoff und Klärschlamm von neun kommunalen und sechs industriellen Kläranlagen erfasst.

**Tab. 7.9.1: PBDE – verfügbare Schwebstoff-/Klärschlamm-Messdaten aus Kläranlagen für Konzentrationsvergleiche 2002/2003**

|                    | KKA        |            | IKA      |            |
|--------------------|------------|------------|----------|------------|
|                    | 2002       | 2003       | 2002     | 2003       |
| Zahl der Messwerte | 144        | 136        | 96       | 88         |
| Messwerte <BG (%)  | 52 (36,1%) | 18 (13,2%) | 72 (75%) | 46 (52,3%) |
| Messwerte ≥BG (%)  | 92 (63,9%) | 118 (86,8) | 24 (25%) | 42 (47,7%) |

Da für 2003 Daten zum Schwebstoff bei der KKA Hanau fehlen, können für dieses Jahr nur für acht KKA Vergleiche angestellt werden. Bei den IKA sind es 2003 fünf statt sechs Kläranlagen, da für Schwebstoff bei I11 keine Daten verfügbar sind.

Auffällig ist ein Anstieg der Zahl der Messwerte ≥BG von 2002 nach 2003 (vgl. Tab. 7.9.1): Bei den KKA betrug dieser Anteil 2002 rd. 64 Prozent, 2003 87 Prozent; bei

den IKA waren es 2002 25 und 2003 48 Prozent. Dieser Anstieg hängt mit einer Absenkung der Bestimmungsgrenzen bei den einzelnen PBDE-Spezies zusammen. Damit steigt auch die Zahl der auswertbaren Messwert-Paare von 2002 nach 2003 bei den KKA (von rd. 54 auf 89 Prozent) und bei den IKA (von 23 auf knapp 48 Prozent) an. Die wesentlichen Unterschiede im Verhältnis der Konzentration von PBDE in Schwebstoff und Klärschlamm, die weiter unten für 2002 und 2003 berichtet werden, stehen aber, soweit dies zu ersehen ist, mit der größeren Zahl auswertbarer Messwerte ursächlich nicht in Zusammenhang.

Insgesamt sind bei den KKA von 136 Messwert-Paaren 96 auswertbar (70,6 Prozent); bei den IKA sind es 29 von 88 (33 Prozent). In den übrigen Fällen sind jeweils beide Werte <BG oder aus anderen Gründen nicht auswertbar.

### 9.2 Kommunale Kläranlagen

Bei den KKA sind 2002 39 von 72 Messwert-Paaren auswertbar; rd. 46 Prozent lagen unterhalb der BG (vgl. Tab. 7.9.2).

**Tab. 7.9.2: PBDE 2002 – Zusammengefasster Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm für 8 Parameter aus neun KKA (72 Messwertvergleiche)**

| KKA                     | Schwebstoffkonz. >Schlammkonz. | Schlammkonz. >Schwebstoffkonz. | Konzentrationen gleich | Konzentrationen <BG/nicht auswertbar |
|-------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| Fulda                   | 1                              | 2                              | -                      | 5                                    |
| Limburg                 | 1                              | 3                              | -                      | 4                                    |
| Sindlingen <sup>1</sup> | 3                              | 1                              | -                      | 4                                    |
| Kassel                  | -                              | 4                              | -                      | 4                                    |
| Gießen                  | 4                              | 1                              | 1                      | 2                                    |
| Niederrad <sup>1</sup>  | -                              | 3                              | -                      | 5                                    |
| Wiesbaden               | 2                              | 2                              | -                      | 4                                    |
| Hanau                   | 5                              | 1                              | -                      | 2                                    |
| Darmstadt               | 4                              | 1                              | -                      | 3                                    |
| Summe/Anteil            | 20 (27,8%)                     | 18 (25%)                       | 1 (1,4%)               | 33 (45,8%)                           |

<sup>1</sup> Rohschlamm

**Übersicht 7.9.1: PBDE 2002 – Konzentrationsvergleich Schwebstoff/ Klärschlamm nach Parametern für neun KKA**

| Parameter      | Fulda | Limburg | Sindlingen <sup>1</sup> | Kassel | Gießen | Niederrad <sup>1</sup> | Wiesbaden | Hanau | Darmstadt |
|----------------|-------|---------|-------------------------|--------|--------|------------------------|-----------|-------|-----------|
| Summe TriBDE   |       |         |                         |        | X      |                        |           | X     |           |
| Summe TetraBDE | S     | S       | X                       | S      | X      | S                      | S         | X     | S         |
| Summe PentaBDE | X     | X       | X                       | S      | X      | S                      | X         | X     | X         |
| Summe HexaBDE  |       | S       | X                       | S      | X      |                        | X         | X     | X         |
| Summe HeptaBDE |       |         |                         |        | gleich |                        |           | X     | X         |
| Summe OctaBDE  |       |         |                         |        |        |                        |           |       |           |
| Summe NonaBDE  |       |         |                         |        |        |                        |           |       |           |
| DecaBDE        | S     | S       | S                       | S      | S      | S                      | S         | S     | X         |

<sup>1</sup> Rohschlamm; X: Schwebstoffkonzentration >Schlammkonzentration; S: Schlammkonzentration >Schwebstoffkonzentration; Leere Felder: Konzentrationen <BG. Grau unterlegt: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff  $\geq 100 \mu\text{g}/\text{kg TS}$ .

- In 28 Prozent der Fälle ist die PBDE-Konzentration im Schwebstoff, bei 25 Prozent im Klärschlamm größer.
- Bei einzelnen KKA ist dieses „ausgewogene“ Verhältnis zur einen oder anderen Seite verschoben: Bei den KKA Gießen, Hanau, Darmstadt sowie Sindlingen ist meist die Konzentration im Schwebstoff größer, bei der KKA Kassel im Klärschlamm (vgl. Übers. 7.9.1).
- Bei den meist nachweisbaren Parametern (Tetra-, Penta-, Hexa- und DecaBDE) überwiegt teils die Anreicherung im Klärschlamm (Tetra- und DecaBDE), teils im Schwebstoff (Penta- und HexaBDE).
- Konzentrationsdifferenzen: Die Konzentrationen im Schwebstoff übersteigen, wo sie größer sind, jene im Klärschlamm meist um weniger als das Zweifache, bei TetraBDE bis zum 3,7fachen, bei PentaBDE bis zum 5,4fachen.

**Tab. 7.9.3: PBDE 2003 – Zusammengefasster Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm für 8 Parameter aus acht KKA<sup>1</sup> (64 Messwertvergleiche)**

| KKA                     | Schwebstoffkonz.<br>>Schlammkonz. | Schlammkonz.<br>>Schwebstoffkonz. | Konzentrationen<br>gleich | Konzentrationen<br><BG/nicht auswertbar |
|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|---|
| Fulda                   | -                                 | 7                                 | 1                         | -                                       |
| Limburg                 | -                                 | 8                                 | -                         | -                                       |
| Sindlingen <sup>1</sup> | 3                                 | 4                                 | -                         | 1                                       |
| Kassel                  | -                                 | 6                                 | -                         | 2                                       |
| Gießen                  | 3                                 | 4                                 | 1                         | -                                       |
| Niederrad <sup>1</sup>  | -                                 | 6                                 | -                         | 2                                       |
| Wiesbaden               | -                                 | 6                                 | -                         | 2                                       |
| Hanau                   | k.A.                              | k.A.                              | k.A.                      | k.A.                                    |
| Darmstadt               | -                                 | 7                                 | 1                         | -                                       |
| Summe/Anteil            | 6 (9,4%)                          | 48 (75%)                          | 3 (4,7%)                  | 7 (10,9%)                               |

<sup>1</sup> ohne KKA Hanau; <sup>2</sup> Rohschlamm

2003 sieht das Bild wesentlich anders aus. Auswertbar sind 57 von 64 Messwert-Paaren (89,1 Prozent) aus acht KKA, also wesentlich mehr als im Vorjahr.

**Übersicht 7.9.2: PBDE 2003 – Konzentrationsvergleich Schwebstoff/ Klärschlamm nach Parametern für acht KKA<sup>1</sup>**

| Parameter      | Fulda  | Limburg | Sindlingen <sup>2</sup> | Kassel | Gießen | Niederrad <sup>2</sup> | Wiesbaden | Hanau | Darmstadt |
|----------------|--------|---------|-------------------------|--------|--------|------------------------|-----------|-------|-----------|
| Summe TriBDE   | gleich | S       | X                       |        | X      |                        |           | k.A.  | gleich    |
| Summe TetraBDE | S      | S       | X                       | S      | X      | S                      | S         | k.A.  | S         |
| Summe PentaBDE | S      | S       | X                       | S      | X      | S                      | S         | k.A.  | S         |
| Summe HexaBDE  | S      | S       | S                       | S      | S      | S                      | S         | k.A.  | S         |
| Summe HeptaBDE | S      | S       | S                       |        | gleich | S                      |           | k.A.  | S         |
| Summe OctaBDE  | S      | S       |                         | S      | S      |                        | S         | k.A.  | S         |
| Summe NonaBDE  | S      | S       | S                       | S      | S      | S                      | S         | k.A.  | S         |
| DecaBDE        | S      | S       | S                       | S      | S      | S                      | S         | k.A.  | S         |

<sup>1</sup> Ohne KKA Hanau; <sup>2</sup> Rohschlamm; X: Schwebstoffkonzentration >Schlammkonzentration; S: Schlammkonzentration >Schwebstoffkonzentration. Leere Felder: Konzentrationen <BG. Grau unterlegt: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff  $\geq 100 \mu\text{g}/\text{kg TS}$ .

- In 75 Prozent der Fälle ist die PBDE-Konzentration im Klärschlamm größer als im Schwebstoff, während sie nur in 14 Prozent der Fälle im Schwebstoff gleich groß oder größer als im Schlamm ist.
- Höhere Konzentrationen im Schwebstoff als im Klärschlamm treten nur noch bei zwei KKA in jeweils drei Fällen auf (wie 2002 Sindlingen und Gießen, jeweils Tri-, Tetra- und PentaBDE), bei denen sonst aber auch die Anreicherung im Klärschlamm überwiegt. (Die KKA Hanau, bei der 2002 für fünf Parameter höhere Konzentrationen im Schwebstoff als im Klärschlamm auftraten, wurde 2003 nicht untersucht; bei der KKA Darmstadt dominiert anders als im Vorjahr 2003 die Anreicherung im Klärschlamm.)
- In zehn Fällen, in denen 2002 die PBDE-Konzentration im Schwebstoff gegenüber der im Klärschlamm überwog, hat sich dieses Verhältnis 2003 umgekehrt; eine Umkehr in die andere Richtung trat nicht auf. Die Absenkung der BG und die dadurch erhöhte Zahl der auswertbaren Messwert-Paare ist mithin nicht die Ursache für das von 2002 nach 2003 deutlich veränderte Konzentrationsverhältnis, auch wenn bei allen neu dazugekommenen auswertbaren Fällen die Anreicherung im Schlamm vorherrscht.
- Bei allen Parametern mit Ausnahme von TriBDE überwiegt die höhere Konzentration im Klärschlamm, während im Vorjahr (soweit aussagefähige Daten vorhanden sind) das Verhältnis pari-pari war.
- Der Konzentrationsüberschuss im Schwebstoff (Tri-, Tetra- und PentaBDE) ist 2003 mit einem Maximum beim 2,3fachen geringer als im Vorjahr.
- PBDE-Konzentrationen  $\geq 100 \mu\text{g/kg TS}$ , die 2002 in 9 Fällen bei sechs KKA (ohne KKA Hanau) für Penta- und DecaBDE im Schwebstoff registriert wurden, waren 2003 seltener (nur noch bei DecaBDE in drei KKA).

### 9.3 Industrielle Kläranlagen

2002 sind 11 von 48 Messwert-Paaren bei den sechs untersuchten IKA auswertbar (23 Prozent), die übrigen fallen unter die BG (Tab. 7.9.4).

**Tab. 7.9.4: PBDE 2002 – Zusammengefasster Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm für 8 Parameter aus sechs IKA (48 Messwertvergleiche)**

| IKA          | Schwebstoffkonz.<br>>Schlammkonz. | Schlammkonz.<br>>Schwebstoffkonz. | Konzentrationen<br>gleich | Konzentrationen<br><BG/nicht auswertbar |
|--------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|---|
| I13          | 1                                 | 2                                 | -                         | 5                                       |
| I12          | 3                                 | -                                 | -                         | 5                                       |
| I11          | -                                 | -                                 | -                         | 8                                       |
| I41          | -                                 | -                                 | -                         | 8                                       |
| I31          | 2                                 | -                                 | -                         | 6                                       |
| I21          | -                                 | 3                                 | -                         | 5                                       |
| Summe/Anteil | 6 (12,5%)                         | 5 (10,4%)                         | -                         | 37 (77,1%)                              |

- Bei dem geringen Anteil der auswertbaren Fälle verteilen sich größere Konzentration im Schwebstoff und größere Konzentration im Klärschlamm mit 6 zu 5 Fällen zwar statistisch etwa gleichmäßig, nach IKA jedoch sehr unterschiedlich: Bei zwei Betrieben (I12 und I31) wird eine höhere Konzentration im Schwebstoff, bei zwei anderen (I21 und I13) vorzugsweise im Schlamm gefunden (Übers. 7.9.3).
- Die Konzentrationsüberschüsse im Schwebstoff entsprechen den „Normalfällen“ bei den KKA und betragen im Maximum das 2,5-fache.

**Übersicht 7.9.3: PBDE 2002 – Konzentrationsvergleich Schwebstoff/ Klärschlamm nach Parametern für sechs IKA**

| Parameter      | I13 | I12 | I11 | I41 | I31 | I21 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Summe TriBDE   |     |     |     |     |     |     |
| Summe TetraBDE | X   | X   |     |     | X   | S   |
| Summe PentaBDE | S   | X   |     |     | X   | S   |
| Summe HexaBDE  | S   | X   |     |     |     |     |
| Summe HeptaBDE |     |     |     |     |     |     |
| Summe OctaBDE  |     |     |     |     |     |     |
| Summe NonaBDE  |     |     |     |     |     |     |
| DecaBDE        |     |     |     |     |     | S   |

X: Schwebstoffkonzentration >Schlammkonzentration; S: Schlammkonzentration >Schwebstoffkonzentration; Leere Felder: Konzentrationen <BG. Grau unterlegt: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff  $\geq 100$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  TS.

**Tab. 7.9.5: PBDE 2003 – Zusammengefasster Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm für 8 Parameter aus fünf IKA<sup>1</sup> (40 Messwertvergleiche)**

| IKA          | Schwebstoffkonz. >Schlammkonz. | Schlammkonz. >Schwebstoffkonz. | Konzentrationen gleich | Konzentrationen <BG/nicht auswertbar |
|--------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| I13          | 2                              | -                              | -                      | 6                                    |
| I12          | 1                              | 1                              | -                      | 6                                    |
| I41          | -                              | 1                              | -                      | 7                                    |
| I31          | 7                              | -                              | -                      | 1                                    |
| I21          | -                              | 6                              | -                      | 2                                    |
| Summe/Anteil | 10 (25%)                       | 8 (20%)                        | -                      | 22 (55%)                             |

<sup>1</sup> Ohne IKA I11

**Übersicht 7.9.4: PBDE 2003 – Konzentrationsvergleich Schwebstoff/ Klärschlamm nach Parametern für fünf IKA<sup>1</sup>**

| Parameter      | I13 | I12 | I41 | I31 | I21. |
|----------------|-----|-----|-----|-----|------|
| Summe TriBDE   |     |     |     |     |      |
| Summe TetraBDE | X   |     |     | X   | S    |
| Summe PentaBDE | X   | S   |     | X   | S    |
| Summe HexaBDE  |     |     |     | X   | S    |
| Summe HeptaBDE |     |     |     | X   |      |
| Summe OctaBDE  |     |     |     | X   | S    |
| Summe NonaBDE  |     |     |     | X   | S    |
| DecaBDE        |     | X   | S   | X   | S    |

<sup>1</sup> Ohne IKA I11; X: Schwebstoffkonzentration >Schlammkonzentration; S: Schlammkonzentration >Schwebstoffkonzentration; Leere Felder: Konzentrationen <BG. Grau unterlegt: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff  $\geq 100$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  TS.

- 2003 ist durch Reduzierung der BG eine größere Zahl der Messwert-Paare (18 von 40, d.h. 45 Prozent) auswertbar, wobei die KKA I11 entfällt.
- Die Verteilung nach größerer Konzentration in Schwebstoff bzw. Klärschlamm ist wie im Vorjahr statistisch „ausgewogen“ mit 10:8 Fällen (Tab. 7.9.5), jedoch zeigen sich auch hier gravierende Unterschiede nach IKA (Übers. 7.9.4).

- Während bei I31 bis auf TriBDE alle PBDE im Schwebstoff stärker konzentriert sind als im Schlamm, ist dies bei I21 gerade umgekehrt. Bei I13, I12 und I41 haben sich die – weniger zahlreichen – Befunde zum Teil umgekehrt.
- Die Konzentrationsüberschüsse im Schwebstoff sind 2003 größer als im Vorjahr und betragen bis zum 6fachen der Schlamm-Konzentration.

#### 9.4 Zusammenfassung PBDE

Aussagen zum Konzentrationsverhältnis von PBDE im Schwebstoff und Klärschlamm sind bei den KKA 2002/2003 für annähernd 71 Prozent, bei den IKA dagegen nur für ein Drittel der Fälle (Messwert-Paare) möglich. Die deutliche Erhöhung der Zahl der auswertbaren Messwert-Paare von 2002 nach 2003 (Reduzierung der BG) wirkt sich auf die relative Verteilung nach höherer Konzentration im Schwebstoff bzw. Klärschlamm nicht aus.

Bei den KKA ist 2002 die PBDE-Konzentration in 20:18 Fällen im Schwebstoff bzw. im Klärschlamm größer; 2003 überwiegt mit 6:48 Fällen eindeutig die Anreicherung im Klärschlamm (vgl. Tab. 7.9.6). Bei den IKA ist das Verhältnis in beiden Jahren statistisch zwar ausgewogen, bei den einzelnen IKA jedoch sehr unterschiedlich (Übers. 7.9.3 und 7.9.4).

**Tab. 7.9.6: PBDE 2002/2003 – Zusammengefasster Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm für kommunale und industrielle Kläranlagen**

|     | 2002                  |                       |        | 2003                  |                       |        |
|-----|-----------------------|-----------------------|--------|-----------------------|-----------------------|--------|
|     | PBDE-Konzentration    |                       |        | PBDE-Konzentration    |                       |        |
|     | größer im Schwebstoff | größer im Klärschlamm | gleich | größer im Schwebstoff | größer im Klärschlamm | gleich |
| KKA | 20                    | 18                    | 1      | 6                     | 48                    | 3      |
| IKA | 6                     | 5                     | -      | 10                    | 8                     | -      |

Bei den KKA fallen 2002 Gießen, Hanau und Darmstadt, ferner Sindlingen mit größerer Konzentration mehrerer PBDE-Spezies im Schwebstoff als im Klärschlamm auf; 2003 (ohne Hanau) gilt dies nur noch in abgeschwächter Form für Gießen und Sindlingen.

Bei den industriellen Kläranlagen fallen I31 in beiden Jahren, I12 (2002) und I13 (2003) mit höheren Schwebstoff-Konzentrationen auf. Bei I21 sind in beiden Jahren die Konzentrationen im Schlamm stets größer als im Schwebstoff.

Die Konzentrationsüberschüsse im Schwebstoff sind insgesamt nicht sehr groß und erreichen bei den KKA maximal das 5,4fache, bei den IKA maximal das 6fache der Konzentration im Klärschlamm.

### III.10 Stoffgruppe 19: Chlorparaffine

#### 10.1 Verfügbare Daten

2002 und 2003 wurden die Werte der Konzentration der jeweiligen Summe der C10- bis C13-Chlorparaffine im Schwebstoff und Klärschlamm von neun kommunalen und sechs industriellen Kläranlagen bestimmt, außerdem die Gesamtsumme der C10- bis C13-Chlorparaffine.

Aus der KKA Wiesbaden liegen für 2002 keine Schwebstoffwerte, aus der KKA Hanau für 2003 keine Schwebstoff- und z.T. keine Schlammwerte vor. In beiden Jahren können damit für 8 KKA Vergleiche durchgeführt werden. Bei den IKA ist dies 2002 für sechs, 2003 für fünf Betriebe möglich (ohne IKA I11, da 2003 keine Schlammwerte vorhanden sind).

**Tab. 7.10.1: Chlorparaffine<sup>1</sup> – verfügbare Schwebstoff-/Klärschlamm-Messdaten aus Kläranlagen für Konzentrationsvergleiche 2002/2003**

|                    | KKA       |           | IKA       |           |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                    | 2002      | 2003      | 2002      | 2003      |
| Zahl der Messwerte | 68        | 66        | 48        | 44        |
| Messwerte <BG (%)  | -         | -         | -         | -         |
| Messwerte ≥BG (%)  | 68 (100%) | 66 (100%) | 48 (100%) | 44 (100%) |

<sup>1</sup> Summe der C10-, C11-, C12- und C13-Chlorparaffine, ohne Werte der Gesamtsumme der C10-C13-Chlorparaffine.

Alle Messwert-Paare – bei den KKA jeweils 32, bei den IKA 2002 24, 2003 20 – sind auswertbar. In die Auswertung werden ferner die Werte für die Gesamtsumme der C10-C13-Chlorparaffine einbezogen.

### 10.2 Kommunale Kläranlagen

Bei den KKA sind 2002 alle 32 Messwert-Paaren auswertbar. Die Konzentrationsverteilung ist sehr einheitlich (vgl. Tab. 7.10.2):

- In der überwiegenden Mehrzahl der Fälle (28 von 32, fast 88 Prozent) ist die CP-Konzentration im Schwebstoff größer als im Klärschlamm.
- Nur bei zwei KKA (Kassel und Niederrad) tritt eine größere Konzentration im Klärschlamm auf (vgl. Übers. 7.10.1).
- Die Konzentrationen im Schwebstoff sind bei den C10- und C11-CP um maximal das 4,5-4,7-fache größer als im Klärschlamm, bei den C12- und C-13-CP um maximal das 3,4fache. Ausnahme: KKA Hanau mit einer die Schlammkonzentration um das 17,3fache übersteigenden C10-CP-Konzentration im Schwebstoff. Hanau ist die KKA mit den größten Konzentrationsüberschüssen und überdurchschnittlich hohen CP-Gehalten im Schwebstoff (Übers. 7.10.1).

**Tab. 7.10.2: Chlorparaffine 2002 – Zusammengefasster Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm für 8 Parameter aus acht KKA<sup>1</sup> (64 Messwertvergleiche)**

| KKA                     | Schwebstoffkonz. >Schlammkonz. | Schlammkonz. >Schwebstoffkonz. | Konzentrationen gleich | Konzentrationen <BG/nicht auswertbar |
|-------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| Fulda                   | 4                              | -                              | -                      | -                                    |
| Limburg                 | 4                              | -                              | -                      | -                                    |
| Sindlingen <sup>2</sup> | 4                              | -                              | -                      | -                                    |
| Kassel                  | 2                              | 1                              | 1                      | -                                    |
| Gießen                  | 4                              | -                              | -                      | -                                    |
| Niederrad <sup>2</sup>  | 2                              | 2                              | -                      | -                                    |
| Wiesbaden               | k.A.                           | k.A.                           | k.A.                   | k.A.                                 |
| Hanau                   | 4                              | -                              | -                      | -                                    |
| Darmstadt               | 4                              | -                              | -                      | -                                    |
| Summe/Anteil            | 28 (87,5%)                     | 3 (9,4%)                       | 1 (3,1%)               | -                                    |

<sup>1</sup> Ohne KKA Wiesbaden; <sup>2</sup> Rohnschlamm

**Übersicht 7.10.1: Chlorparaffine 2002 – Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm nach Parametern für acht KKA<sup>1</sup>**

| Parameter    | Fulda | Limburg | Sindlingen <sup>2</sup> | Kassel | Gießen | Niederrad <sup>2</sup> | Wiesbaden | Hanau | Darmstadt |
|--------------|-------|---------|-------------------------|--------|--------|------------------------|-----------|-------|-----------|
| Summe C10-CP | X     | X       | X                       | X      | X      | S                      | k.A.      | XX    | X         |
| Summe C11-CP | X     | X       | X                       | X      | X      | S                      | k.A.      | X     | X         |
| Summe C12-CP | X     | X       | X                       | gleich | X      | X                      | k.A.      | X     | X         |
| Summe C13-CP | X     | X       | X                       | S      | X      | X                      | k.A.      | X     | X         |

<sup>1</sup> Ohne KKA Wiesbaden; <sup>2</sup> Rohschlamm; X: Schwebstoffkonzentration >Schlammkonzentration; XX: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff übersteigt die Schadstoffkonzentration im Schlamm um mehr als das Zehnfache; S: Schlammkonzentration >Schwebstoffkonzentration; Leere Felder: Konzentrationen <BG. Grau unterlegt: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff  $\geq 500 \mu\text{g/kg TS}$ .

- Anhand der Summenwerte für die C10-C13-Chlorparaffine (Tab. 7.10.3) aus 2002 zeigt sich die Streuung zwischen den KKA deutlich: die KKA Niederrad ist die einzige, die bei der Summe der CP eine leicht höhere Konzentration im Klärschlamm als im Schwebstoff aufweist; in Kassel sind die Konzentrationen fast gleich, bei den KKA Fulda, Limburg und Darmstadt betragen sie im Schwebstoff etwa das Doppelte derer im Klärschlamm, in Gießen das 3,4- und in Hanau das 5fache.

**Tab. 7.10.3: Summe der C10-C13-CP aus neun KKA 2002 ( $\mu\text{g/kg TS}$  und Prozent)**

| KKA                     | Konzentration in $\mu\text{g/kg TS}$ im |             | Konz. im Schwebstoff/Konz. im Klärschlamm (%) |
|-------------------------|---|-------------|---|
|                         | Schwebstoff                             | Klärschlamm |   |
| Fulda                   | 805,34                                  | 398,72      | 202,0   |
| Limburg                 | 648,32                                  | 286,59      | 226,2   |
| Sindlingen <sup>1</sup> | 626,44                                  | 479,52      | 130,6   |
| Kassel                  | 487,90                                  | 430,79      | 113,3   |
| Gießen                  | 989,78                                  | 288,53      | 343,0   |
| Niederrad <sup>1</sup>  | 609,99                                  | 630,05      | 96,8  |
| Wiesbaden               | k.A.                                    | 300,47      | -   |
| Hanau                   | 2.158,36                                | 429,59      | 502,4   |
| Darmstadt               | 739,35                                  | 314,46      | 235,1   |

<sup>1</sup> Rohschlamm

Für 2003 mit ebenfalls 32 auswertbaren Messwert-Paaren (ohne KKA Hanau, mit KKA Wiesbaden) ergibt sich ein deutlich verändertes Bild (Tab. 7.10.4, Übers. 7.10.2):

**Tab. 7.10.4: Chlorparaffine 2003 – Zusammengefasster Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm für 8 Parameter aus acht KKA<sup>1</sup> (64 Messwertvergleiche)**

| KKA                     | Schwebstoffkonz. >Schlammkonz. | Schlammkonz. >Schwebstoffkonz. | Konzentrationen gleich | Konzentrationen <BG/nicht auswertbar |
|-------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| Fulda                   | 2                              | 2                              | -                      | -                                    |
| Limburg                 | 4                              | -                              | -                      | -                                    |
| Sindlingen <sup>1</sup> | -                              | 4                              | -                      | -                                    |
| Kassel                  | 1                              | 3                              | -                      | -                                    |
| Gießen                  | 4                              | -                              | -                      | -                                    |
| Niederrad <sup>1</sup>  | 4                              | -                              | -                      | -                                    |
| Wiesbaden               | -                              | 4                              | -                      | -                                    |
| Hanau                   | k.A.                           | k.A.                           | k.A.                   | k.A.                                 |
| Darmstadt               | 2                              | 2                              | -                      | -                                    |
| Summe/Anteil            | 17 (53,1%)                     | 15 (46,9%)                     | -                      | -                                    |

<sup>1</sup> ohne KKA Hanau; <sup>2</sup> Rohschlamm

**Übersicht 7.10.2: Chlorparaffine 2003 – Konzentrationsvergleich Schwebstoff/ Klärschlamm nach Parametern für acht KKA<sup>1</sup>**

| Parameter    | Fulda | Limburg | Sindlingen <sup>2</sup> | Kassel | Gießen | Niederrad <sup>2</sup> | Wiesbaden | Hanau | Darmstadt |
|--------------|-------|---------|-------------------------|--------|--------|------------------------|-----------|-------|-----------|
| Summe C10-CP | X     | X       | S                       | X      | X      | X                      | S         | k.A.  | X         |
| Summe C11-CP | X     | X       | S                       | S      | X      | X                      | S         | k.A.  | X         |
| Summe C12-CP | S     | X       | S                       | S      | X      | X                      | S         | k.A.  | S         |
| Summe C13-CP | S     | X       | S                       | S      | X      | X                      | S         | k.A.  | S         |

<sup>1</sup> Ohne KKA Hanau; <sup>2</sup> Rohschlamm; X: Schwebstoffkonzentration > Schlammkonzentration; S: Schlammkonzentration > Schwebstoffkonzentration. Leere Felder: Konzentrationen < BG. Grau unterlegt: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff  $\geq 100 \mu\text{g/kg TS}$ .

- Von den 32 auswertbaren Fällen ist die CP-Konzentration 17 Mal im Schwebstoff (53 Prozent) und 15 Mal im Klärschlamm (47 Prozent) größer.
- Bei den KKA Limburg und Gießen sind die Konzentrationen im Schwebstoff wie im Vorjahr größer als im Klärschlamm;
- Umkehrungen hat es gegeben bei den KKA Fulda, Kassel, Sindlingen, Niederrad und Darmstadt, wo die Konzentration im Klärschlamm im Gegensatz zum Vorjahr nunmehr bei zwei oder mehr CP-Summenwerten größer ist als im Schwebstoff;
- im Gegensatz zur KK Hanau (weggefallen) weist die KKA Wiesbaden (neu dazugekommen) durchgehend einen Konzentrationsüberschuss im Klärschlamm auf.
- Soweit weiterhin Konzentrationsüberschüsse im Schwebstoff bestehen, sind die Konzentrationsdifferenzen im Vergleich zum Vorjahr geringer; sie betragen im Maximum das zwei- bis zweieinhalbfache.
- Bei der Summe der C10-C13-Chlorparaffine (vgl. Tab. 7.10.5) weisen nunmehr die KKA Sindlingen und Kassel höherer Schwebstoffkonzentrationen im Klärschlamm als im Schwebstoff auf (im Vorjahr umgekehrt); bei der KKA Niederrad hat sich jedoch das Verhältnis zugunsten des Schwebstoffs umgekehrt. Die Konzentrationsüberschüsse beim Schwebstoff sind nicht ganz so ausgeprägt wie 2002 (Maximum 2,4faches; 2002 ohne KKA Hanau: 3,4faches bei der KKA Gießen).

**Tab. 7.10.5: Summe der C10-C13-CP aus neun KKA 2003 ( $\mu\text{g/kg TS}$  und Prozent)**

| KKA                     | Konzentration in $\mu\text{g/kg TS}$ im |             | Konz. im Schwebstoff/Konz. im Klärschlamm (%) |
|-------------------------|---|-------------|---|
|                         | Schwebstoff                             | Klärschlamm |   |
| Fulda                   | 380,98                                  | 360,7       | 105,6   |
| Limburg                 | 818,45                                  | 375,1       | 218,2   |
| Sindlingen <sup>1</sup> | 172,73                                  | 368,2       | 46,9  |
| Kassel                  | 349,78                                  | 395,3       | 88,5  |
| Gießen                  | 634,24                                  | 396,1       | 160,1   |
| Niederrad <sup>1</sup>  | 487,00                                  | 330,0       | 147,6   |
| Wiesbaden               | 207,73                                  | 360,9       | 57,6  |
| Hanau                   | k.A.                                    | 537,2       | -   |
| Darmstadt               | 350,27                                  | 318,5       | 110,0   |

<sup>1</sup> Rohschlamm

**10.3 Industrielle Kläranlagen**

Bei den IKA des Jahres 2002 (24 Messwert-Paare) zeigt sich:

- In 20 Fällen (über 80 Prozent) ist die CP-Konzentration im Schwebstoff größer als im Klärschlamm. Dies gilt durchgehend für fünf IKA, während bei der IKA I21 die

CP-Konzentration im Schlamm bei allen vier Summenwerten jene im Schwebstoff übersteigt (vgl. Tab. 7.10.6 und Übers. 7.10.3).

- Bei den IKA mit Konzentrationsüberschüssen im Schwebstoff treten unterschiedlich große Konzentrationsdifferenzen auf: Bei den IKA I12, Hoechst und I41 belaufen sie sich auf max. das 2,4fache; bei I31 auf das 4,5-6fache und bei I13 auf das 4-14fache.

**Tab. 7.10.6: Chlorparaffine 2002 – Zusammengefasster Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm für 8 Parameter aus sechs IKA (48 Messwertvergleiche)**

| IKA          | Schwebstoffkonz. >Schlammkonz. | Schlammkonz. >Schwebstoffkonz. | Konzentrationen gleich | Konzentrationen <BG/nicht auswertbar |
|--------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| I13          | 4                              | -                              | -                      | -                                    |
| I12          | 4                              | -                              | -                      | -                                    |
| I11          | 4                              | -                              | -                      | -                                    |
| I41          | 4                              | -                              | -                      | -                                    |
| I31          | 4                              | -                              | -                      | -                                    |
| I21          | -                              | 4                              | -                      | -                                    |
| Summe/Anteil | 20 (83,3%)                     | 4 (16,7%)                      | -                      | -                                    |

Die Summenwerte der C10-C13-Chlorparaffine (Tab. 7.10.7) lassen gleichermaßen die Unterschiede bei den Konzentrationsüberschüssen im Schwebstoff und die von den „Normalfällen“ abweichenden Verhältnisse bei I13 und I31 einerseits sowie bei I21 andererseits erkennen.

**Übersicht 7.10.3: Chlorparaffine 2002 – Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm nach Parametern für sechs IKA**

| Parameter    | I13 | I12 | I11 | I41 | I31 | I21 |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Summe C10-CP | X   | X   | X   | X   | X   | S   |
| Summe C11-CP | XX  | X   | X   | X   | X   | S   |
| Summe C12-CP | XX  | X   | X   | X   | X   | S   |
| Summe C13-CP | X   | X   | X   | X   | X   | S   |

X: Schwebstoffkonzentration >Schlammkonzentration; XX: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff übersteigt die Schadstoffkonzentration im Schlamm um mehr als das Zehnfache; S: Schlammkonzentration >Schwebstoffkonzentration; Leere Felder: Konzentrationen <BG. Grau unterlegt: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff  $\geq 500 \mu\text{g/kg TS}$ .

**Tab. 7.10.7: Summe der C10-C13-CP aus sechs IKA 2002 ( $\mu\text{g/kg TS}$  und Prozent)**

| KKA | Konzentration in $\mu\text{g/kg TS}$ im |             | Konz. im Schwebstoff/Konz. im Klärschlamm (%) |
|-----|---|-------------|---|
|     | Schwebstoff                             | Klärschlamm |   |
| I13 | 1.378,07                                | 131,07      | 1.051,4                                       |
| I12 | 499,46                                  | 234,86      | 212,7   |
| I11 | 346,37                                  | 190,79      | 181,5   |
| I41 | 68,17                                   | 39,98       | 170,5   |
| I31 | 3.070,29                                | 551,73      | 556,5   |
| I21 | 153,15                                  | 301,69      | 50,8  |

Im Jahr 2003 (20 Messwert-Paare, ohne I11) ist keine wesentliche Veränderung gegenüber dem Vorjahr zu konstatieren (Tab. 7.10.8 und Übers. 7.10.4).

**Tab. 7.10.8: Chlorparaffine 2003 – Zusammengefasster Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm für 8 Parameter aus fünf IKA<sup>1</sup> (40 Messwertvergleiche)**

| IKA          | Schwebstoffkonz. >Schlammkonz. | Schlammkonz. >Schwebstoffkonz. | Konzentrationen gleich | Konzentrationen <BG/nicht auswertbar |
|--------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| I13          | 4                              | -                              | -                      | -                                    |
| I12          | 4                              | -                              | -                      | -                                    |
| I11          | k.A.                           | k.A.                           | k.A.                   | k.A.                                 |
| I41          | 4                              | -                              | -                      | -                                    |
| I31          | 4                              | -                              | -                      | -                                    |
| I21          | 1                              | 3                              | -                      | -                                    |
| Summe/Anteil | 17 (85%)                       | 3 (15%)                        | -                      | -                                    |

<sup>1</sup> Ohne IKA I11

- Bei 17 von 20 Fällen ist die CP-Konzentration im Schwebstoff größer als im Klärschlamm;
- nur bei I21 tritt in drei von vier Fällen stärkere Anreicherung im Klärschlamm auf.
- Die Konzentrationsdifferenzen sind etwas größer als im Vorjahr. Sie betragen meistens bis zum Vierfachen, bei I13 bis zum 7,5fachen und liegen bei I31 zwischen dem 8- und 17,4fachen.
- Bei I31 treten, wie 2002, auch deutlich höhere CP-Gehalte im Schwebstoff als bei den anderen Betrieben auf.

**Übersicht 7.10.4: Chlorparaffine 2003 – Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm nach Parametern für fünf IKA<sup>1</sup>**

| Parameter    | I13 | I12 | I41 | I31 | I21. |
|--------------|-----|-----|-----|-----|------|
| Summe C10-CP | X   | X   | X   | X   | X    |
| Summe C11-CP | X   | X   | X   | XX  | S    |
| Summe C12-CP | X   | X   | X   | XX  | S    |
| Summe C13-CP | X   | X   | X   | XX  | S    |

<sup>1</sup> Ohne IKA I11; X: Schwebstoffkonzentration >Schlammkonzentration; XX: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff übersteigt die Schadstoffkonzentration im Schlamm um mehr als das Zehnfache; S: Schlammkonzentration >Schwebstoffkonzentration; Leere Felder: Konzentrationen <BG. Grau unterlegt: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff  $\geq 500 \mu\text{g/kg TS}$ .

**Tab. 7.10.9: Summe der C10-C13-CP aus sechs IKA 2003 ( $\mu\text{g/kg TS}$  und Prozent)**

| KKA | Konzentration in $\mu\text{g/kg TS}$ im |             | Konz. im Schwebstoff/Konz. im Klärschlamm (%) |
|-----|---|-------------|---|
|     | Schwebstoff                             | Klärschlamm |   |
| I13 | 251,07                                  | 67,8        | 370,3   |
| I12 | 359,95                                  | 72,7        | 495,1   |
| I11 | 141,05                                  | k.A.        | -   |
| I41 | 143,97                                  | 54,5        | 264,2   |
| I31 | 3.019,80                                | 196,5       | 1.536,8                                       |
| I21 | 345,34                                  | 483,3       | 71,5  |

- Anhand der Summenwerte für die C10-C13-Chlorparaffine (Tab. 7.10.9) zeigt sich, dass die Konzentrationsüberschüsse im Schwebstoff bei I13 2003 nicht mehr so ausgeprägt sind wie im Vorjahr und dass I31 sowohl hinsichtlich der Konzentrationsüberschüsse im Schwebstoff wie der absoluten Schwebstoffbelas-

tion mit Chlorparaffinen (rd. das zehnfache bis zwanzigfache der anderen Betriebe) eine Außenseiterrolle einnimmt.

#### 10.4 Zusammenfassung Chlorparaffine

Aussagen zum Konzentrationsverhältnis von Chlorparaffinen im Schwebstoff und Klärschlamm sind bei den KKA und IKA 2002/2003 für alle Messwert-Paare möglich.

**Tab. 7.10.10: Chlorparaffine 2002/2003 – Zusammengefasster Konzentrationsvergleich Schwebstoff/Klärschlamm für kommunale und industrielle Kläranlagen**

|     | 2002                  |                       |        | 2003                  |                       |        |
|-----|-----------------------|-----------------------|--------|-----------------------|-----------------------|--------|
|     | PBDE-Konzentration    |                       |        | PBDE-Konzentration    |                       |        |
|     | größer im Schwebstoff | größer im Klärschlamm | gleich | größer im Schwebstoff | größer im Klärschlamm | gleich |
| KKA | 28                    | 3                     | 1      | 17                    | 15                    | -      |
| IKA | 20                    | 4                     | -      | 17                    | 3                     | -      |

Während bei den IKA die Verteilung nach höherer Konzentration der Chlorparaffine im Schwebstoff und im Klärschlamm in beiden Jahren ähnlich ist – 85 Prozent der Fälle mit Dominanz im Schwebstoff – ist dies bei den KKA in beiden Jahren nicht einheitlich. Während 2002 in fast 90 Prozent der Fälle eine höhere CP-Konzentration im Schwebstoff auftritt, ist das Verhältnis 2003 annähernd ausgeglichen.

Im Vergleich zu den anderen KKA weist die KKA Hanau 2002 einen hohen CP-Überschuss im Schwebstoff auf (2003 nicht untersucht).

Bei den industriellen Kläranlagen fällt I31 in beiden Jahren, I13 zumindest 2002 deutlich aus dem Rahmen (höhere Konzentrationsüberschüsse an CP im Schwebstoff) und – I31 – generell sehr hohe CP-Gehalte im Schwebstoff. Die Konzentrationsüberschüsse im Schwebstoff sind sonst nicht übermäßig groß. Sie erreichen bei den KKA mit Ausnahme der KKA Hanau maximal das 5fache (2002) bzw. das 2,5fache, bei den IKA außerhalb von I31 und I13 maximal das 6fache (2002) bzw. 4fache (2003) der Konzentration im Klärschlamm.

#### IV. Schlussbetrachtung Kläranlagen

Die in den vorhergehenden Abschnitten stoffbezogen betrachteten Ergebnisse der Kläranlagenbeprobungen sind in den Übersichten 7.11.1 für die kommunalen und 7.11.2 für die industriellen Kläranlagen noch einmal zusammengefasst. Es wird angegeben, wo die Schadstoffkonzentration im Schwebstoff (x) oder im Schlamm (S) größer war. Anhand dieser Übersichten können einige über die bisherigen Angaben hinausgehende Aussagen getroffen werden (vgl. Tab. 7.11.1-7.11.3).

##### 1. Konsistenz der Ergebnisse

Für die Beantwortung der Frage, inwieweit die Ergebnisse bei den einzelnen Kläranlagen in beiden Jahren der Tendenz nach (größere Konzentration in Schwebstoff oder Klärschlamm) übereinstimmen, können die Messwert-Paare herangezogen werden, die für *beide* Jahre auswertbar waren. Dies sind 336 Messwert-Paare aus IKA und 236 Messwert-Paare aus KKA. In Tab. 7.11.1 wird deren Übereinstimmung/Nichtübereinstimmung angegeben, so dass 168 bzw. 118 Fälle auftreten.

**Tab. 7.11.1: Konsistenz der Messdaten für kommunale und industrielle Kläranlagen 2002/2003**

| Kläranlage                      | Tendenz 2002/2003 gleich (Fallzahl) <sup>1</sup> | Tendenz 2002/2003 gegenläufig (Fallzahl) | Anteil der Fälle mit gleicher Tendenz in % |
|---------------------------------|--|--|--|
| <b>Kommunale Kläranlagen</b>    |  |  |  |
| Fulda                           | 14   | 7  | 66,7                                       |
| Limburg                         | 18   | 5  | 78,3                                       |
| Ffm-Sindlingen <sup>2</sup>     | 14   | 8  | 63,6                                       |
| Kassel                          | 11   | 9  | 55,0                                       |
| Gießen                          | 19   | 5  | 79,2                                       |
| Ffm-Niederrad <sup>2</sup>      | 17   | 3  | 85,0                                       |
| Wiesbaden                       | 7  | 7  | 50,0                                       |
| Hanau                           | k.A.   | k.A.                                     | -  |
| Darmstadt                       | 17   | 7  | 70,8                                       |
| <b>KKA gesamt<sup>3</sup></b>   | <b>117</b>                                       | <b>51</b>                                | <b>69,6</b>                                |
| <b>Industrielle Kläranlagen</b> |  |  |  |
| I13                             | 21   | 12                                       | 63,6                                       |
| I12                             | 16   | 15                                       | 51,6                                       |
| I11                             | 2  | -  | 100,0                                      |
| I41                             | 12   | 3  | 80,0                                       |
| I31                             | 10   | -  | 100,0                                      |
| I21                             | 17   | 10                                       | 63,0                                       |
| <b>IKA gesamt</b>               | <b>78</b>  | <b>40</b>                                | <b>66,1</b>                                |

<sup>1</sup> 9 Fälle (4 bei KKA, 5 bei IKA), in denen die Konzentration in Schwebstoff und Klärschlamm gleich groß ist, wurden dem Schwebstoff zugerechnet. <sup>2</sup> Rohschlämme. <sup>3</sup> Ohne KKA Hanau

Bei den KKA sind die Ergebnisse in beiden Jahren in 117 von 168 Fällen (69,6 Prozent) gleichgerichtet, in 30,4 Prozent der Fälle unterscheidet sich die Tendenz 2002 und 2003. Die geringste Übereinstimmung zeigt sich bei der KKA Wiesbaden (sieben von 14 Fällen in beiden Jahren mit gleicher Tendenz, d.h. 50 Prozent Übereinstimmung), die höchste in Frankfurt/M.-Niederrad (17 von 20 Fällen gleichgerichtet, 85 Prozent Übereinstimmung). Die beiden KKA mit Rohschlamm (Frankfurt/M.-Sindlingen und -Niederrad) fallen grundsätzlich nicht aus dem Rahmen.

Bei den IKA ist die Übereinstimmung mit 66,1 Prozent ähnlich groß. Bei einigen IKA beträgt sie 100 Prozent (I31, I11), im niedrigsten Fall (I12) 51,6 Prozent.

Insgesamt stimmen die Messwert-Paare der einzelnen Kläranlagen hinsichtlich ihrer Tendenz 2002/2003 in zwei Drittel der Fälle überein. In ihnen kommt also eine gewisse Regelmäßigkeit zum Ausdruck.

## 2. Kläranlagen im Vergleich: Wo überwiegt die Schadstoffkonzentration im Schwebstoff, wo im Klärschlamm?

In den nachstehenden Tab. 7.11.2 und 7.11.3 wird für die einzelnen kommunalen und industriellen Kläranlagen die Anzahl der Fälle in 2002 und 2003 angeführt, bei denen die Konzentration der verschiedenen organischen Schadstoffe im Schwebstoff bzw. im Klärschlamm größer war.

Auch hier werden nur die Fälle herangezogen, in denen die Messwert-Paare für 2002 und 2003 in *beiden* Jahren auswertbar waren.<sup>5</sup>

<sup>5</sup> 336 Messwert-Paare aus KKA (ohne KKA Hanau) und 236 Messwert-Paare aus IKA (wie bei Tab. 7.11.1). Die Datenbasis ist damit etwas schmäler als in den vorhergehenden Abschnitten, in denen in den jeweiligen Zusammenfassungen *alle* auswertbaren Messwert-Paare berücksichtigt worden waren, auch wenn keine Daten-Paare für beide Jahre vorlagen (426 Messwert-Paare aus KKA und 307 aus

### 2.1 Kommunale Kläranlagen

Die Ergebnisse für 2002 und 2003 unterscheiden sich deutlich: 2002 war in zwei Drittel der Fälle die Schadstoffkonzentration im Schwebstoff größer als im Klärschlamm (Verhältnis 106:62), 2003 ist dies gerade umgekehrt (Verhältnis 67:101). Bei sechs der acht erfassten KKA (Ausnahmen: KKA Gießen und Darmstadt) herrscht 2002 eine andere Tendenz vor als 2003.

In der Summierung über beide Jahre wird dieser Unterschied verwischt; es ergibt sich ein Anteil der Fälle (Messwert-Paare) mit größerer Konzentration im Schwebstoff als im Klärschlamm von knapp 52 Prozent, wobei die einzelnen KKA jedoch unterschiedliche Verhältnisse zeigen: Bei vier der acht KKA (Wiesbaden, Niederrad, Kassel und Sindlingen) kommt eine Anreicherung im Klärschlamm häufiger vor als bei den vier anderen KKA, wo der Anteil der „Schwebstoff-Fälle“ zwischen über 54 und 77 Prozent liegt.

**Tab. 7.11.2: Kommunale Kläranlagen 2002/2003 – Überwiegen der Schadstoffkonzentration in Schwebstoff bzw. Klärschlamm (Zahl der Fälle und Prozent)<sup>1</sup>**

| Kläranlage                    | 2002                                 |                  | 2003        |             | „Schwebstoff“/<br>„Schlamm“<br>2002/2003 | Anteil<br>„Schwebstoff“<br>2002/2003 |
|-------------------------------|--------------------------------------|------------------|-------------|-------------|--|--------------------------------------|
|                               | höhere Schadstoffkonzentration<br>im |                  |             |             |  |                                      |
|                               | Schwebstoff                          | Klärschlamm      | Schwebstoff | Klärschlamm | Fallzahl                                 | %                                    |
| Fulda                         | 16                                   | 5                | 9           | 12          | 25:17                                    | 59,5                                 |
| Limburg                       | 15                                   | 8                | 10          | 13          | 25:21                                    | 54,3                                 |
| Ffm-Sindlingen <sup>2</sup>   | 14                                   | 8                | 6           | 16          | 20:24                                    | 45,5                                 |
| Kassel                        | 11                                   | 9                | 2           | 18          | 13:27                                    | 32,5                                 |
| Gießen                        | 19                                   | 5                | 18          | 6           | 37:11                                    | 77,1                                 |
| Ffm-Niederrad <sup>2</sup>    | 5                                    | 15               | 8           | 12          | 13:27                                    | 32,5                                 |
| Wiesbaden                     | 8                                    | 6                | 1           | 13          | 9:19                                     | 32,1                                 |
| Hanau                         | [26] <sup>3</sup>                    | [5] <sup>3</sup> | k.A.        | k.A.        | -  | -                                    |
| Darmstadt                     | 18                                   | 6                | 13          | 11          | 31:17                                    | 64,6                                 |
| <b>KKA gesamt<sup>4</sup></b> | <b>106</b>                           | <b>62</b>        | <b>67</b>   | <b>101</b>  | <b>173:163</b>                           | <b>51,5</b>                          |

<sup>1</sup> 4 Fälle, in denen die Konzentration in Schwebstoff und Klärschlamm gleich groß ist, wurden dem Schwebstoff zugerechnet. <sup>2</sup> Rohschlämme. <sup>3</sup> Angaben in Klammern, da nur für 2002 verfügbar; vgl. Übers. 7.11.1. <sup>4</sup> Ohne KKA Hanau

In der Gesamtbetrachtung von Tab. 7.11.2 ist die KKA Hanau wegen fehlender Daten aus 2003 nicht enthalten. 2002 war in Hanau in 26 von 31 auswertbaren Fällen (83,9 Prozent) die Schadstoffkonzentration im Schwebstoff größer als im Klärschlamm (vgl. Übers. 7.11.1 und Tab. 7.11.2). Dies ist auf 2002 bezogen die extremste Verschiebung zum Schwebstoff. Bei den anderen KKA liegt der Anteil der Fälle mit höherer Konzentration im Schwebstoff 2002 zwischen 25 Prozent (Niederrad) und 79 Prozent (Gießen).

### 2.2 Industrielle Kläranlagen

Eine „Tendenz-Umkehr“ wie bei den KKA zeigt sich bei den IKA nicht (vgl. Tab. 7.11.3); die Verhältnisse sind 2002 und 2003 insgesamt sehr ähnlich (75:43 bzw. 76:42). Bei zwei der sechs IKA gibt es leichte Verschiebungen (IKA I12: 2003 häufiger höhere Schadstoffkonzentration im Klärschlamm; IKA I21: 2003 leichte Verschie-

IKA). Auf Basis aller auswertbaren Messwert-Paare ist bei den KKA in 53,3% der Fälle (statt 51,5%, Tab. 7.11.2), bei den IKA in 59,0% der Fälle (statt 64,8%, Tab. 7.11.3) die Konzentration im Schwebstoff größer als im Klärschlamm. Die Ergebnisse unterscheiden sich also nicht grundsätzlich.

bung zum Schwebstoff). Über beide Jahre betrachtet liegt mit Ausnahme von I21 der Anteil der Fälle mit höherer Konzentration im Schwebstoff als im Klärschlamm jeweils zwischen knapp 60 und 100 Prozent, im Mittel aller IKA bei 64 Prozent. Bei I21 beträgt dieser Anteil nur rd. ein Drittel. Anders ausgedrückt: Höhere Konzentration des Schadstoffs im Schwebstoff als im Klärschlamm kommt bei den industriellen Kläranlagen deutlich öfter vor als bei den kommunalen Kläranlagen.

**Tab. 7.11.3: Industrielle Kläranlagen 2002/2003 – Überwiegen der Schadstoffkonzentration in Schwebstoff bzw. Klärschlamm (Zahl der Fälle und Prozent)<sup>1</sup>**

| Kläranlage        | 2002                                 |             | 2003        |             | „Schwebstoff“/<br>„Schlamm“<br>2002/2003 | Anteil<br>„Schwebstoff“<br>2002/2003 |
|-------------------|--------------------------------------|-------------|-------------|-------------|--|--------------------------------------|
|                   | höhere Schadstoffkonzentration<br>im |             |             |             |  |                                      |
|                   | Schwebstoff                          | Klärschlamm | Schwebstoff | Klärschlamm | Fallzahl                                 | %                                    |
| I13               | 22                                   | 11          | 30          | 3           | 52:14                                    | 78,8                                 |
| I12               | 26                                   | 5           | 11          | 20          | 37:25                                    | 59,7                                 |
| I11               | 2                                    | 0           | 2           | 0           | 4:0                                      | 100,0                                |
| I41               | 9                                    | 6           | 10          | 5           | 19:11                                    | 63,3                                 |
| I31               | 10                                   | 0           | 9           | 1           | 19:1                                     | 95,0                                 |
| I21               | 6                                    | 21          | 14          | 13          | 20:34                                    | 37,0                                 |
| <b>IKA gesamt</b> | <b>75</b>                            | <b>43</b>   | <b>76</b>   | <b>42</b>   | <b>151:85</b>                            | <b>64,0</b>                          |

<sup>1</sup> 5 Fälle, in denen die Konzentration in Schwebstoff und Klärschlamm gleich groß ist, wurden dem Schwebstoff zugerechnet.

### 3. Vergleich nach Kläranlagentypen und Stoffgruppen: Wo überwiegt die Schadstoffkonzentration im Schwebstoff, wo im Klärschlamm?

Es war bereits darauf hingewiesen worden, dass einer Interpretation der hier vorliegenden Angaben zu höherer Konzentration der organischen Spurenverunreinigungen im Schwebstoff des KA-Ablaufs im Vergleich zum Klärschlamm wegen ihres punktuellen Charakters, dem z.T. recht langen zeitlichen Auseinanderliegen der Probenahmen bei Schwebstoff und Klärschlamm und dem Fehlen von längerfristigen Zeitreihen enge Grenzen gesetzt sind.

Es ist anzunehmen, dass das unterschiedliche Auftreten höherer Schadstoffkonzentrationen im Schwebstoff oder im Klärschlamm mit Abbauprozessen in der Kläranlage und mit dem Kläranlagenbetrieb in Zusammenhang steht. Höhere Konzentrationen im Schwebstoff als im Klärschlamm können z.B. als Hinweis auf partiellen Abbau im Klärschlamm verstanden werden. Extreme Differenzen (hoher Schwebstoffgehalt, kein Nachweis im Klärschlamm, wie sie bei einigen IKA auftreten) können aber auch mit dem zeitlichen Auseinanderfallen von Schwebstoffbelastung und Klärschlammbeprobung zusammenhängen (Chargenbetrieb/Stoßbelastung) oder mit sonstigen Besonderheiten des Kläranlagenbetriebs (z.B. Verweilzeiten). Außerdem sind die unterschiedliche Abbaubarkeit der Stoffe und die unterschiedlichen Abbauprozesse bei den verschiedenen Kläranlagentypen (mit und ohne Ausfäulung; KKA, IKA) zu bedenken.

Die in diesem Teil der Orientierenden Messungen untersuchten organischen Schadstoffe gelten weitgehend als nicht oder nur schwer abbaubar. Ausnahmen machen im wesentlichen niedrig chlorierte PCB, 1,4-Dichlorbenzol, bei den Chlorpestiziden Endosulfan, mit starker Einschränkung auch die PAK und die zinnorganischen Verbindungen. Durch Abbau von Vorläufersubstanzen können in der Kläranlage einzelne Schadstoffe neu gebildet oder angereichert werden, z.B. Alkylphenole durch Ab-

bau ihrer Ethoxylate oder DBT und insbesondere MBT durch Abbau von Tributylzinn-Verbindungen. Bei den kommunalen Kläranlagen sind schließlich jene, bei denen Rohschlämme zur Verbrennung anfallen (Frankfurt/M.-Sindlingen und -Niederrad), von den übrigen zu unterscheiden, bei denen der Schlamm ausfällt, also auf den aerob-biologischen auch anaerober Abbau folgt. Anaerob schwer abbaubare Substanzen sollten sich dabei im Klärschlamm anreichern, da sie im Gegensatz zum übrigen organischen Material nicht oder nur in geringerer Rate metabolisiert werden. Bei den industriellen Kläranlagen fallen ebenfalls Rohschlämme an. Das Abbauvermögen der IKA sollte im Vergleich zu dem der KKA bei organischen Schadstoffen, die bei ihnen produktionsspezifisch in höherem Maße auftreten, durch entsprechende Anpassung der Anlagen und Adaption der Mikroorganismen besser ausgeprägt sein.<sup>6</sup>

In Tabelle 7.11.4 wird auf Basis sämtlicher auswertbarer Messwert-Paare (vgl. Übers. 7.11.1 und 2) für KKA und IKA nach Stoffgruppen getrennt angegeben, wie groß jeweils der Anteil der Fälle (Messwert-Paare) ist, bei denen die Schadstoffkonzentration im Schwebstoff über der des Klärschlammes liegt.

| Stoffgruppe/<br>Parameter | Kommunale Kläranlagen |                 |                    |                     | Industrielle Kläranlagen |             |
|---------------------------|-----------------------|-----------------|--------------------|---------------------|--------------------------|-------------|
|                           | Fallzahl              | Anteil in % bei |                    |                     | Fallzahl                 | Anteil in % |
|                           |                       | KKA insgesamt   | KKA mit Rohschlamm | KKA mit Faulschlamm |                          |             |
| AOX                       | -                     | -               | -                  | -                   | 11                       | 64          |
| TOC                       | 16                    | 69              | 50                 | 75                  | 10                       | 80          |
| PCB (2002)                | 16                    | 31              | 59                 | 25                  | 10                       | 30          |
| Chloraromaten             | 73                    | 66              | 55                 | 68                  | 112                      | 70          |
| Chlorphenole              | 34                    | 94              | 100                | 93                  | 41                       | 56          |
| Chlorpestizide            | 27                    | 74              | 71                 | 75                  | 17                       | 29          |
| PAK                       | 16                    | 6               | 0                  | 8                   | 12                       | 58          |
| Zinnorganika              | 92                    | 57              | 18                 | 69                  | 47                       | 70          |
| Alkylphenole              | 34                    | 6               | 13                 | 4                   | 22                       | 59          |
| PBDE                      | 96                    | 30              | 30                 | 35                  | 29                       | 55          |
| Chlorparaffine            | 80                    | 71              | 55                 | 77                  | 55                       | 84          |
| Gesamt                    | 484 <sup>1</sup>      |                 |                    |                     | 366 <sup>1</sup>         |             |

<sup>1</sup> Bei den KKA wurden 8, bei den IKA 6 Fälle, in denen die Konzentration in Schwebstoff und Klärschlamm gleich groß ist, dem Schwebstoff zugerechnet.

### 3.1 Kommunale Kläranlagen mit Faulschlamm

Bei den *KKA mit Faulschlamm* besteht in rd. 70-90 Prozent der Fälle ein Konzentrationsüberschuss im Schwebstoff bei

- TOC,
- Chloraromaten,
- Chlorphenolen,
- Chlorpestiziden,

<sup>6</sup> Der 2005 abgeschlossene Umbau der IKA I11 mit dezentraler Vorbehandlung und zweistufiger biologischer Reinigung wird u.a. mit einer veränderten Zusammensetzung der im Industriepark anfallenden Abwasserinhaltsstoffe begründet, die neue Reinigungsverfahren notwendig macht. Infraserb 2003.

- Zinnorganika und
- Chlorparaffinen.

Dies Ergebnis stimmt mit den Angaben zu Schwebstoff- und Klärschlammgehalten in den entsprechenden Stoff-Kapiteln überein. Im einzelnen ist jedoch anzumerken:

Ein *TOC-Konzentrationsüberschuss* im Schwebstoff tritt gehäuft bei den KKA mit *Faulschlamm* auf (in 9 von 12 Fällen); bei den beiden KKA mit *Rohschlamm* ist dies Verhältnis ausgeglichen (2:2). Die Konzentrationsdifferenzen sind bei den KKA mit Faulschlamm fast immer  $<2$  und betragen im Maximum das 2,8fache (vgl. Tab. 7.1.3). Insgesamt ist von einem zusätzlichen TOC-Abbau bei der Schlammfäulung auszugehen.

Bei den als schwer abbaubar geltenden *Chloraromaten* wird der hohe Anteil von Fällen mit größerer Konzentration im Schwebstoff als im Klärschlamm stark durch die von den übrigen KKA abweichenden Verhältnisse bei den KA Fulda und Wiesbaden im Jahr 2002 bestimmt, ferner durch die KKA Hanau (nur 2002 untersucht; vgl. Tab. 7.3.2., Übers. 7.3.1). Fulda und Wiesbaden weisen 21 Fälle mit höherer Schwebstoffkonzentration auf, aber nur einen Fall mit höherer Konzentration im Klärschlamm. 2003 ist das Verhältnis wie bei den anderen KKA ausgeglichen (vgl. Tab. 7.3.3, Übers. 7.3.2). Insofern dürfte das Ergebnis eher durch betriebsspezifische Besonderheiten bei diesen beiden KKA<sup>7</sup> geprägt sein (vgl. auch Kap. 6.03., Abschn. 4.2). Auch bei den KKA mit Rohschlämmen ist das Verhältnis weitgehend ausgeglichen.

Von den zehn ebenfalls schwer abbaubaren *Chlorphenol-Parametern* waren sechs regelmäßig nicht nachweisbar; die restlichen vier (2,4,6-Trichlorphenol, 3,4,5-Trichlorphenol, 2,3,4,6-Tetrachlorphenol und Pentachlorphenol) bestimmen das Bild (vgl. die Übers. 7.4.1 und 7.4.2). Bei 32 von 34 auswertbaren Messwert-Paaren dieser vier Parameter ist die Konzentration im Schwebstoff größer als im Klärschlamm. Die Konzentrationsdifferenzen sind i.d.R. jedoch sehr gering ( $<2$ ) und erreichen im Maximum bei 2,4,6-TCP und Pentachlorphenol das Vierfache, in einem Fall das 20fache. Sonderfaktoren wie bei den Chloraromaten sind nicht auszumachen. Dies gilt ebenso für die KKA mit Rohschlamm.

Eine entsprechende Übereinstimmung zwischen beiden Kläranlagentypen besteht auch bei den *Chlorpestiziden* (nur 2002 untersucht. Bei den auswertbaren Messwert-Paaren (19 Prozent, Rest unterhalb der BG) war in über 70 Prozent der Fälle die Konzentration im Schwebstoff größer als im Klärschlamm. Hier bestimmen in erster Linie p,p-DDT und seine Hauptabbauprodukte (besonders p,p-DDE) das Bild. Für Bromocyclen ist das Verhältnis Schwebstoff/Klärschlamm dagegen ausgeglichen (vgl. Übers. 7.5.1). Die Konzentrationsdifferenzen sind meist nicht ausgeprägt ( $>1$  bis 2) und betragen in fünf Fällen das Vierfache.

Wie in Abschn. III.7 (Zinnorganika) dieses Kapitels dargelegt, unterscheidet sich bei den *Zinnorganika* das Konzentrationsverhältnis Schwebstoff/Klärschlamm für 2002 und 2003 deutlich. Bei den KKA mit *Rohschlamm* ist in beiden Jahren die Konzentration im Schlamm in 9 von 11 Fällen größer als im Schwebstoff. Bei den Faul-

---

<sup>7</sup> Der Anteil an Fällen mit höherer Schadstoffkonzentration im Schwebstoff im Vergleich zum Klärschlamm ist 2002 bei der KKA Fulda überdurchschnittlich, bei der KKA Wiesbaden aber unterdurchschnittlich (vgl. Tab. 7.11.2).

schlamm-Kläranlagen dominiert 2002 die höhere Konzentration im Schwebstoff; 2003 liegt das Gewicht auch hier auf der Schlamm-Seite (vgl. Übers. 7.7.1 und 7.7.2). Einen Anhaltspunkt für die Ursachen der ausgeprägten Unterschiede – bei den KKA mit Faulschlamm zwischen den beiden Jahren und 2002 zwischen Faul- und Rohschlämmen – gibt es nicht. Der Konzentrationsüberschuss ist 2003 i.d.R.  $<3$ , 2003  $<2$  und erreicht im Maximum das 4,5fache.

### 3.2 Kommunale Kläranlagen mit Rohschlamm

Ein hoher Anteil an Fällen (70-100 Prozent), bei denen die Schadstoffkonzentration im Schwebstoff größer ist als im Klärschlamm, tritt bei den zwei KKA mit Rohschlamm nur für die Chlorphenole und die Chlorpestizide auf. Dabei muss einschränkend auf die generell kleinen Fallzahlen verwiesen werden.

Bei den *Chlorphenolen* (7 Fälle, keine erhöhte Konzentration im Klärschlamm) betrifft dies wie bei den Faulschlämmen in beiden KKA und beiden Jahren Pentachlorphenol sowie in der KKA Frankfurt/M.-Niederrad 2,4,6-Trichlorphenol und 2,3,4,6-Trichlorphenol (vgl. Übers. 7.4.1 und 7.4.2). Die Konzentrationsdifferenz beträgt bei PCP das Zwei- bis Vierfache, bei 2,4,6 das Zweifache und ist bei 2,3,4,6-Tetrachlorphenol nur schwach (25  $\mu\text{g}/\text{kg}$  TS gegen  $<20$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  TS im Klärschlamm).

*Chlorpestizide* (nur 2002 untersucht; 5 Fälle, dagegen zweimal erhöhte Konzentration im Klärschlamm): Auf die KKA Frankfurt/M. Sindlingen entfallen vier der fünf Fälle (drei DDT-Derivate, Bromocyclen). Die Konzentration im Schwebstoff beträgt jeweils etwa das Vierfache der Konzentration im Klärschlamm. Bei der KKA Frankfurt/M. Niederrad sind Bromocyclen und p,p-DDE im Klärschlamm höher konzentriert und die Konzentrationsdifferenz bei  $\alpha$ -HCH (4,3  $\mu\text{g}/\text{kg}$  TS im Schwebstoff,  $<3$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  TS im Klärschlamm) ist nicht sehr ausgeprägt.

### 3.3 Industrielle Kläranlagen

Konzentrationsüberschüsse im Schwebstoff gegenüber dem Klärschlamm treten bei den *IKA* deutlich gehäuft (70-85 Prozent der Fälle) für

- TOC,
- Chloraromaten,
- Zinnorganika und
- Chlorparaffine

auf. Sie werden in abgeschwächtem Maße (55-65 Prozent der Fälle) auch für AOX, Chlorphenole, PAK, Alkylphenole und PBDE beobachtet.

Beim *TOC* überwiegt in 80 Prozent der zehn Fälle der Überschuss im Schwebstoff. Die Konzentrationsdifferenzen sind meist recht eindeutig (1,3- bis 8faches). Insofern ist von einer Minderung im Klärschlamm auszugehen.

*Chloraromaten*: Für 70 Prozent der Fälle ergibt sich ein Schwebstoffüberschuss. Bei drei Betrieben (I13, I12, I21) wechseln die Verhältnisse von 2002 zu 2003 mehr oder weniger radikal und sind für beide Jahre zusammengenommen relativ ausgeglichen (vgl. Übers. 7.11.2). Der deutliche Schwebstoffüberschuss für die Stoffgruppe kommt durch die IKA I11 und I31 zustande, die nur 2002 bzw. 2003 beprobt wurden und bei denen (fast) nur höhere Konzentrationen im Schwebstoff, nicht im Klärschlamm, auftreten. Die extremen Konzentrationsdifferenzen bei beiden IKA – sie reichen bei I11

(2002) vom 13- bis zum 83fachen, bei I31 (2003) vom 7- bis zum 1.000fachen – weisen auf betriebsspezifische Bedingungen hin. Bei I12 übersteigen die Konzentrationsdifferenzen dagegen nicht das 3,1fache. Bei I13 mit einer 2003 gegenüber I12 (2002) um 2-3 Größenordnungen geringeren Schwebstoffbelastung liegen die Konzentrationsüberschüsse im Schwebstoff beim >1- bis 10fachen, in wenigen Fällen beim 16- bis 52fachen.

Auch bei den *Zinnorganika* ergibt sich in 70 Prozent der Fälle ein Schwebstoffüberschuss. Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Betrieben sind wie bei den Chloraromaten sehr ausgeprägt. Von den zweijährig beprobten IKA weist eine (I13) relativ ausgeglichene Verhältnisse mit relativ wenigen und niedrigen Werten auf, bei I12 und I21 dominiert fast durchgehend die höhere Konzentration im Schwebstoff, wobei die Konzentrationsdifferenzen bei I12 hoch (MBT: 21faches), bei I21 geringer (MBT: 3,8faches) sind. Die Zinnorganika-Konzentration ist bei I41 (Herstellerbetrieb) im Klärschlamm fast immer größer als im Schwebstoff. Wie in Abschn. III. 7 dargestellt, sind die absoluten Werte in Schlamm und Schwebstoff sehr hoch (z.T. mg/kg TS-Bereich); Anreicherung im Klärschlamm ist bei TBT nicht zu beobachten, während sie bei DBT und MBT deutlich (Schwebstoffkonzentrationen zwischen 21 und 49 Prozent der Schlammkonzentration), bei Tetrabutylzinn, MOT und DOT noch ausgeprägter ist (Schwebstoffkonzentrationen zwischen 4 und 17 Prozent der Schlammkonzentrationen). Insgesamt liegen auch bei den Zinnorganika offensichtlich jeweils betriebsspezifische Verhältnisse vor.

Bei den *Chlorparaffinen* ist die Verteilung nach höherer Konzentration in Schwebstoff und Klärschlamm in beiden Jahren eindeutig: Bei I21 überwiegt fast ausnahmslos Anreicherung im Klärschlamm, bei den anderen IKA im Schwebstoff. Bei letzteren reichen die Konzentrationsdifferenzen für die Summe der C10-C13-CP vom 1,7- bis zum 15fachen. Bei I21 beträgt die C10-C13-Schwebstoffkonzentration 2002 51 Prozent, 2003 72 Prozent der Konzentration im Klärschlamm.

#### *4. Konzentrationsüberschüsse im Schwebstoff nach Kläranlagentypen, Stoffgruppen und Größenordnungen*

Die Abstufung der Konzentrationsüberschüsse im Schwebstoff wird in Tab. 7.11.5 in den Stufen >1- bis <2faches, 2- bis <5faches, 5- bis <10faches, 10- bis <100faches sowie 100- und Mehrfaches der Schadstoffkonzentration im Klärschlamm ausgedrückt. Anzumerken bleibt, dass bei den zusammengefassten Daten die in den vorhergehenden Abschnitten dargestellten (eher moderaten) Unterschiede zwischen den KKA und die z.T. extremen Unterschiede zwischen den IKA verloren gehen.

Bei den KKA erreichen über die Hälfte der Konzentrationsüberschüsse im Schwebstoff maximal das Zweifache der Konzentrationen im Klärschlamm, sind also nicht sehr ausgeprägt. Bei den IKA sind zwei Drittel der Konzentrationsüberschüsse größer als das Zweifache, ein Drittel übersteigt das Fünffache.

Bei beiden Kläranlagentypen sind die nachweisbaren Konzentrationsüberschüsse im Schwebstoff bei Chloraromaten, Chlorphenolen, Zinnorganika und Chlorparaffinen in mehr als der Hälfte der Fälle größer als das Zweifache. Bei den KKA liegen sie nur knapp darüber (zwischen 51,6 und 54,4 Prozent der Fälle), bei den IKA betragen die Anteile zwischen 54,5 und 82,1 Prozent).

**Tab. 7.11.5: Konzentrationsüberschüsse im Schwebstoff bei KKA und IKA – Staffelung nach Größenordnungen<sup>1</sup> (Fallzahlen und Prozent)**

| Parameter                  | Kommunale Kläranlagen |             |             |            |             |          | Industrielle Kläranlagen |             |             |             |             |            |
|----------------------------|-----------------------|-------------|-------------|------------|-------------|----------|--------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|
|                            | Gesamt                | >1-<br><2   | 2-<br><5    | 5-<br><10  | 10-<br><100 | >100     | Gesamt                   | >1-<br><2   | 2-<br><5    | 5-<br><10   | 10-<br><100 | >100       |
| AOX                        | -                     | -           | -           | -          | -           | -        | 7                        | 6           | 1           | -           | -           | -          |
| TOC                        | 11                    | 9           | 2           | -          | -           | -        | 8                        | 4           | 3           | 1           | -           | -          |
| PCB                        | 5                     | 3           | 2           | -          | -           | -        | 3                        | 1           | 2           | -           | -           | -          |
| Chlor-<br>aromaten         | 48                    | 22          | 11          | 7          | 8           | -        | 78                       | 14          | 23          | 9           | 25          | 7          |
| Chlor-<br>phenole          | 31                    | 15          | 15          | -          | 1           | -        | 23                       | 9           | 7           | 4           | 3           | -          |
| Chlor-<br>pestizide        | 20                    | 11          | 9           | -          | -           | -        | 5                        | 4           | 1           | -           | -           | -          |
| Summe<br>EPA-PAK           | 1                     | 1           | -           | -          | -           | -        | 7                        | 2           | 2           | 2           | 1           | -          |
| Zinnorganika               | 50                    | 24          | 24          | 1          | 1           | -        | 33                       | 15          | 11          | 2           | 5           | -          |
| Alkylphenole               | 2                     | 1           | 1           | -          | -           | -        | 13                       | 8           | 3           | 1           | 1           | -          |
| PBDE                       | 19                    | 15          | 3           | 1          | -           | -        | 16                       | 6           | 7           | 3           | -           | -          |
| Chlor-<br>paraffine        | 57                    | 26          | 29          | 1          | 1           | -        | 46                       | 9           | 23          | 7           | 7           | -          |
| <b>Gesamt</b>              | <b>244</b>            | <b>127</b>  | <b>96</b>   | <b>10</b>  | <b>11</b>   | <b>-</b> | <b>239</b>               | <b>78</b>   | <b>83</b>   | <b>29</b>   | <b>41</b>   | <b>8</b>   |
| <b>in % vom<br/>Gesamt</b> | <b>100,0</b>          | <b>52,0</b> | <b>39,3</b> | <b>4,1</b> | <b>4,5</b>  | <b>-</b> | <b>100,0</b>             | <b>32,6</b> | <b>34,7</b> | <b>12,1</b> | <b>17,2</b> | <b>3,3</b> |

<sup>1</sup> Größenordnungen: Überschuss der Konzentration im Schwebstoff gegenüber der Konzentration im Klärschlamm um das xfache

**Übersicht 7.11.1: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff und Klärschlamm von neun kommunalen Kläranlagen 2002/2003**

| Stoffgruppe/<br>Parameter | Fulda |      | Limburg |      | Sindlingen <sup>1</sup> |      | Kassel |      | Gießen |      | Niederrad <sup>1</sup> |      | Wiesbaden |      | Hanau |      | Darmstadt |      | KKA mit höherer<br>Schwebstoffbelastung |      | KKA mit höherer<br>Schlammbelastung |      |
|---------------------------|-------|------|---------|------|-------------------------|------|--------|------|--------|------|------------------------|------|-----------|------|-------|------|-----------|------|---|------|-------------------------------------|------|
|                           | 2002  | 2003 | 2002    | 2003 | 2002                    | 2003 | 2002   | 2003 | 2002   | 2003 | 2002                   | 2003 | 2002      | 2003 | 2002  | 2003 | 2002      | 2003 | 2002                                    | 2003 | 2002                                | 2003 |
| <b>01 AOX und TOC</b>     |       |      |         |      |                         |      |        |      |        |      |                        |      |           |      |       |      |           |      |   |      |                                     |      |
| AOX                       | -     | -    | -       | -    | -                       | -    | -      | -    | -      | -    | -                      | -    | -         | -    | -     | -    | -         | -    | -                                       | -    | -                                   | -    |
| TOC                       | x     | x    | x       | x    | x                       | S    | x      | S    | x      | x    | S                      | x    | S         | S    | -     | -    | x         | x    | 6                                       | 5    | 2                                   | 3    |
| <b>02 PCB</b>             |       |      |         |      |                         |      |        |      |        |      |                        |      |           |      |       |      |           |      |   |      |                                     |      |
| DIN-PCB                   | S     | -    | S       | -    | xx                      | -    | S      | -    | S      | -    | S                      | -    | -         | -    | x     | -    | x         | -    | 3                                       | -    | 5                                   | -    |
| WHO-PCB                   | S     | -    | S       | -    | x                       | -    | S      | -    | S      | -    | S                      | -    | -         | -    | S     | -    | x         | -    | 2                                       | -    | 6                                   | -    |
| <b>03 Chloraromaten</b>   |       |      |         |      |                         |      |        |      |        |      |                        |      |           |      |       |      |           |      |   |      |                                     |      |
| 1,2-<br>Dichlorbenzol     | x     |      |         |      |                         |      |        |      |        |      | S                      |      | x         |      |       | -    |           |      | 2                                       | -    | 1                                   | -    |
| 1,3-<br>Dichlorbenzol     | x     |      | x       |      |                         |      |        |      |        |      |                        |      | x         |      |       | -    |           |      | 3                                       | -    | -                                   | -    |
| 1,4-<br>Dichlorbenzol     | x     |      | S       |      | x                       |      | x      |      | S      |      | S                      |      | x         |      | x     |      | x         |      | 6                                       | -    | 3                                   | -    |

| Stoffgruppe/<br>Parameter | Fulda |      | Limburg |      | Sindlingen <sup>1</sup> |      | Kassel |      | Gießen |      | Niederrad <sup>1</sup> |      | Wiesbaden |      | Hanau |      | Darmstadt |      | KKA mit höherer<br>Schwebstoffbelastung |      | KKA mit höherer<br>Schlammbelastung |      |
|---------------------------|-------|------|---------|------|-------------------------|------|--------|------|--------|------|------------------------|------|-----------|------|-------|------|-----------|------|---|------|-------------------------------------|------|
|                           | 2002  | 2003 | 2002    | 2003 | 2002                    | 2003 | 2002   | 2003 | 2002   | 2003 | 2002                   | 2003 | 2002      | 2003 | 2002  | 2003 | 2002      | 2003 | 2002                                    | 2003 | 2002                                | 2003 |
| 1,2,3-Trichlorbenz.       | x     |      |         | S    | S                       | S    |        |      |        | S    | x                      |      | x         |      | x     | -    | S         | x    | 4                                       | 1    | 2                                   | 3    |
| 1,2,4-Trichlorbenz.       | x     | S    | x       | S    |                         |      |        |      |        | x    | x                      | x    | x         | g    | x     | -    | x         | S    | 6                                       | 3    | -                                   | 3    |
| 1,3,5-Trichlorbenz.       | x     |      |         | S    |                         |      |        |      |        |      |                        |      |           |      | x     | -    |           | S    | 3                                       | -    | -                                   | 2    |
| 1,2,3,4-TetraCB           |       |      |         |      |                         |      |        |      |        |      |                        |      |           | x    |       | -    |           |      | 1                                       | -    | -                                   | -    |
| 1,2,3,5-TetraCB           |       |      |         | x    |                         |      |        |      |        |      |                        |      |           |      |       | -    |           |      | -                                       | 1    | -                                   | -    |
| 1,2,4,5-TetraCB           |       |      |         |      |                         |      |        |      |        |      |                        |      |           |      |       | -    |           |      | -                                       | -    | -                                   | -    |
| Pentachlorbenzol          | x     |      |         |      |                         |      |        |      |        |      |                        |      |           |      |       | -    |           | x    | x                                       | 2    | 1                                   | -    |
| Hexachlorbenzol           | x     | g    | x       | S    | x                       | x    | S      | S    | S      | x    | S                      |      | S         | S    | x     | -    | x         | x    | 5                                       | 4    | 4                                   | 3    |
| 2-Chlortoluol             | x     |      |         |      |                         |      |        |      |        | S    |                        |      |           | x    |       | -    |           |      | 2                                       | -    | -                                   | 1    |
| 3-Chlortoluol             |       |      |         |      |                         |      |        |      |        | S    |                        |      |           |      |       | -    |           |      | -                                       | -    | -                                   | 1    |
| 4-Chlortoluol             | x     |      |         |      |                         |      |        |      |        |      |                        |      |           |      |       | -    |           |      | 1                                       | -    | -                                   | -    |
| 2,4-Dichlortoluol         | x     |      |         |      |                         |      | S      |      |        |      |                        |      |           | x    |       | -    |           |      | 2                                       | -    | -                                   | 1    |
| Hexachlorbutadien         | x     |      |         |      |                         |      |        |      |        |      |                        |      |           |      |       | -    |           |      | 1                                       | -    | -                                   | -    |
| Pentachlorethan           | -     |      | -       |      | -                       |      | -      |      | -      |      | -                      |      | -         |      | -     | -    | -         |      | -                                       | -    | -                                   | -    |
| Hexachlorethan            | -     |      | -       | S    | -                       |      | -      |      | -      |      | -                      |      | -         |      | -     | -    | -         |      | -                                       | -    | 1                                   | -    |
| <b>04 Chlorphenole</b>    |       |      |         |      |                         |      |        |      |        |      |                        |      |           |      |       |      |           |      |   |      |                                     |      |
| 2,4,6-TriCP               | x     | x    | x       | x    |                         |      | x      |      | x      | x    | x                      | x    | x         |      |       | -    |           | x    | 6                                       | 5    | -                                   | -    |
| 3,4,5-TriCP               |       |      |         | x    |                         |      | S      |      | S      |      |                        |      |           |      |       | -    |           |      | -                                       | 1    | 2                                   | -    |
| 2,3,4,6-TetraCP           |       |      |         |      |                         |      |        |      | x      | x    |                        | x    | x         |      |       | -    |           |      | 2                                       | 1    | -                                   | -    |
| Pentachlorphenol          | x     | x    | x       | x    | x                       | x    | x      | x    | x      | x    | x                      | x    | x         |      | x     | -    | x         | x    | 9                                       | 7    | -                                   | -    |
| <b>05 Chlorpestizide</b>  |       |      |         |      |                         |      |        |      |        |      |                        |      |           |      |       |      |           |      |   |      |                                     |      |
| α-HCH                     |       | -    |         | -    |                         | -    |        | -    |        | -    | x                      | -    |           | -    |       | -    |           | -    | 1                                       | -    | -                                   | -    |
| p,p-DDT                   |       | -    |         | -    |                         | -    |        | S    | -      |      | -                      |      | x         | -    | x     | -    |           | -    | 2                                       | -    | 1                                   | -    |
| p,p-DDD                   |       | -    |         | -    | x                       | -    |        | -    | x      | -    |                        | -    |           | -    |       | -    | x         | -    | 3                                       | -    | -                                   | -    |
| o,p-DDD                   |       | -    |         | -    | x                       | -    |        | -    |        | -    |                        | -    |           | -    |       | -    | x         | -    | 2                                       | -    | -                                   | -    |
| p,p-DDE                   | x     | -    | x       | -    | x                       | -    | x      | -    | x      | -    | S                      | -    | S         | -    | x     | -    | x         | -    | 7                                       | -    | 2                                   | -    |
| Bromocyclen               | S     | -    | S       | -    | x                       | -    | x      | -    | x      | -    | S                      | -    | S         | -    | x     | -    | x         | -    | 5                                       | -    | 4                                   | -    |
| <b>07 PAK</b>             |       |      |         |      |                         |      |        |      |        |      |                        |      |           |      |       |      |           |      |   |      |                                     |      |
| 16 EPA-PAK                | S     | S    | S       | S    | S                       | S    | S      | S    | S      | x    | S                      | S    | -         | S    | S     | -    | S         | S    | -                                       | 1    | 8                                   | 7    |
| <b>08 Zinnorganika</b>    |       |      |         |      |                         |      |        |      |        |      |                        |      |           |      |       |      |           |      |   |      |                                     |      |
| Monobutylzinn             | x     | S    | x       | S    | S                       | S    | x      | S    | x      | x    | S                      | S    | x         | S    | x     | -    | x         | x    | 7                                       | 2    | 2                                   | 6    |
| Dibutylzinn               | x     | S    | S       | S    | S                       | S    | x      | S    | x      | x    | S                      | S    | x         | S    | x     | -    | x         | x    | 6                                       | 2    | 3                                   | 6    |
| Tributylzinn              | xx    | x    | x       | x    | x                       | x    | x      | S    | x      | x    | S                      | S    | x         | S    | x     | -    | x         | x    | 8                                       | 5    | 1                                   | 3    |
| Triphenylzinn             |       |      | x       | x    | g                       | x    |        |      | x      |      |                        |      |           |      | x     | -    |           |      | 3                                       | 2    | -                                   | -    |
| Monooctylzinn             | x     | x    | x       | S    | S                       | S    | x      | S    | x      | S    | S                      | S    | x         | S    | x     | -    | x         | x    | 7                                       | 2    | 2                                   | 6    |
| Diocetylzinn              | S     | S    | S       | S    | S                       | S    | x      | S    | x      | S    | S                      | S    | x         | S    | x     | -    | x         | x    | 5                                       | 1    | 4                                   | 7    |
| <b>09 Alkylphenole</b>    |       |      |         |      |                         |      |        |      |        |      |                        |      |           |      |       |      |           |      |   |      |                                     |      |
| p-Nonylphenole            | S     | S    | S       | S    | S                       | S    | S      | S    | S      | S    | S                      | S    | S         | S    | S     | -    | S         | S    | -                                       | -    | 9                                   | 8    |

| Stoffgruppe/<br>Parameter            | Fulda |      | Limburg |      | Sindlingen <sup>1</sup> |      | Kassel |      | Gießen |      | Niederrad <sup>1</sup> |      | Wiesbaden |      | Hanau |      | Darmstadt |      | KKA mit höherer<br>Schwebstoffbelastung |      | KKA mit höherer<br>Schlammbelastung |      |
|--------------------------------------|-------|------|---------|------|-------------------------|------|--------|------|--------|------|------------------------|------|-----------|------|-------|------|-----------|------|---|------|-------------------------------------|------|
|                                      | 2002  | 2003 | 2002    | 2003 | 2002                    | 2003 | 2002   | 2003 | 2002   | 2003 | 2002                   | 2003 | 2002      | 2003 | 2002  | 2003 | 2002      | 2003 | 2002                                    | 2003 | 2002                                | 2003 |
| p-tert.-<br>Octylphenol              | x     | S    | S       | S    | x                       | S    | S      | S    | S      | S    | S                      | S    | S         | S    | S     | -    | S         | S    | 2                                       | -    | 7                                   | 8    |
| <b>18 PBDE</b>                       |       |      |         |      |                         |      |        |      |        |      |                        |      |           |      |       |      |           |      |   |      |                                     |      |
| Summe TriBDE                         |       | g    |         | S    |                         | x    |        |      | x      | x    |                        |      |           |      | x     | -    |           | g    | 2                                       | 4    | -                                   | 1    |
| Summe<br>TetraBDE                    | S     | S    | S       | S    | x                       | x    | S      | S    | x      | x    | S                      | S    | S         | S    | x     | -    | S         | S    | 3                                       | 2    | 6                                   | 6    |
| Summe<br>PentaBDE                    | x     | S    | x       | S    | x                       | x    | S      | S    | x      | x    | S                      | S    | x         | S    | x     | -    | x         | S    | 7                                       | 2    | 2                                   | 6    |
| Summe Hex-<br>aBDE                   |       | S    | S       | S    | x                       | S    | S      | S    | x      | S    |                        | S    | x         | S    | x     | -    | x         | S    | 5                                       | -    | 2                                   | 8    |
| Summe<br>HeptaBDE                    |       | S    |         | S    |                         | S    |        |      | g      | g    |                        | S    |           |      | x     | -    | x         | S    | 3                                       | 1    | -                                   | 5    |
| Summe Oc-<br>taBDE                   |       | S    |         | S    |                         |      |        | S    |        | S    |                        |      |           | S    |       | -    |           | S    | -                                       | -    | -                                   | 6    |
| Summe<br>NonaBDE                     |       | S    |         | S    |                         | S    |        | S    |        | S    |                        | S    |           | S    |       | -    |           | S    | -                                       | -    | -                                   | 8    |
| DecaBDE                              | S     | S    | S       | S    | S                       | S    | S      | S    | S      | S    | S                      | S    | S         | S    | S     | -    | S         | S    | -                                       | -    | 9                                   | 8    |
| <b>19 Chlorparaffine</b>             |       |      |         |      |                         |      |        |      |        |      |                        |      |           |      |       |      |           |      |   |      |                                     |      |
| Summe C10-CP                         | x     | x    | x       | x    | x                       | S    | x      | x    | x      | x    | S                      | x    | -         | S    | xx    | -    | x         | x    | 7                                       | 6    | 1                                   | 2    |
| Summe C11-CP                         | x     | x    | x       | x    | x                       | S    | x      | S    | x      | x    | S                      | x    | -         | S    | x     | -    | x         | x    | 7                                       | 5    | 1                                   | 3    |
| Summe C12-CP                         | x     | S    | x       | x    | x                       | S    | g      | S    | x      | x    | x                      | x    | -         | S    | x     | -    | x         | S    | 8                                       | 3    | -                                   | 5    |
| Summe C13-CP                         | x     | S    | x       | x    | x                       | S    | S      | S    | x      | x    | x                      | x    | -         | S    | x     | -    | x         | S    | 7                                       | 3    | 1                                   | 5    |
| Summe C10-<br>C13-<br>Chlorparaffine | x     | x    | x       | x    | x                       | S    | x      | S    | x      | x    | S                      | S    | -         | S    | x     | -    | x         | x    | 7                                       | 4    | 1                                   | 4    |

<sup>1</sup> Nicht ausgefauter Schlamm

X: Schwebstoffkonzentration >Schlammkonzentration; XX: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff übersteigt die Schadstoffkonzentration im Schlamm um mehr als das Zehnfache; S: Schlammkonzentration >Schwebstoffkonzentration; g: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff und Schlamm gleich groß; Leere Felder: Konzentrationen <BG; - nicht untersucht.

**Übersicht 7.11.2: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff und Klärschlamm von sechs industriellen Kläranlagen 2002/2003**

| Stoffgruppe/<br>Parameter | I13  |      | I12  |      | I11  |      | I41  |      | I31  |      | I21  |      | Zahl IKA mit höherer<br>Schwebstoffbelastung |      | Zahl IKA mit höherer<br>Schlammbelastung |      |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|------|--|------|
|                           | 2002 | 2003 | 2002 | 2003 | 2002 | 2003 | 2002 | 2003 | 2002 | 2003 | 2002 | 2003 | 2002   | 2003 | 2002                                     | 2003 |
| <b>01 AOX und TOC</b>     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |      |  |      |
| AOX                       | S    | x    | S    | S    | x    | x    | S    | g    | -    | x    | x    | x    | 2  | 5    | 3  | 1    |
| TOC                       | x    | x    | x    | x    | x    | -    | x    | x    | -    | S    | S    | x    | 4  | 4    | 1  | 1    |
| <b>02 PCB</b>             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |      |  |      |
| DIN-PCB                   | S    | -    | S    | -    | S    | -    | x    | -    | -    | -    | S    | -    | 1  | -    | 4  | -    |
| WHO-PCB                   | x    | -    | S    | -    | S    | -    | x    | -    | -    | -    | S    | -    | 2  | -    | 3  | -    |
| <b>03 Chloraromaten</b>   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |      |  |      |
| 1,2-Dichlorbenzol         | S    | x    | x    | x    | xx   | -    |      | x    | -    | x    | S    | xx   | 2  | 5    | 2  | -    |
| 1,3-Dichlorbenzol         | S    | x    | S    | S    | xx   | -    |      | S    | -    | xx   | S    | g    | 1  | 3    | 3  | 2    |
| 1,4-Dichlorbenzol         | S    | x    | x    | S    | xx   | -    |      | x    | -    | xx   | S    | x    | 2  | 4    | 2  | 1    |
| 1,2,3-Trichlorbenz.       | x    | x    | x    | S    | xx   | -    |      |      | -    | xx   | S    | x    | 3  | 3    | 1  | 1    |
| 1,2,4-Trichlorbenz.       | g    | x    | S    | S    | xx   | -    |      |      | -    | xx   | S    | x    | 2  | 3    | 2  | 1    |
| 1,3,5-Trichlorbenz.       | x    | x    | x    | S    | xx   | -    |      |      | -    | xx   |      | g    | 3  | 3    | -  | 1    |
| 1,2,3,4-TetraCB           | S    | xx   | x    | S    | xx   | -    |      |      | -    | xx   | S    | g    | 2  | 2    | 2  | 1    |
| 1,2,3,5-TetraCB           |      | x    | x    | S    | xx   | -    |      |      | -    | xx   | S    |      | 2  | 2    | 1  | 1    |
| 1,2,4,5-TetraCB           |      | x    | x    | S    | xx   | -    |      |      | -    | xx   | S    |      | 2  | 2    | 1  | 1    |
| Pentachlorbenzol          | S    | x    | x    | S    | xx   | -    |      |      | -    | xx   | S    | x    | 2  | 3    | 2  | 1    |
| Hexachlorbenzol           | x    | x    | x    | S    | S    | -    |      |      | -    | x    | x    |      | 3  | 2    | 1  | 1    |
| 2-Chlortoluol             | x    | xx   | x    | S    | xx   | -    |      |      | -    | xx   |      |      | 3  | 2    | -  | 1    |
| 3-Chlortoluol             |      | xx   | x    | S    | x    | -    |      |      | -    | xx   |      |      | 2  | 2    | -  | 1    |
| 4-Chlortoluol             | x    | xx   | x    | S    | xx   | -    |      |      | -    | xx   |      |      | 3  | 3    | -  | 1    |
| 2,4-Dichlortoluol         |      | x    | x    | S    | xx   | -    |      | S    | -    | xx   |      |      | 2  | 2    | -  | 1    |
| Hexachlorbutadien         |      |      | x    | S    | xx   | -    |      |      | -    | xx   |      |      | 2  | 1    | -  | 1    |
| Pentachlorethan           |      |      | -    |      | -    | -    |      |      | -    |      |      |      |  |      |  |      |
| Hexachlorethan            |      |      | -    |      | -    | -    |      |      | -    |      |      |      |  |      |  |      |
| <b>04 Chlorphenole</b>    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |      |  |      |
| 2,4,6-TriCP               |      |      | S    |      |      |      |      |      |      |      | S    |      | -  | -    | 2  | -    |
| 2,3,5-TriCP               | S    | S    |      |      | x    |      |      |      |      |      | S    |      | 1  | -    | 2  | 1    |
| 2,3,6-TriCP               | x    | S    | S    |      | x    |      |      |      |      |      |      |      | 2  | -    | 1  | 1    |
| 2,4,5-TriCP               | x    | x    | x    |      | x    |      |      |      |      |      | S    | S    | 3  | 1    | 1  | 1    |
| 2,4,6-TriCP               | x    | S    | x    |      | x    |      | x    |      |      |      | S    | S    | 4  | -    | 2  | 1    |
| 3,4,5-TriCP               |      |      | S    |      |      |      |      |      |      |      |      |      | -  | -    | 1  | -    |
| 2,3,4,5-TetraCP           | x    | x    |      |      | xx   |      |      |      |      |      | S    |      | 2  | 1    | 1  | -    |
| 2,3,4,6-TetraCP           | x    | x    | x    |      |      |      |      |      |      |      | S    |      | 2  | 1    | 1  | -    |
| 2,3,5,6-TetraCP           | S    | x    | S    |      | x    |      |      |      |      |      |      |      | 1  | 1    | 2  | -    |
| Pentachlorphenol          | xx   | x    | x    |      | S    |      |      |      |      |      | x    |      | 3  | 1    | 1  | -    |
| <b>05 Chlorpestizide</b>  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |      |  |      |
| α-HCH                     |      | -    | S    | -    |      | -    |      | -    | -    | -    | S    | -    | -  | -    | 2  | -    |
| β-HCH                     |      | -    | x    | -    |      | -    |      | -    | -    | -    | S    | -    | 1  | -    | 1  | -    |
| γ-HCH                     |      | -    | x    | -    |      | -    |      | -    | -    | -    | S    | -    | 1  | -    | 1  | -    |
| δ-HCH                     |      | -    | S    | -    |      | -    |      | -    | -    | -    | S    | -    | -  | -    | 2  | -    |
| ε-HCH                     |      | -    | x    | -    |      | -    |      | -    | -    | -    | S    | -    | 1  | -    | 1  | -    |

| Stoffgruppe/<br>Parameter        | I13  |      | I12  |      | I11  |      | I41  |      | I31  |      | I21  |      | Zahl IKA mit höherer<br>Schwebstoffbelastung |      | Zahl IKA mit höherer<br>Schlammbelastung |      |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|------|--|------|
|                                  | 2002 | 2003 | 2002 | 2003 | 2002 | 2003 | 2002 | 2003 | 2002 | 2003 | 2002 | 2003 | 2002   | 2003 | 2002                                     | 2003 |
| o,p-DDE                          | x    | -    |      | -    |      | -    |      | -    |      | -    |      | -    | 1  | -    | -  | -    |
| α-Endosulfan                     |      | -    | S    | -    | S    | -    |      | -    |      | -    |      | -    | -  | -    | 2  | -    |
| β-Endosulfan                     |      | -    | S    | -    | S    | -    |      | -    |      | -    |      | -    | -  | -    | 2  | -    |
| Heptachlor                       |      | -    |      | -    |      | -    |      | -    |      | -    |      | -    | -  | -    | -  | -    |
| Bromocyclen                      |      | -    | S    | -    | x    | -    |      | -    |      | -    |      | -    | 1  | -    | 1  | -    |
| <b>07 PAK</b>                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |      |  |      |
| 16 EPA-PAK                       | S    | x    | S    | S    | xxx  | x    | x    | x    | x    | x    | S    | S    | 3  | 4    | 3  | 2    |
| <b>08 Zinnorganika</b>           |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |      |  |      |
| Monobutylzinn                    | S    | x    | xx   | x    | xx   | -    | S    | S    | -    | x    | x    | x    | 3  | 4    | 2  | 1    |
| Dibutylzinn                      | x    | x    | S    |      | xx   | -    | S    | S    | -    | x    | x    | S    | 3  | 2    | 2  | 2    |
| Tributylzinn                     |      | x    |      |      | x    | -    | S    | x    | -    | x    | x    | x    | 2  | 4    | 1  | -    |
| Tetrabutylzinn                   |      |      |      |      | x    | -    | S    | S    | -    |      |      |      | 1  | -    | 1  | 1    |
| Triphenylzinn                    |      |      | x    | x    |      | -    |      |      | -    |      |      |      | 1  | 1    | -  | -    |
| Monooctylzinn                    |      | S    | x    | x    | xxx  | -    | S    | S    | -    | x    | x    | x    | 3  | 3    | 1  | 2    |
| Diocetylzinn                     |      |      | x    | x    | xx   | -    |      | S    | -    | x    | x    | x    | 3  | 3    | -  | 1    |
| Tricyclohexylzinn                |      |      |      |      |      | -    |      |      | -    |      |      |      |  |      |  |      |
| <b>09 Alkylphenole</b>           |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |      |  |      |
| p-Nonylphenole                   | x    | x    | S    | S    | S    | -    | x    | S    | x    | x    | S    | S    | 3  | 2    | 3  | 3    |
| p-tert.-Octylphenol              | x    | xx   | g    | S    | x    | -    | x    | x    | x    | x    | S    | S    | 5  | 3    | 1  | 2    |
| <b>18 PBDE</b>                   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |      |  |      |
| Summe TriBDE                     |      |      |      |      |      | -    |      |      |      |      |      |      |  |      |  |      |
| Summe TetraBDE                   | x    | x    | x    |      |      | -    |      |      | x    | x    | S    | S    | 3  | 2    | 1  | 1    |
| Summe<br>PentaBDE                | S    | x    | x    | S    |      | -    |      |      | x    | x    | S    | S    | 2  | 2    | 2  | 2    |
| Summe HexaBDE                    | S    |      | x    |      |      | -    |      |      |      | x    |      | S    | 1  | 1    | 1  | 1    |
| Summe<br>HeptaBDE                |      |      |      |      |      | -    |      |      |      | x    |      |      | -  | 1    | -  | -    |
| Summe OctaBDE                    |      |      |      |      |      | -    |      |      |      | x    |      | S    | -  | 1    | -  | 1    |
| Summe NonaBDE                    |      |      |      |      |      | -    |      |      |      | x    |      | S    | -  | 1    | -  | 1    |
| DecaBDE                          |      |      |      | x    |      | -    |      | S    |      | x    | S    | S    | -  | 2    | 1  | 2    |
| <b>19 Chlorparaffine</b>         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |      |  |      |
| Summe C10-CP                     | x    | x    | x    | x    | x    | -    | x    | x    | x    | x    | S    | x    | 5  | 5    | 1  | -    |
| Summe C11-CP                     | xx   | x    | x    | x    | x    | -    | x    | x    | x    | xx   | S    | S    | 5  | 4    | 1  | 1    |
| Summe C12-CP                     | xx   | x    | x    | x    | x    | -    | x    | x    | x    | xx   | S    | S    | 5  | 4    | 1  | 1    |
| Summe C13-CP                     | x    | x    | x    | x    | x    | -    | x    | x    | x    | xx   | S    | S    | 5  | 4    | 1  | 1    |
| Summe C10-C13-<br>Chlorparaffine | xx   | x    | x    | x    | x    | -    | x    | x    | x    | xx   | S    | S    | 5  | 4    | 1  | 1    |

x: Schwebstoffkonzentration >Schlammkonzentration; xx: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff übersteigt die Schadstoffkonzentration im Schlamm um mehr als das Zehnfache; xxx: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff übersteigt die Schadstoffkonzentration im Schlamm um mehr als das Hundertfache. S: Schlammkonzentration >Schwebstoffkonzentration; g: Schadstoffkonzentration im Schwebstoff und Schlamm gleich groß; Leere Felder: Konzentrationen <BG; - nicht untersucht.

***V. Lit.***

ATV-DVWK 2002: Arbeitsbericht der ATV-VVWK-AG IG-5.4, Endokrin wirksame Substanzen in Kläranlagen – Vorkommen, Verbleib und Wirkung  
Infraserv 2003: Pressemitteilung vom 4.7.2003