



**FuE-Vorhaben**

**zwischen dem**

**Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie  
Zur Wetterwarte  
01109 Dresden**

**und dem**

**DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW) Karlsruhe  
Außenstelle Dresden  
Scharfenberger Str. 152  
01139 Dresden**

## **Abschlussbericht**

Qualitative Abschätzung und quantitative Ermittlung von Emissionen ausgewählter  
Stoffe relevanter EU-Richtlinien aus kommunalen Abwasseranlagen  
im Freistaat Sachsen

### **Teilprojekt 2**

Bearbeiter: Dr. K. Schröder, Dr. W. Schmidt

Dresden, September 2003

# Inhaltsverzeichnis

<i>Inhaltsverzeichnis</i> .....	<i>1</i>
<b>1 Auftrag</b> .....	<b>2</b>
<b>2 Untersuchungsprogramm</b> .....	<b>3</b>
<b>3 Untersuchungsergebnisse</b> .....	<b>3</b>
<b>3.1 1. Phase</b> .....	<b>3</b>
<b>3.2 2. Phase</b> .....	<b>5</b>
3.2.1 Schwermetalle.....	7
3.2.1.1 Arsen.....	7
3.2.1.2 Blei.....	10
3.2.1.3 Nickel.....	12
3.2.2 Organische Verbindungen.....	15
3.2.2.1 Chloroform.....	15
3.2.2.2 Chloressigsäuren.....	17
3.2.2.3 Dimethylamin.....	20
3.2.2.4 Diethylamin.....	23
3.2.2.5 Diethylhexylphthalat.....	25
3.2.2.6 Pestizide.....	30
<b>3.3 3. Phase</b> .....	<b>31</b>
3.3.1 Kläranlage Dresden-Kaditz.....	32
3.3.2 Kläranlage Chemnitz.....	34
3.3.3 Kläranlage Plauen.....	36
3.3.4 Kläranlage Leipzig-Rosenthal.....	37
<b>4 Zusammenfassung</b> .....	<b>38</b>
<b>5 Empfehlungen für eine Fortsetzung des Messprogramms</b> .....	<b>40</b>
<b>Quellen</b> .....	<b>41</b>

# 1 Auftrag

Im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsvertrages

„Untersuchung, Bewertung und Verminderung von Emissionen ausgewählter, die Gewässerbeschaffenheit beeinträchtigender Abwasserinhaltsstoffe  
im Freistaat Sachsen“

Teilprojekt 2: „Qualitative Abschätzung und quantitative Ermittlung ausgewählter Stoffe relevanter EU-Richtlinien aus kommunalen Abwasseranlagen  
im Freistaat Sachsen“

Aktenzeichen: 13-8802.3522/64-2

zwischen dem Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie und dem DVGW-Technologiezentrum Wasser Karlsruhe, Außenstelle Dresden (TZW) wurden durch das TZW folgende Arbeiten durchgeführt:

1. Phase: Abschätzung über das Vorkommen der Stoffe in kommunalen Abwassern,
2. Phase: Plausibilitätskontrolle der vorgenommenen Abschätzung an Hand von qualitativen Untersuchungen an Kläranlagen der Priorität 1 sowie quantitative Ermittlung relevanter Stoffe in den Abläufen der Kläranlagen
3. Phase: Verknüpfung der Ergebnisse mit denen des Oberflächenmessprogramms zum Zweck der Bewertung und Ableitung von spezifischen Einleitwerten und Handlungsempfehlungen.

## 2 Untersuchungsprogramm

Das Substanzspektrum basiert auf den Vorgaben der Richtlinie 76/464 EWG (Listen I und II) der Europäischen Gemeinschaft [EU-RL 76/464, 1976], der Sächsischen Gewässer-Verschmutzungs-Verringerungsverordnung (SächsGewVVO [SÄCHSGVBL NR. 6/2001]) und ausgewählter Stoffe gemäß Anhang X der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie [WRRL, 2000].

Die in Tabelle 1 aufgelisteten Kläranlagen wurden im Zeitraum vom 04. Juli 2002 bis 14. Mai 2003 viermal beprobt (07/02, 10/02, 01/03 und 05/03). Die Probenahmen erfolgten in Form von 24-Stunden Mischproben, die mittels automatischer Probengeber aus den Kläranlagenabläufen entnommen wurden.

Insgesamt wurden durch das TZW 154 Einzelkomponenten analysiert.

**Tabelle 1: Kläranlagen des Untersuchungsprogramms**

Kläranlage	Flussgebiet
Chemnitz	Zwickauer Mulde
Dresden-Kaditz	Elbe
Leipzig-Rosenthal	Weißer Elster (nach Sachsen-Anhalt)
Plauen	Weißer Elster (nach Thüringen)

## 3 Untersuchungsergebnisse

### 3.1 1. Phase

#### Abschätzung zum Vorkommen einzelner Stoffe

Die Ergebnisse einer Internet- und Literaturrecherche hinsichtlich der Produktionsmengen und Verwendungszwecke der für die Abwässer als relevant erachteten Stoffe sind in der Tabelle A1 im Anhang zusammengefasst. Die Daten beziehen sich jeweils auf die Produktion und Verwendung in Deutschland und in Europa.

Für die überwiegende Zahl der Stoffe war es möglich, Produktionsmengen für Deutschland und Europa einschließlich ihrer Tendenz (Abnahme oder Zunahme) zu erhalten.

Schwierigkeiten ergaben sich im Fall einiger organischer Verbindungen, z.B. den substituierten Benzolen und vor allen Dingen den Pflanzenbehandlungs- und

Schädlingsbekämpfungsmitteln. Zu diesen Substanzen werden durch die Hersteller generell nur wenige Daten veröffentlicht.

Um letztendlich die Umweltrelevanz einzelner Komponenten bewerten zu können, müssen neben den absoluten Produktionsmengen und den Einsatzgebieten insbesondere Informationen über ihren Abbau und Verbleib in der Umwelt zur Verfügung stehen.

Im Fall vieler Einzelstoffe kann im Verlauf einer kommunalen bzw. industriellen Abwasserreinigung die Konzentration im Abwasser erheblich gesenkt werden.

Ungeachtet dessen ist davon auszugehen, dass ein Teil der Substanzen in die Oberflächengewässer gelangt und sich letztlich in der Umwelt anreichert.

Zu den Komponenten, auf die dies zutreffen könnte, gehören insbesondere die Schwermetalle. Beispielsweise wird für Blei eine jährliche Produktionsmenge von 374 kt für Deutschland angegeben. Diese Menge ist, verglichen mit Produktionsmengen anderer Stoffe als hoch einzuschätzen. Aus diesem Grund und infolge der Abgaberaten alter Bleileitungen in Altbauten ist eine ständige Belastung des städtischen Abwassers plausibel.

Im Fall anderer Komponenten, insbesondere einiger organischer Stoffe, ist davon auszugehen, dass es bei einer nur ungenügenden Klärung der Abwässer infolge ihrer charakteristischen Persistenz, zu einer Anreicherung im aquatischen Milieu und besonders in den Böden und Sedimenten kommt.

Zu diesen Verbindungen gehören insbesondere eine Reihe von chlororganischen Verbindungen und die Polyaromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK).

Demgegenüber kann die überwiegende Zahl der organischen Verbindungen im Verlauf der Abwasserklärung eliminiert werden. Zudem werden viele Substanzen in der Natur auf natürlichem Weg biologisch abgebaut.

Aus den Produktionsmengen dieser Stoffe ist demzufolge nur sehr bedingt über ein Vorkommen im Abwasser und vor allen Dingen hinsichtlich ihrer Ökorelevanz zu schließen. Zudem wird die ökotoxische Relevanz der Verbindungen dadurch nicht erfasst.

Ungeachtet dessen sind bei hohen Produktionsmengen eines Stoffes Abwasserkontaminationen nicht auszuschließen und teilweise sogar sehr wahrscheinlich.

Ein Beispiel dafür ist die Komponente *Diethylhexylphthalat* mit einer jährlichen Produktion von 251 kt in Deutschland. Verglichen mit den Produktionsmengen anderer organischer Einzelstoffe handelt es sich hierbei um eine erhebliche Menge. Die Verbindung wird regelmäßig in Abwässern der Klärwerke gefunden (vgl. Abschnitt 3.2). Gesicherte Erkenntnisse über die Eliminierungsraten im Verlauf der Abwasseraufbereitung und den Verbleib in der Umwelt gibt es jedoch noch nicht.

Daneben ist insbesondere mit dem Positivnachweis von biologischen Abbauprodukten in der wässrigen Phase zu rechnen. Ein typisches Beispiel dafür ist die Komponente *Dimethylamin* – ein Abbauprodukt stickstoffhaltiger organischer Verbindungen. Ihr Positivnachweis in Abwässern ist stets sehr wahrscheinlich.

Der vorliegende Bericht basiert auf punktuellen Kontrollen ausgewählter Kläranlagenabläufe. Die Datenlage erlaubt eine vorläufige Einschätzung in Bezug auf

den Eintrag umweltrelevanter Einzelstoffe in die aquatische Umwelt. Die gewonnenen Erkenntnisse dienen als Grundlage für weitere Monitoringprogramme zur Überwachung und zum Schutz der natürlichen Wasserressourcen in Sachsen.

## 3.2 2. Phase

### Plausibilitätskontrolle und quantitative Ermittlung relevanter Stoffe

Die Ergebnisse der vier untersuchten Kläranlagenabläufe im Freistaat Sachsen sind separat in den Tabellen A2-A5 zusammengefasst. Die Tabellen enthalten die untersuchten Parameter, die EG-Nummer, die Bestimmungsgrenze (BG), die jeweils bestimmte Einzelstoffkonzentration und die mittels der durch die Kläranlagen zur Verfügung gestellten Abflussdaten (vgl. Tabelle 2) errechnete Parameter-Fracht, sofern eine definierte Konzentration bestimmt wurde. Daneben sind die festgelegten Qualitätsziele (QZ) für Oberflächengewässer (SächsGewVVO [SächsGVBl Nr. 6/2001]) bzw. die Zielvorgaben der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) bezüglich der Gewässerbelastung [<http://www.umweltbundesamt.de/>] oder die Qualitätsnormen der Musterverordnung vom 5.12.02 zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), [[http://62.154.147.7/dstqb\\_pressesupport/docs/563\\_2\\_1672.pdf](http://62.154.147.7/dstqb_pressesupport/docs/563_2_1672.pdf)] und die zur Analytik der Komponenten eingesetzten Verfahren angegeben.

Die Ergebnisse ausgewählter Stoffe, die in Probenahmen der Kläranlagenabläufe nachgewiesen wurden, werden im Folgenden graphisch dargestellt und erläutert.

Um die Herkunft der Schadstoffe abzuschätzen, wurden die ermittelten Frachten auf die angeschlossenen Einwohner (E) und auf die Einwohnerwerte (EW) der Kläranlagen bezogen. Der industrielle Anteil im Zulauf einer Kläranlage wird in Einwohnergleichwerten (EGW) ausgedrückt. Es gilt:

$$EW = E + EGW \quad \text{(Gleichung 1).}$$

Bezugspunkt für eine Interpretation sind die Verhältnisse der jeweiligen Frachten je Einwohnerwert bzw. je Einwohner. Treten bei den Frachten je Einwohnerwert starke Unterschiede zwischen den Kläranlagen auf, die sich beim Bezug auf die angeschlossenen Einwohner wiederholen, ist dies ein Indiz dafür, dass dieser Schadstoff mit dem industriellen Zulauf in die Kläranlage eingetragen wird. Gleichen sich diese Verhältnisse bei der Betrachtung je Einwohner an, kann angenommen werden, dass die Haushalte den Hauptanteil der Belastung verursachen.

Die Tabellen 2 und 3 charakterisieren die beprobten Klärwerke. Die zum Beprobungszeitraum ermittelten Kläranlagendurchflüsse (Tabelle 2) dienen zur Berechnung der Fracht. Tabelle 3 gibt einen Überblick hinsichtlich der in den Einzugsgebieten ermittelten Einwohnerwerte (vgl. Gleichung 1).

**Tabelle 2: Durchfluss der Kläranlagen in m<sup>3</sup>/d**

am Tag der Probenahme; Angaben der jeweiligen Kläranlage

	<b>Juli 2002</b>	<b>Oktober 2002</b>	<b>Januar 2003</b>	<b>Mai 2003</b>
<b>Chemnitz</b>	61.192	65.360	111.776	79.728
<b>Dresden-Kaditz</b>	93.360	165.120	235.000	122.640
<b>Leipzig-Rosenthal</b>	89.832	96.849	180.359	145.000
<b>Plauen</b>	21.052	28.968	26.352	27.828

**Tabelle 3: Einwohnerwerte (EW), Einwohner (E) und Einwohnerequivalente (EGW) der Kläranlagen; EW = E + EGW**

durchschnittliche Werte; Angaben der jeweiligen Kläranlage

	<b>EW</b>	<b>E</b>	<b>EGW</b>
<b>Chemnitz</b>	320.000	249.000	71.000
<b>Dresden-Kaditz</b>	650.000	552.500	97.500
<b>Leipzig-Rosenthal</b>	480.000	460.000	20.000
<b>Plauen</b>	110.000	64.220	45.780

## 3.2.1 Schwermetalle

### 3.2.1.1 Arsen

Das Element Arsen kommt mit einer natürlichen Häufigkeit von  $5,5 \times 10^{-4}$  Ma.-% (5,5 mg/kg TS) [Römpp, Chemie Lexikon, 1989-1992] in der oberen Erdkruste vorwiegend in sulfidischen Erzen vor. Zu den wichtigsten Mineralien zählen Auripigment –  $\text{As}_2\text{S}_3$ , Proustit -  $\text{Ag}_3\text{AsS}_3$  und Arsenkies -  $\text{FeSAs}$ . Elementares Arsen tritt in mehreren Modifikationen auf, deren wichtigste das graue metallische Arsen und das plastische gelbe Arsen sind. Alle Arsenverbindungen können leicht zum Element reduziert werden.

Die verschiedenen Arsenverbindungen sind je nach Wasserlöslichkeit und chemischem Oxidationszustand sehr unterschiedlich toxisch, während sich ihre Wirkungen weitgehend gleichen. Die niedrigsten für den Menschen akut tödlichen Dosierungen liegen zwischen 1 und 2 mg/kg Körpergewicht. Diese Symptome kündigen sich durch massive Schädigungen des Magen-/Darmkanals an. Es wurden darüber hinaus auch Vergiftungen nach dem Genuss arsenhaltigen Trinkwassers festgestellt [Dieter, 2003].

In der Sächsischen Gewässerverschmutzungsverringerungsverordnung wurde für das Element Arsen ein Qualitätsziel für schwebstoffbürtige Sedimente von 40 mg/kg festgesetzt [SÄCHSGVBL NR. 6/2001].

Die Trinkwasserverordnung schreibt für Arsen einen Grenzwert von 0,01 mg/L vor [TVO, 2001].

Arsenkontaminationen sind nicht nur als Altlast zu bewerten. Heutzutage wird Arsen insbesondere noch als Legierungsbestandteil zur Erhöhung der Härte verschiedenster metallischer Materialien und in der Halbleiterindustrie verwendet. Dadurch kann es verschiedentlich auch infolge nicht sachgerecht geführter Deponien als Bestandteil von Sickerwässern in die Vorfluter bzw. in das Grundwasser gelangen.

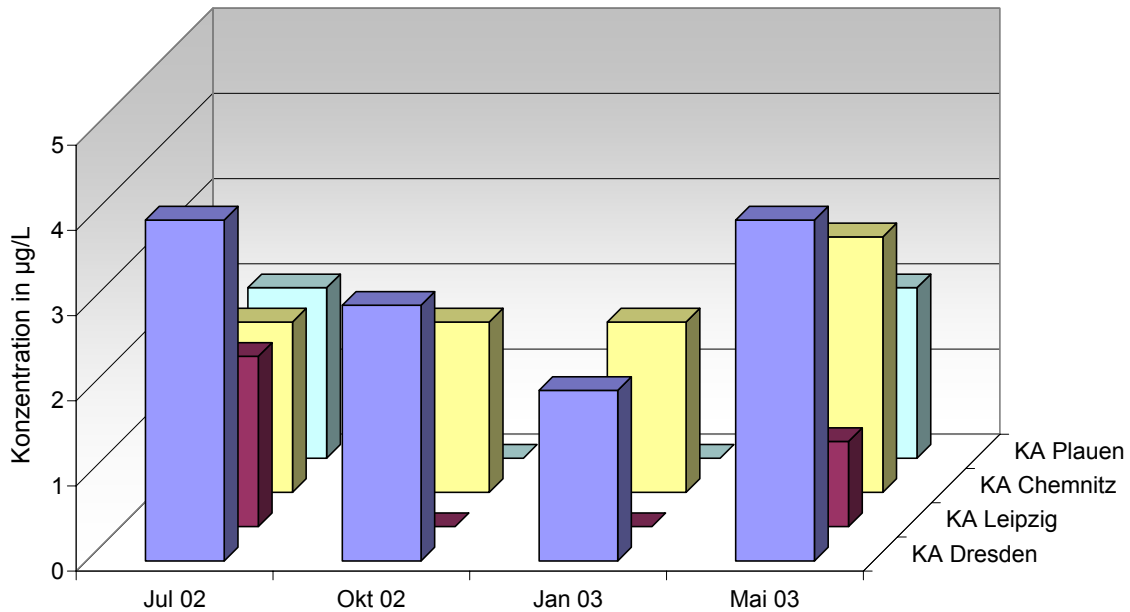
Erhebliche Mengen an Arsen gelangen zudem infolge der Flutung ehemaliger WISMUT-Schächte, beispielsweise im Raum Aue - Schlema, in die Zwickauer Mulde und weitere sächsische Fließgewässer [Schmidt, 1996]. Die dadurch erzeugten Konzentrationen liegen bei maximal 28  $\mu\text{g/L}$  Arsen.

In den Abläufen der vier untersuchten Klärwerke wurde Arsen nachgewiesen. Die Konzentrationen bewegten sich im Bereich bis 4  $\mu\text{g/L}$ . Die Ergebnisse der vier Beprobungen weisen keine signifikanten Unterschiede auf (vgl. Bild 1a).

Aus den ermittelten Konzentrationen von 1 bis 4  $\mu\text{g/L}$  wurden unter Bezugnahme auf die Durchflüsse der Klärwerke die jeweiligen Frachten von 40 bis 500 g/d berechnet (Bild 1b). Aus den berechneten Frachten ist zu schließen, dass Arsen als relativ konstante Belastung der Klärwerkabläufe einzuschätzen ist.

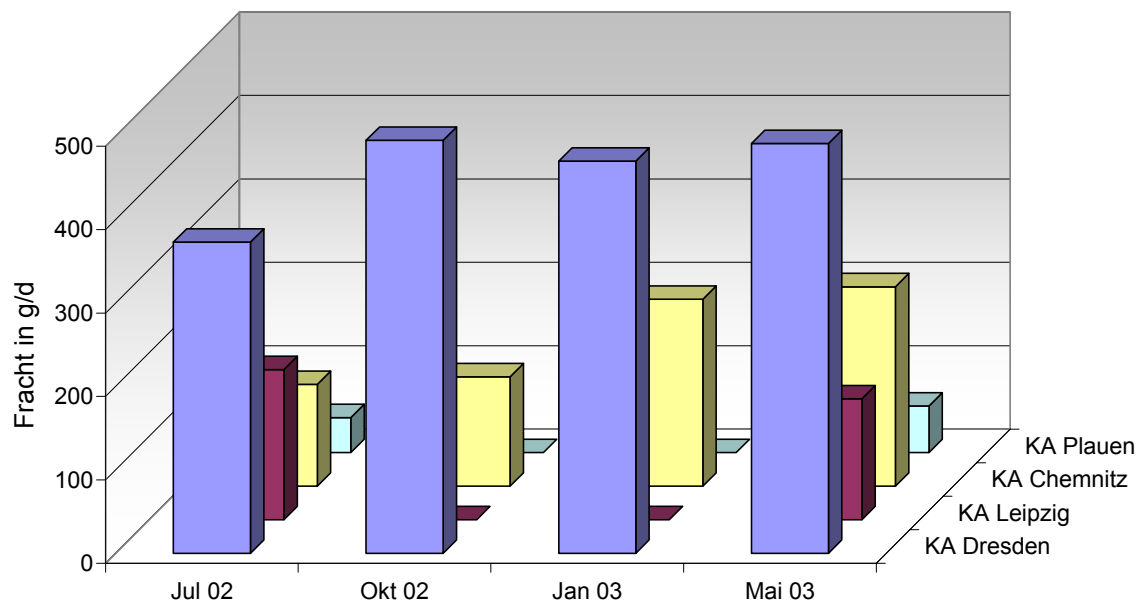


### Arsen-Konzentration



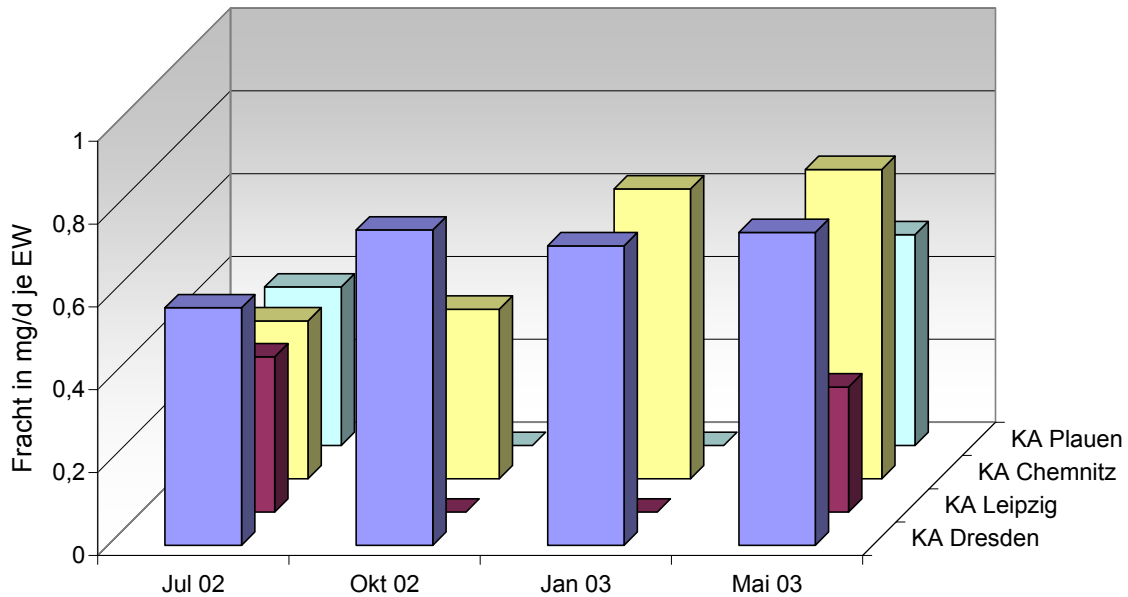
**Bild 1a: Arsen-Konzentrationen in den Abläufen der Kläranlagen**

### Arsen-Fracht



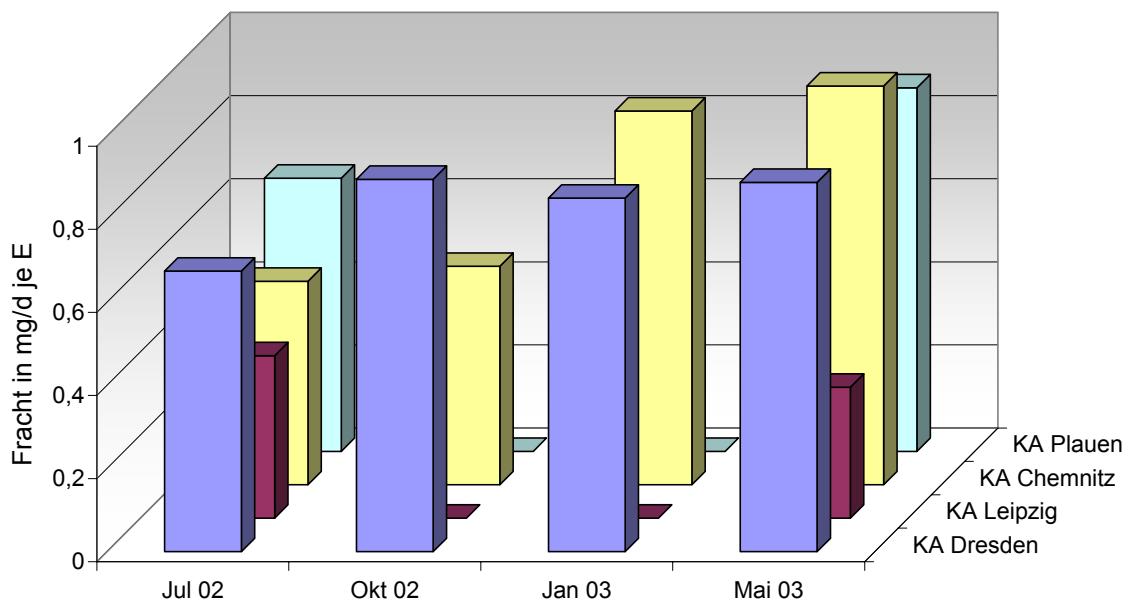
**Bild 1b: Berechnete Arsen-Frachten in den Abläufen der Kläranlagen**

### Arsen-Fracht je Einwohnerwert



**Bild 1c: Arsen-Frachten je Kläranlage bezogen auf dessen Einwohnerwert**

### Arsen-Fracht je Einwohner



**Bild 1d: Arsen-Frachten je Kläranlage bezogen auf dessen angeschlossene Einwohner**

In den Bildern 1c und 1d werden die ermittelten Frachten auf den Einwohnerwert bzw. auf die tatsächlich angeschlossenen Einwohner bezogen. Die Daten zeigen, bis auf einige Ausnahmen, vergleichbare Frachten je Einwohner und Einwohnerwert für die Städte Dresden, Chemnitz und Plauen. Verglichen damit fallen die Werte von Leipzig deutlich niedriger aus. Dies ist ein Indiz dafür, dass die diffusen Arseneinträge im Erzgebirgsvorland im Vergleich mit dem durch die Industrie verursachten Kontaminationen dominieren. Der Raum Leipzig ist aufgrund seiner geographischen Lage davon weniger betroffen.

### 3.2.1.2 Blei

Blei kommt mit einer natürlichen Häufigkeit von  $1,8 \times 10^{-3}$  Ma.-% in der Erdkruste vor. Zu den wichtigsten Bleierzen zählen der *Bleiglanz* – PbS und das *Weißbleierz* – PbCO<sub>3</sub>. Metallisches Blei wird nach wie vor in großen Mengen verarbeitet, beispielsweise bei der Schwefelsäureherstellung, der Produktion von Akkumulatorplatten und als Bestandteil von Legierungen. Als Leitungsmaterial bei der Trinkwasserinstallation darf Blei keine Verwendung mehr finden. Ungeachtet dessen sind Bleileitungen noch in vielen Altbauten vorzufinden. Aufgrund der Abgabe an das Trinkwasser ist dies eine mögliche Quelle der Bleigehalte in Abwässern. Dieser Eintragspfad wird zunehmend an Bedeutung verlieren. Die Konzentration von Blei im Trinkwasser ist auf 10 µg/L begrenzt.

Darüber hinaus gelangt Blei infolge diffuser Abspülungen von urbanen Flächen nach Starkregenereignissen in den Wasserkreislauf.

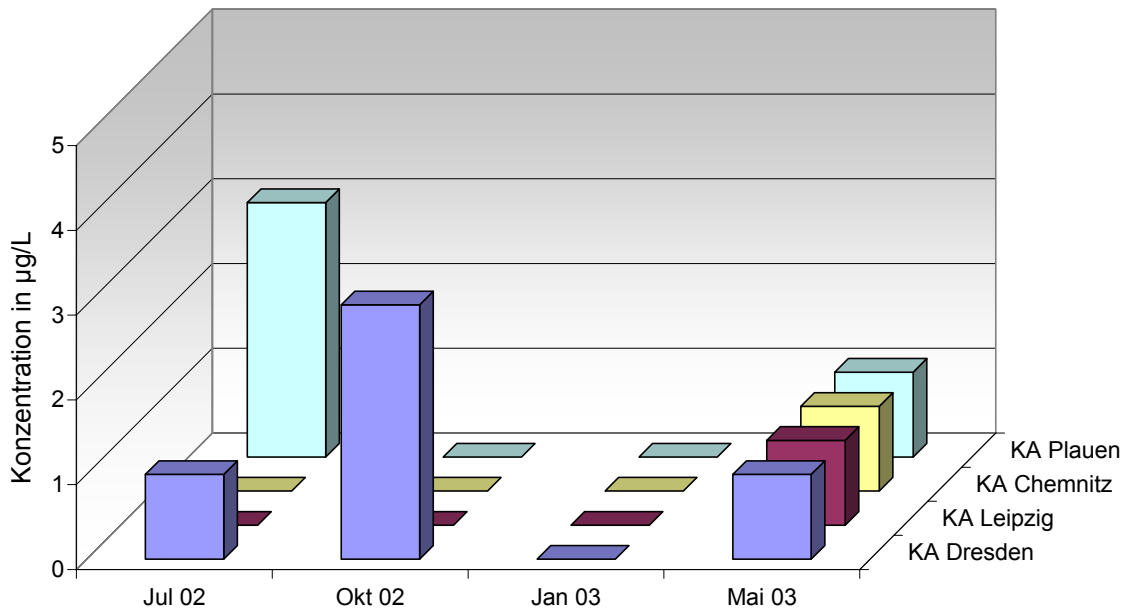
Blei wurde in den Kläranlagen Chemnitz und Leipzig-Rosenthal nur in der Mai-Beprobung nachgewiesen (je 1 µg/L; Bild 2a). Die resultierenden Frachten liegen bei 80 bzw. 145 g/d (Bild 2b).

Im Abfluss der Klärwerke Dresden-Kaditz und Plauen wurden Konzentrationen von 1 bzw. 3 µg/L nur sporadisch nachgewiesen (Bild 2a). Die resultierenden Frachten der Kläranlage Plauen betragen 28 und 63 g/d (Bild 2b). In der Kläranlage Dresden-Kaditz schwanken die ermittelten Frachten von ca. 100 g/d bis knapp 500 g/d (Bild 2b).

Es ist denkbar, dass Hochwasserschäden der Flut vom August 2002 für die erhöhte Bleifracht in der Oktoberprobe verantwortlich sind. Es ist davon auszugehen, dass es infolge des Ausfalls der Kläranlage Dresden-Kaditz während des Sommerhochwassers zu Störungen des Reinigungsprozesses kam. Zudem werden die aus den Überschwemmungsgebieten aufgewirbelten bleihaltigen Sedimente, deren Eintrag insbesondere über den Regenwasserabfluss in das Klärwerk erfolgte, den gemessenen Wert beeinflusst haben.

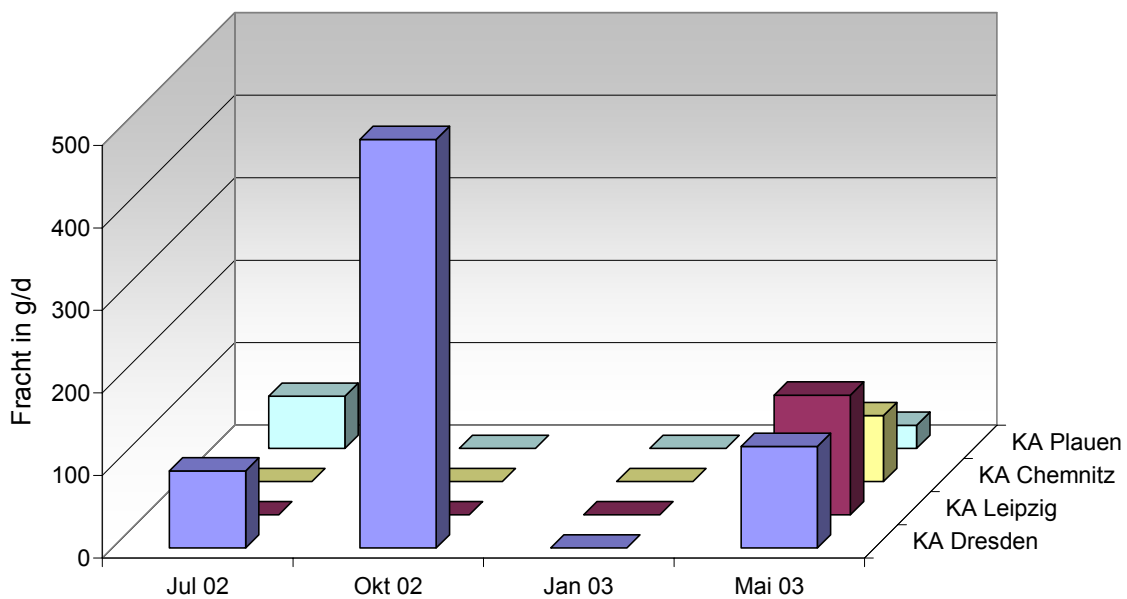
Eine Betrachtung der ermittelten Frachten je Einwohnerwert bzw. je Einwohner wird aufgrund der wenigen Positivbefunde als nicht sinnvoll erachtet.

### Blei-Konzentration



**Bild 2a: Blei-Konzentrationen in den Abläufen der Kläranlagen**

### Blei-Fracht



**Bild 2b: Berechnete Blei-Frachten in den Abläufen der Kläranlagen**

### 3.2.1.3 Nickel

Nickel kommt mit einer natürlichen Häufigkeit von  $1,5 \times 10^{-2}$  Ma.-% in der Erdkruste vor. Spuren von Nickel findet man häufig in Verbindung mit Eisen, Kupfer und Arsen. Die wichtigsten Mineralien des Nickels sind der *Gelbnickelkies*- NiS und der *Rotnickelkies*- NiAs. Nickel findet hauptsächlich als Legierungsbestandteil in der metallverarbeitenden Industrie Verwendung. Insbesondere werden Nickelsalze für galvanische Bäder verwendet.

Für das Auftreten erhöhter Nickel-Konzentrationen in Wässern werden neben den anthropogenen Einleitungen von Industrie und Kleingewerbe zwei weitere Gründe genannt [DVGW, 2000].

a) In der Vergangenheit wurden in manchen Grundwassereinzugsgebieten die Böden mit staubförmigen Emissionen von nahe gelegenen metallherstellenden und -verarbeitenden Industriebetrieben und/oder mit Klärschlämmen belastet, die Nickel enthielten. Infolge einer Versauerung des Niederschlags- und Sickerwassers kann Nickel mobilisiert werden und ins Grundwasser gelangen.

b) Durch die häufig intensive Bodennutzung in Grundwassereinzugsgebieten durch Landwirtschaft und Gartenbau wird Nitrat und - in dessen Gefolge - Sauerstoff in immer tiefere Sicker- und Grundwasserhorizonte verlagert. Liegt dort Nickel geogenen Ursprungs, z.B. in Form schwer löslicher Sulfide vor, so können diese durch mikrobiell katalysierte Redoxreaktionen mit Nitrat und/oder Sauerstoff als Oxidationsmittel in leicht lösliche Sulfate umgewandelt werden.

Nickel wurde in allen vier Kläranlagen in allen vier Beprobungen nachgewiesen. Die Werte lagen zwischen 4 und 14  $\mu\text{g/L}$ , wobei in Dresden-Kaditz bzw. Leipzig-Rosenthal durchschnittlich höhere Konzentrationen bestimmt wurden (Bild 3a).

Diese Gehalte liegen sämtlich unter dem Trinkwassergrenzwert des Nickels von 20  $\mu\text{g/L}$ .

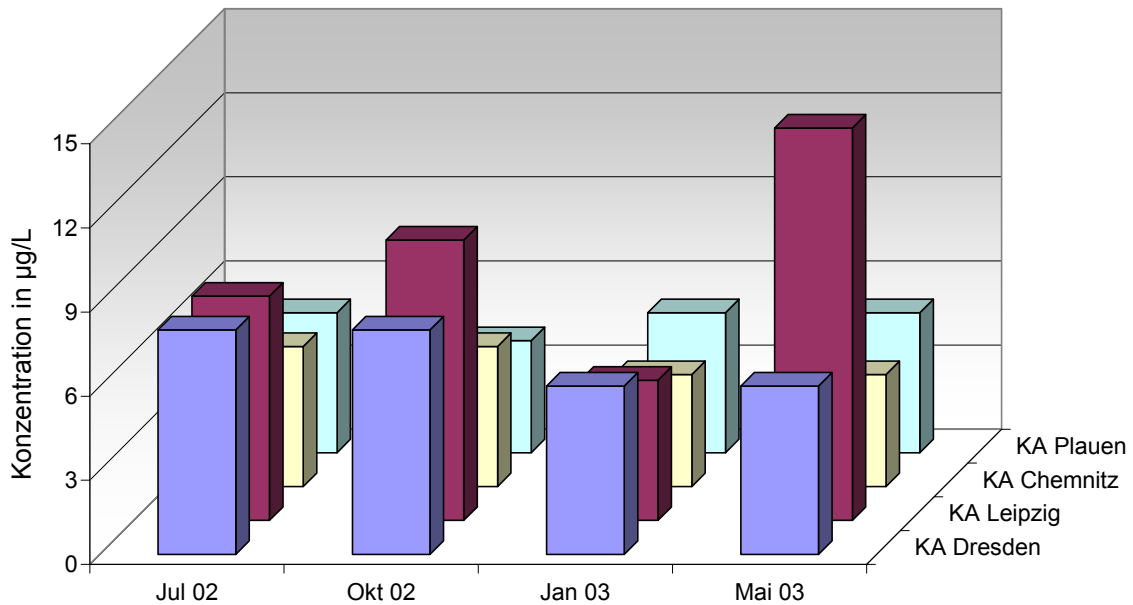
Die Nickelfrachten der Kläranlagen Chemnitz ( $\varnothing$  350 g/d) und Plauen ( $\varnothing$  123 g/d) sind über alle 4 Beprobungen relativ konstant (Bild 3b).

In der Kläranlage Dresden-Kaditz waren die Nickel-Frachten im Oktober 2002 und Januar 2003 (1321 und 1410 g/d) ca. doppelt so hoch wie im Juli 2002 und Mai 2003 (747 und 736 g/d, Bild 3b). Diese Ergebnisse wurden wahrscheinlich durch die Ereignisse des Augusthochwassers im Jahr 2002 verursacht.

Auffällig sind die Beprobungsergebnisse der Kläranlage Leipzig-Rosenthal. Während bei den ersten drei Beprobungen relativ konstante Frachten zwischen 719 und 968 g/d ermittelt wurden, wurde bei der vierten Probe vom Mai 2003 eine Fracht von 2030 g/d berechnet. Eine eindeutige Ursache kann bisher nicht benannt. Eine industrielle Einleitung ist in diesem Fall nicht auszuschließen.

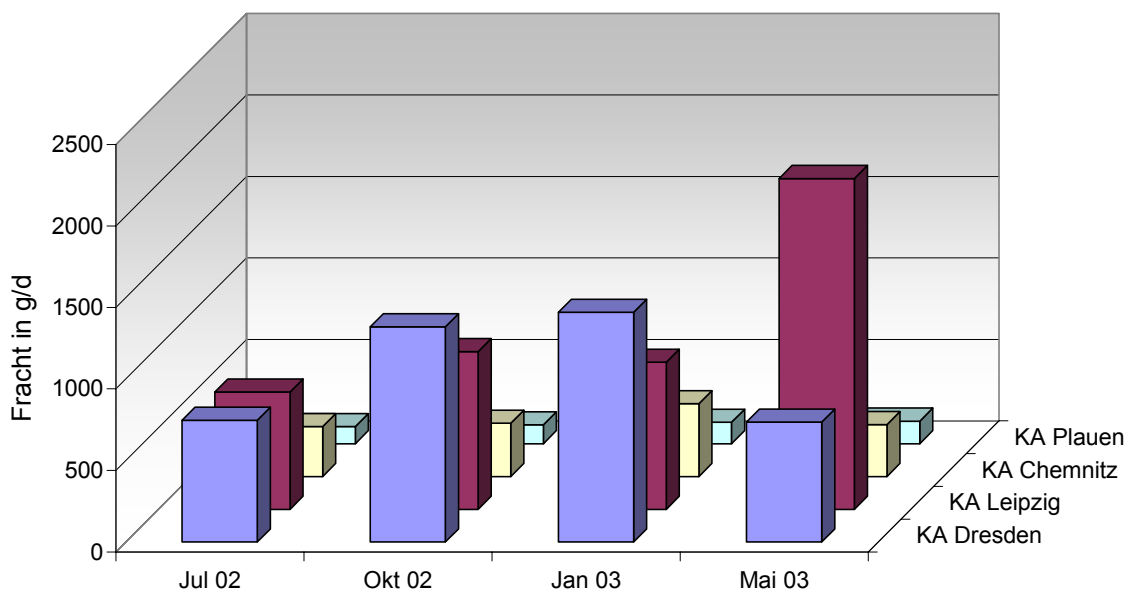
Aus den ermittelten Frachten bezogen auf die Einwohnerwerte (Bild 3c) bzw. auf die angeschlossenen Einwohner (Bild 3d) ist für Dresden, Chemnitz und Plauen kein dominierender industrieller Einfluss zu erkennen. Bis auf wenige Ausnahmen sind die Werte der einzelnen Klärwerkabläufe miteinander vergleichbar. Daraus ist auf einen dominierenden diffusen Eintrag zu schließen.

### Nickel-Konzentration



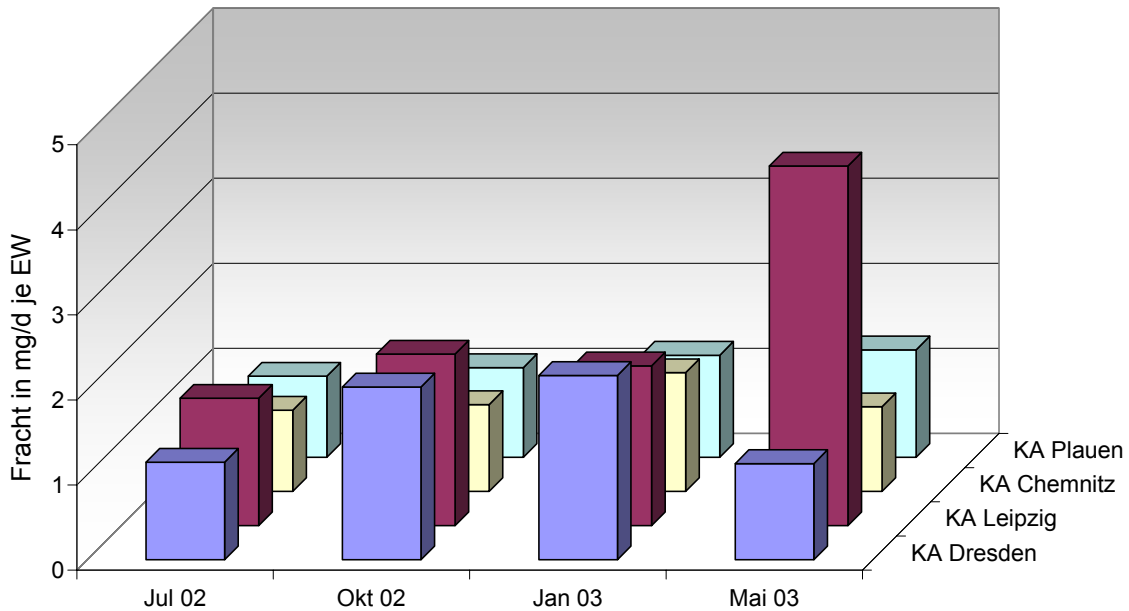
**Bild 3a: Nickel-Konzentrationen in den Abläufen der Kläranlagen**

### Nickel-Fracht



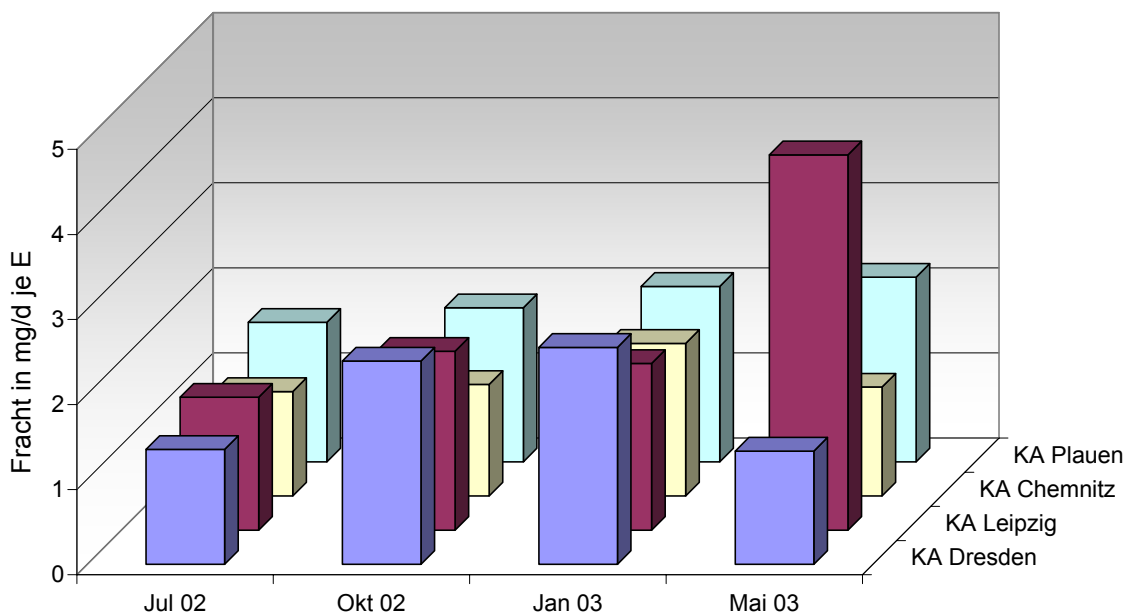
**Bild 3b: Berechnete Nickel-Frachten in den Abläufen der Kläranlagen**

### Nickel-Fracht je Einwohnerwert



**Bild 3c: Nickel-Frachten je Kläranlage bezogen auf dessen Einwohnerwert**

### Nickel-Fracht je Einwohner



**Bild 3d: Nickel-Frachten je Kläranlage bezogen auf dessen angeschlossene Einwohner**

Nicht auszuschließen ist ein erheblicher Eintrag von Nickel in den Kläranlagen selbst. Beispielsweise werden für die Phosphatelimination vorwiegend Eisensalze benutzt. Diese enthalten als Begleitstoffe vornehmlich Chrom, Zink und Nickel [[http://www.iwb-bonn.de/proj\\_hilfsst.htm](http://www.iwb-bonn.de/proj_hilfsst.htm)].

## 3.2.2 Organische Verbindungen

### 3.2.2.1 Chloroform

Chloroform (Trichlormethan) wirkt akarizid und fungizid und wurde bis 1977 in Deutschland als Pflanzenschutzmittel eingesetzt [Römpp, Chemie Lexikon, 1989-1992]. Seine Anwendung wurde mit der Pflanzenschutz-Anwendungsverordnung vom 10. November 1992 BGBl. I 1992 S. 1887 vollständig verboten [<http://www.uvm.baden-wuerttemberg.de/bofaweb/print/g-pflschv.pdf>].

Bedeutung hat es im Laboratorium und in der Technik als Lösungsmittel für Öle, Harze und Kautschuk [Römpp, Chemie Lexikon, 1989-1992].

Für die Summe der Trihalogenmethane ist in der aktuellen Trinkwasserverordnung ein Grenzwert von 50 µg/L (am Zapfhahn des Verbrauchers) festgelegt.

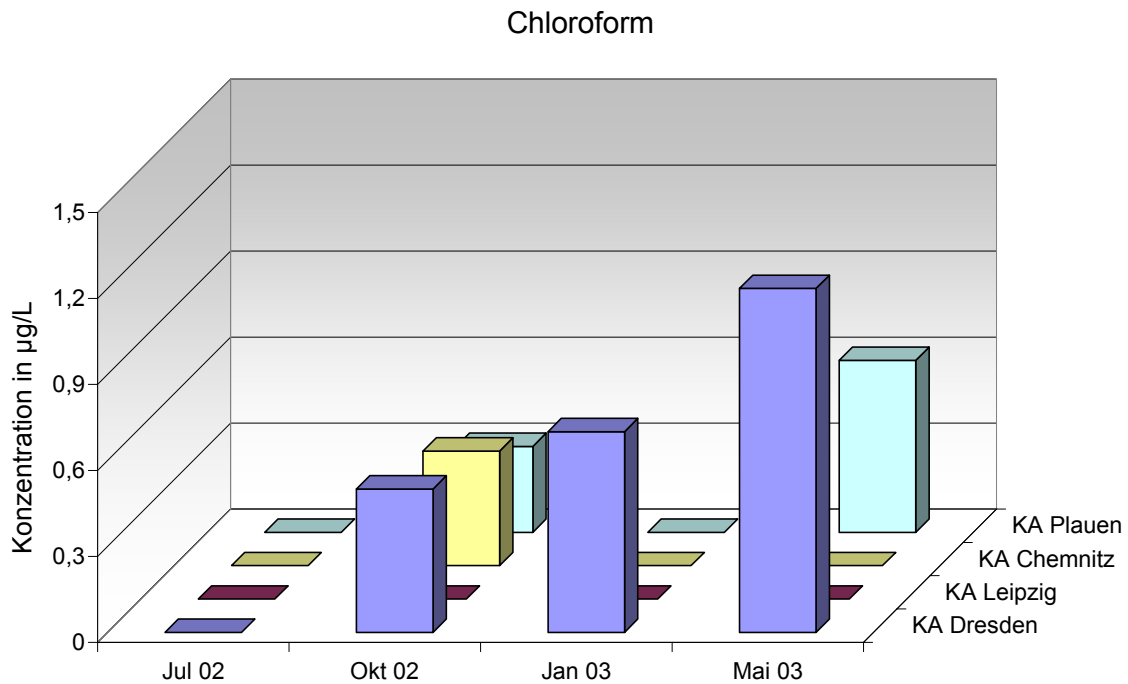
In der WRRL ist für Chloroform eine Qualitätsnorm von 12 µg/l festgelegt [[http://62.154.147.7/dstgb\\_pressesupport/docs/563\\_2\\_1672.pdf](http://62.154.147.7/dstgb_pressesupport/docs/563_2_1672.pdf)].

In Bild 4a sind die gemessenen Chloroform-Konzentrationen der untersuchten Kläranlagen dargestellt. Besonders bemerkenswert sind hier die steigenden Chloroform-Konzentrationen, von 0,4 auf 1,0 µg/L in den Abläufen der Kläranlage Dresden-Kaditz. Über die Ursache hierfür können nur Vermutungen angestellt werden. Beispielsweise wären die erhöhten Chlordosen für die Trinkwasserdesinfektion nach dem Augusthochwasser anzuführen. Zumindest sollte die Entwicklung in Zukunft beachtet werden.

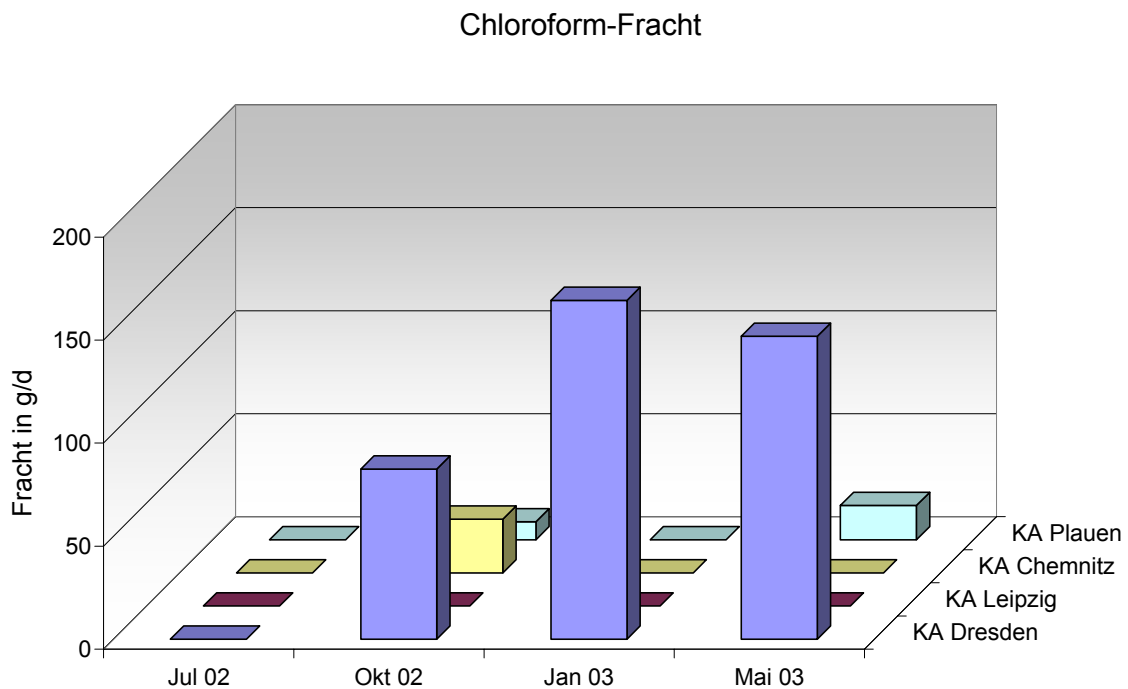
Die aus diesen Konzentrationen resultierenden Frachten sind in Bild 4b dargestellt. Im Fall der Kläranlage Dresden-Kaditz liegen die Werte zwischen 83 und 165 g/d.

Eine Betrachtung der ermittelten Frachten je Einwohnerwert bzw. je Einwohner wird aufgrund der wenigen Positivbefunde nicht als sinnvoll erachtet.





**Bild 4a: Chloroform-Konzentrationen in den Abläufen der Kläranlagen**



**Bild 4b: Berechnete Chloroform-Frachten in den Abläufen der Kläranlagen**

### 3.2.2.2 Chloressigsäuren

Biogene chlororganische Verbindungen kommen in der Natur nur sehr selten vor [Nkusi, 1994]. Die überwiegende Menge der in der Umwelt nachgewiesenen halogenorganischen Verbindungen ist rein anthropogenen Ursprungs. Nach bisherigen Erkenntnissen trifft diese Feststellung uneingeschränkt auf die zu dieser Verbindungsgruppe zählenden Chloressigsäuren zu.

Monochloressigsäure (MCA) dient vorwiegend als Zwischenprodukt zur Herstellung von Carboxymethylcellulose, Pestiziden und anderen Chemikalien. Zudem wird die Verbindung als antimikrobiell wirkender Zusatz in Wein und Getränken eingesetzt [Römpp, Chemie Lexikon, 1989-1992].

Dichloressigsäure wird als Zwischenprodukt für die organische Synthese und als medizinisches Ätzmittel eingesetzt [Römpp, Chemie Lexikon, 1989-1992].

Trichloressigsäure wird als Zwischenprodukt bei der Herstellung ungesättigter Carbonsäuren als Quell- und Lösungsmittel in der Kunststoffindustrie und zur Oberflächenbehandlung von Metallen verwendet [Römpp, Chemie Lexikon, 1989-1992].

Die Verwendung von Trichloressigsäure als Herbizid wurde 1990 in Deutschland eingestellt. Davor wurde die Verbindung insbesondere in der DDR flächendeckend ausgetragen.

Daneben entsteht eine Reihe verschieden chlorierter Essigsäuren bei der Desinfektion des Trinkwassers [Schmidt, 1998]. Die Hauptkomponenten, Tri- und Dichloressigsäure (TCA, DCA) wurden im Trinkwasser in Konzentrationen von bis zu 50 µg/L nachgewiesen. Zudem wird Monochloressigsäure bei der Wasserdesinfektion mit Chlor, jedoch in deutlich niedriger Konzentration gebildet.

In der Landwirtschaft entstehen chlorierte Verbindungen insbesondere bei der Desinfektion von Ställen mit chlorhaltigen Mitteln [z.B.: Vaic, 1999].

Es ist zu erwarten, dass ein natürlicher bzw. induzierter Abbau höher molekularer und mehrfach halogener Säuren über die Zwischenstufe der Monochloressigsäure (Chloressigsäure) abläuft.

Aus diesem Grund ist ein Einfluss der mit Chlorbleichlauge bzw. Chlorgas zum Zweck der Desinfektion versetzten Wässer auf die Gehalte der Chloressigsäure in den durch Abwässer jedweder Art beeinflussten Oberflächengewässern sehr wahrscheinlich.

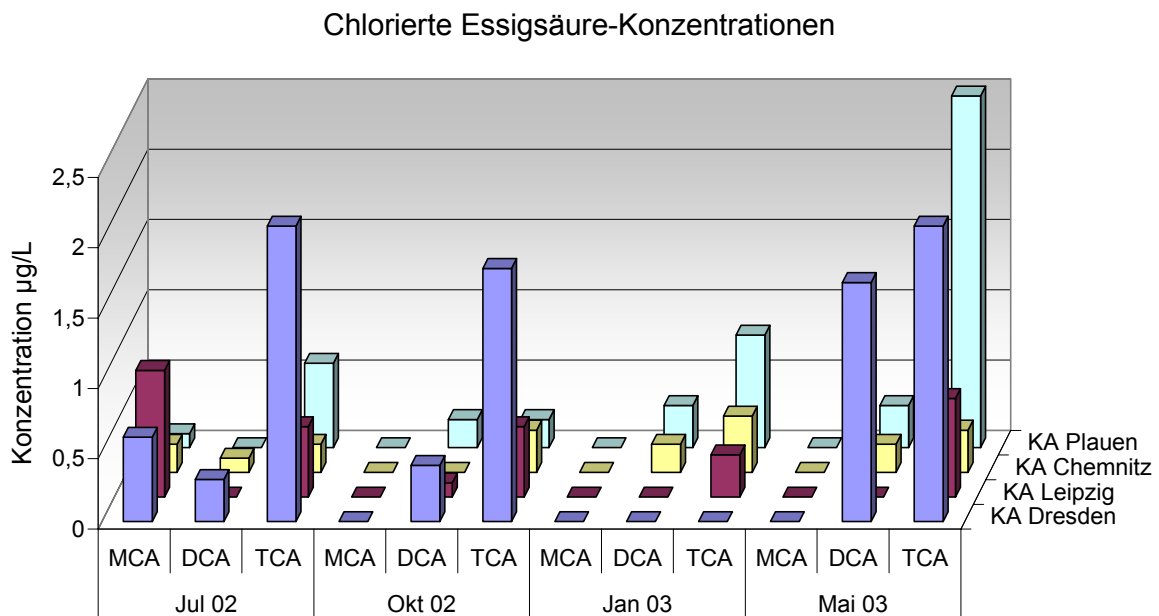
In der Sächsischen GewVVO wurde für Chloressigsäure ein Qualitätsziel von 10 µg/L festgeschrieben [SÄCHSGVBL NR. 6/2001].

Die in den vier Probenahmen der Kläranlagenabläufe bestimmten Konzentrationen der Mono-, Di- und Trichloressigsäure sind in Bild 5a dargestellt. Monochloressigsäure wurde nur in der Probekampagne im Juli 2002 positiv mit Konzentrationen zwischen 0,1 und 0,9 µg/L bestimmt. Anders sieht es bei den mehrfach chlorierten Essigsäuren aus. Dichloressigsäure wurde in 10 und Trichloressigsäure in 15 der 16 untersuchten Proben nachgewiesen. Die gemessenen Konzentrationen lagen für DCA zwischen 0,1 und 1,7 µg/L und für TCA zwischen 0,2 und 2,5 µg/L.

Die ermittelten Frachten sind in Bild 5b dargestellt. Relativ geringe Frachten wurden für die Kläranlagen Plauen, Chemnitz und Leipzig-Rosenthal bestimmt. Signifikant höhere Frachten (200 - 300 g/d an TCA) wurden in den Abläufen der Kläranlage Dresden-Kaditz ermittelt.

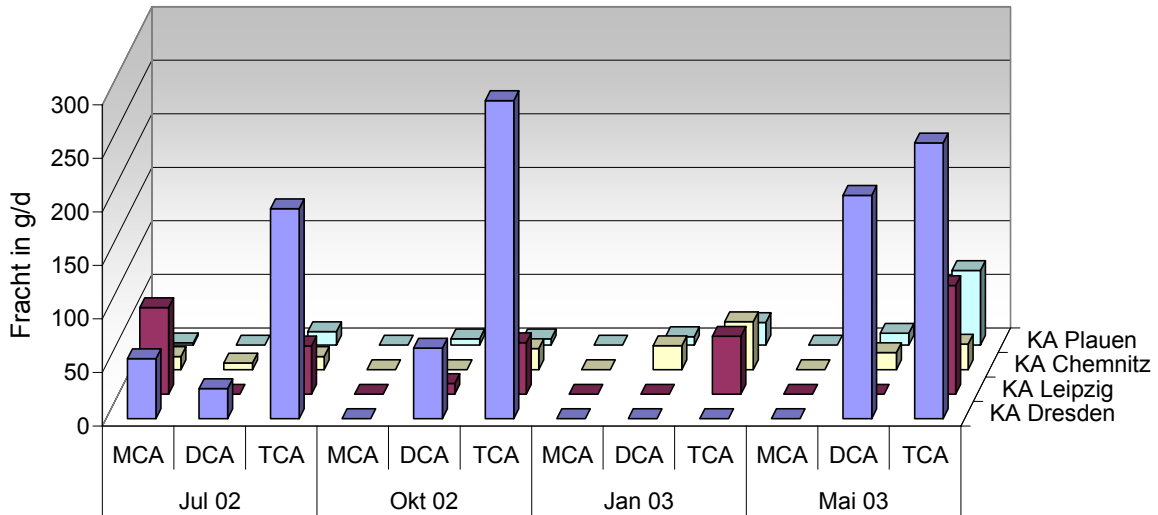
In den Bildern 5c und 5d werden die ermittelten Frachten auf die jeweiligen Einwohnerwerte bzw. auf die angeschlossenen Einwohner bezogen.

Aufgrund der Tatsache, dass mit chlorhaltigen Mitteln desinfiziertes Trinkwasser Spuren an chlorierten Essigsäuren, insbesondere DCA und TCA enthält, ist davon auszugehen, dass diese die hauptsächliche Eintragsquelle in das Abwasser ist. In Dresden sind die Frachten je Einwohner bzw. Einwohnerwert am höchsten. Eine eindeutige Erklärung dafür, beispielsweise Einleitungen der Industrie, konnte aus der Datenlage nicht ermittelt werden.



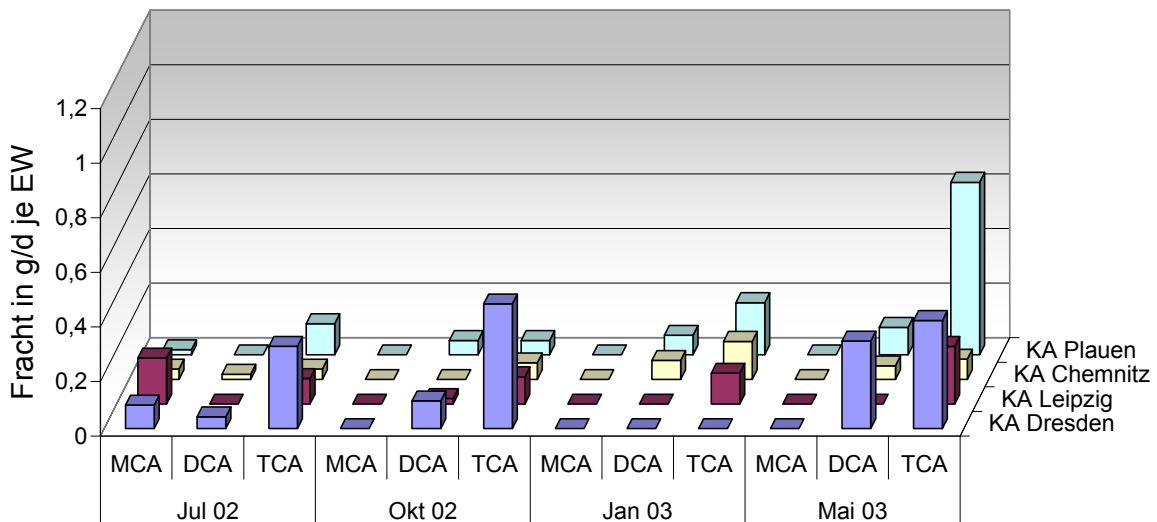
**Bild 5a: Chlorierte Essigsäure-Konzentrationen in den Abläufen der Kläranlagen**

### Chlorierte Essigsäure-Frachten



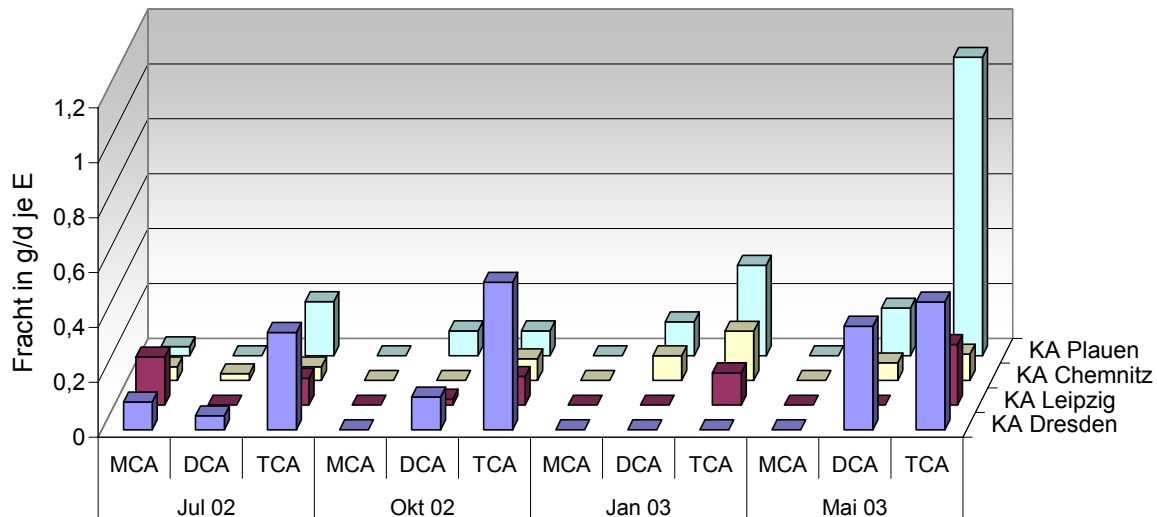
**Bild 5b: ermittelte Chlorierte Essigsäure-Frachten in den Abläufen der Kläranlagen**

### Chlorierte Essigsäure-Frachten je Einwohnerwert



**Bild 5c: Chlorierte Essigsäure-Frachten je Kläranlage bezogen auf dessen Einwohnerwert**

### Chlorierte Essigsäure-Frachten je Einwohner



**Bild 5d: Chlorierte Essigsäure-Frachten je Kläranlage bezogen auf dessen angeschlossene Einwohner**

### 3.2.2.3 Dimethylamin

Dimethylamin ist ein natürliches Zersetzungsprodukt von Eiweißstoffen in Hefe, Käse und lebenden Organismen, beispielsweise Fischen.

Daneben findet Dimethylamin auch in der chemischen Industrie bei der Herstellung von Fungiziden, Herbiziden, Antioxidantien, Detergentien und Pharmazeutika Verwendung [Römpp, Chemie Lexikon, 1989-1992].

In der Sächsischen GewVVO wurde für Dimethylamin ein Qualitätsziel von 10 µg/L festgeschrieben [SÄCHSGVBL NR. 6/2001].

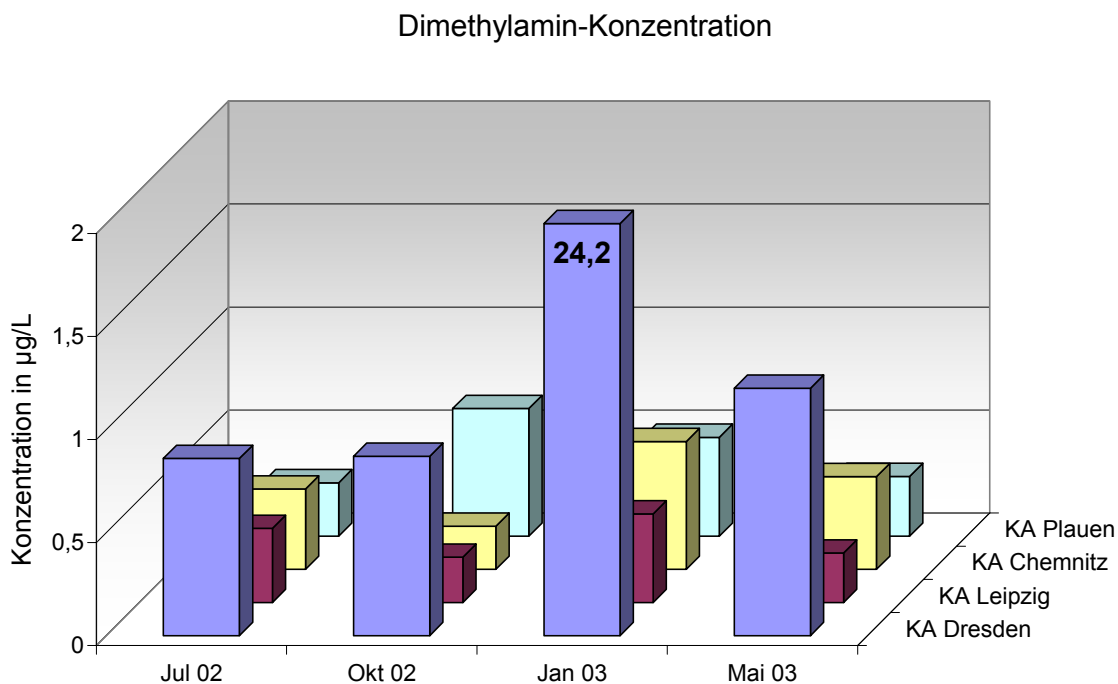
Die Verbindung wurde in allen vier Kläranlagen bei jeweils vier Beprobungen nachgewiesen. In der Regel sind die Konzentrationen des Dimethylamins im Abwasser mit Werten zwischen 0,2 bis 1,2 µg/L als sehr niedrig einzustufen (Bild 6a).

Im Ablauf der Kläranlage Dresden-Kaditz wurde in der Januar-Probe ein vergleichsweise extrem hoher Wert von 24,2 µg/L nachgewiesen (Bild 6a). Der Ablauf der Kläranlage am Tag der Probenahme (21.01.03) wurde mit 235.000 m<sup>3</sup>/d angegeben. An diesem Tag betrug der mittlere Abfluss der Elbe bei Dresden ca. 500 m<sup>3</sup>/s = 43.200.000 m<sup>3</sup>/d. Unter der Annahme, dass die Elbe vorher nicht mit Dimethylamin belastet war, hätte die Elbe danach eine ungefähre Belastung von 0,13 µg/L aufweisen müssen.

In extremen Trockenphasen (Abfluss von  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ ) würde eine Ablauffracht dieser Größenordnung eine Belastung von  $0,66 \text{ }\mu\text{g/L}$  bedeuten. Auch wenn das Qualitätsziel der SächsGewVVO von  $10 \text{ }\mu\text{g/L}$  [SÄCHSGVBL NR. 6/2001] noch erfüllt ist, bleibt zu erwähnen, dass Dimethylamin in dieser Konzentration der unangenehme Geruch nach verfaultem Fisch zu Eigen ist.

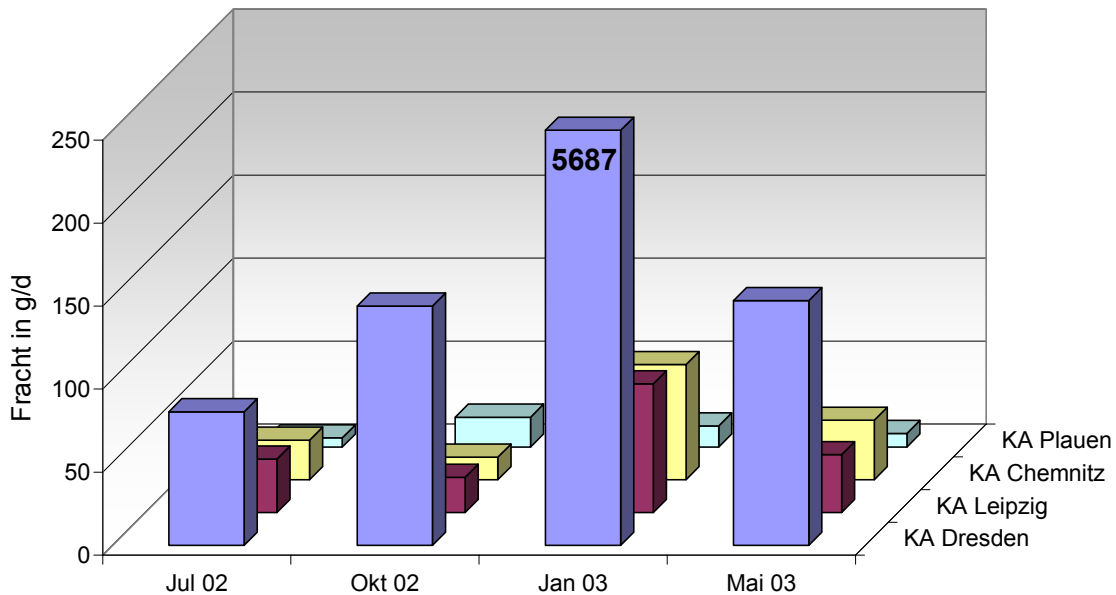
Im Bild 6b sind die ermittelten Frachten an Dimethylamin dargestellt. Generell höhere Frachten wurden für die Abläufe der Kläranlage Dresden-Kaditz ermittelt (Bild 6b).

Die Bilder 6c und 6d geben die ermittelten Frachten bezogen auf die Einwohnerwerte bzw. auf die angeschlossenen Einwohner je Kläranlage wieder. Diese relativen Frachten weisen große Unterschiede auf. Von daher handelt es sich offensichtlich nicht um vornehmlich durch Haushalte verursachte Einträge.



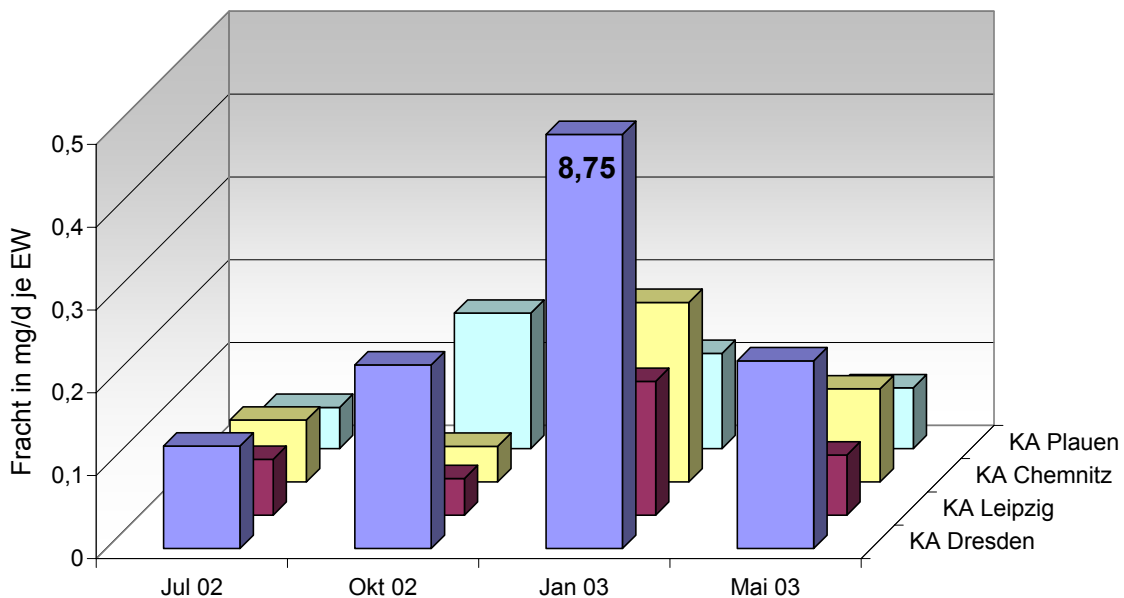
**Bild 6a: Dimethylamin-Konzentrationen in den Abläufen der Kläranlagen**

### Dimethylamin-Fracht



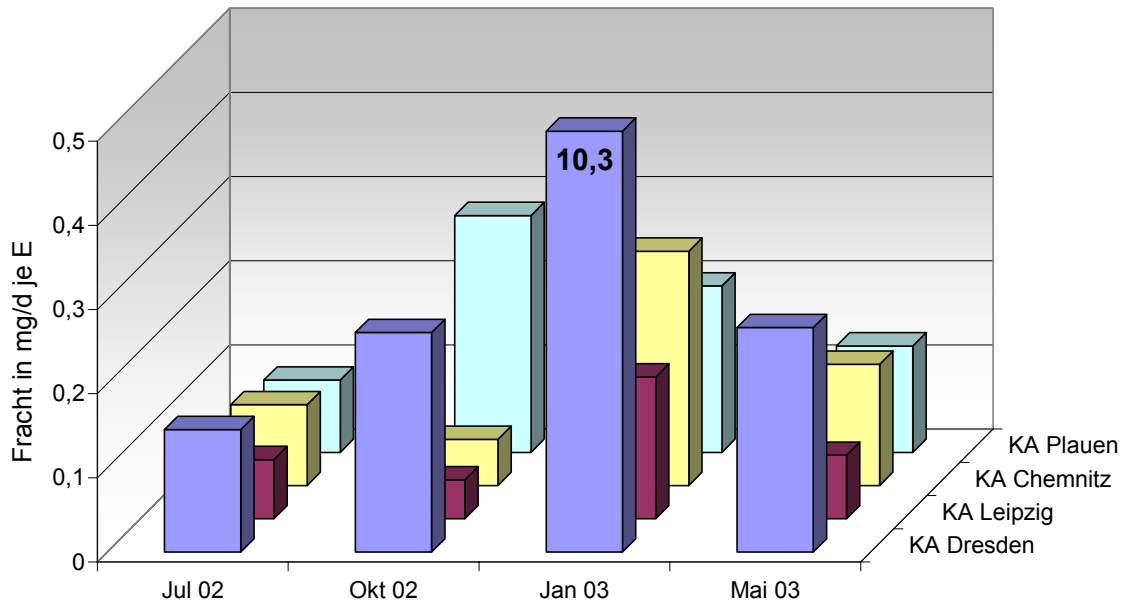
**Bild 6b: ermittelte Dimethylamin-Frachten in den Abläufen der Kläranlagen**

### Dimethylamin-Fracht je Einwohnerwert



**Bild 6c: Dimethylamin-Frachten je Kläranlage bezogen auf dessen Einwohnerwert**

## Dimethylamin-Fracht je Einwohner



**Bild 6d: Dimethylamin-Frachten je Kläranlage bezogen auf dessen angeschlossene Einwohner**

### 3.2.2.4 Diethylamin

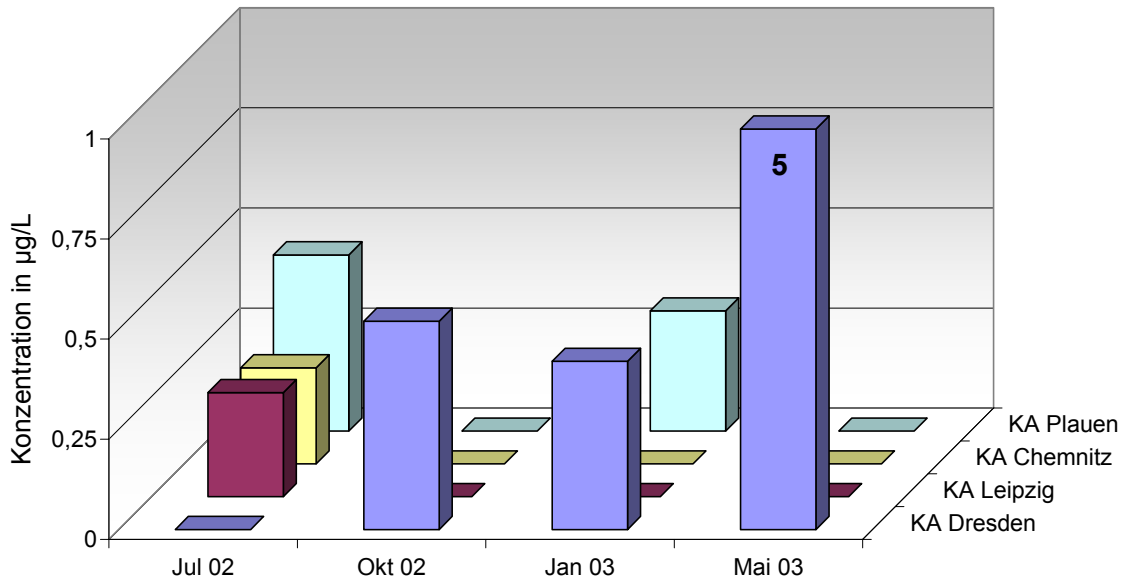
Diethylamin wird bei der Herstellung von Kautschuk- und Textilchemikalien, Kunstharz, Farbstoffen, Insektiziden und Pharmaka verwendet.

In der Sächsischen GewVVO wurde für Diethylamin ein Qualitätsziel von 10 µg/L festgeschrieben [SÄCHSGVBL NR. 6/2001].

Bild 7a zeigt die in den Abläufen der beprobten Kläranlagen bestimmten Konzentrationen, die sich im Bereich zwischen 0,2 und 0,5 µg/L bewegen. Eine Ausnahme mit 5 µg/L stellt das Ergebnis der Mai-Beprobung der Kläranlage Dresden-Kaditz dar. Bemerkenswert sind zudem die vergleichsweise deutlich erhöhten Frachten an Diethylamin (Bild 7b) in der zweiten bis vierten Beprobung der Kläranlage Dresden-Kaditz. Da die Konzentration von Diethylamin im Ablauf der Kläranlage Dresden-Kaditz jedoch noch deutlich unter dem Qualitätsziel der Sächsischen GewVVO liegt, werden weitere ursächliche Betrachtungen als nicht sinnvoll erachtet. Eine Beobachtung der Entwicklung sollte jedoch beibehalten werden.

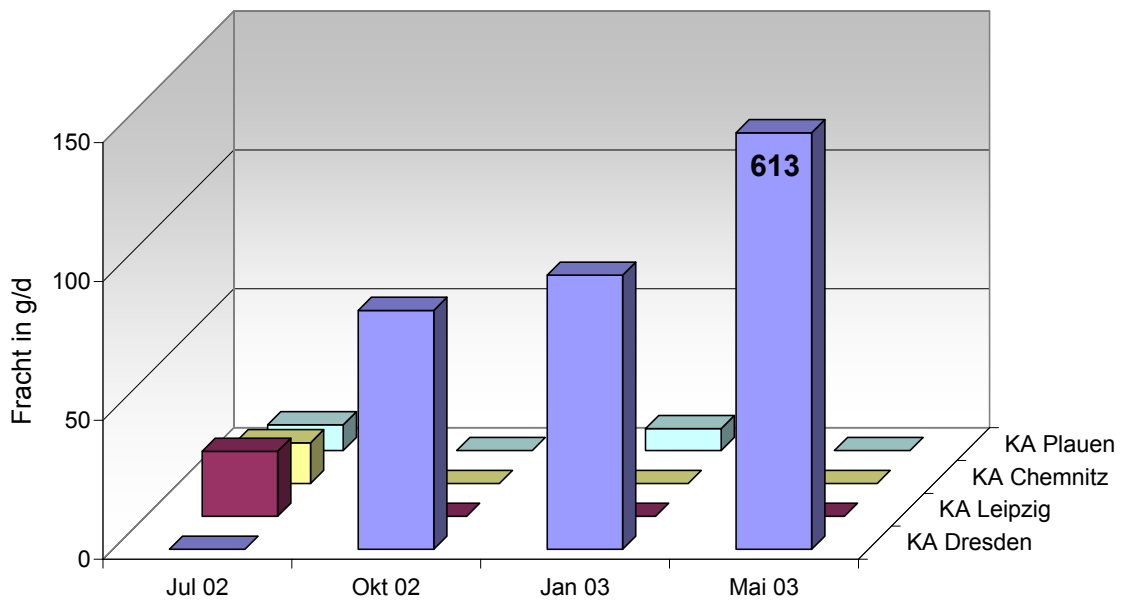


### Diethylamin-Konzentration



**Bild 7a: Diethylamin-Konzentrationen in den Abläufen der Kläranlagen**

### Diethylamin-Fracht



**Bild 7b: Berechnete Diethylamin-Frachten in den Abläufen der Kläranlagen**

### 3.2.2.5 Diethylhexylphthalat

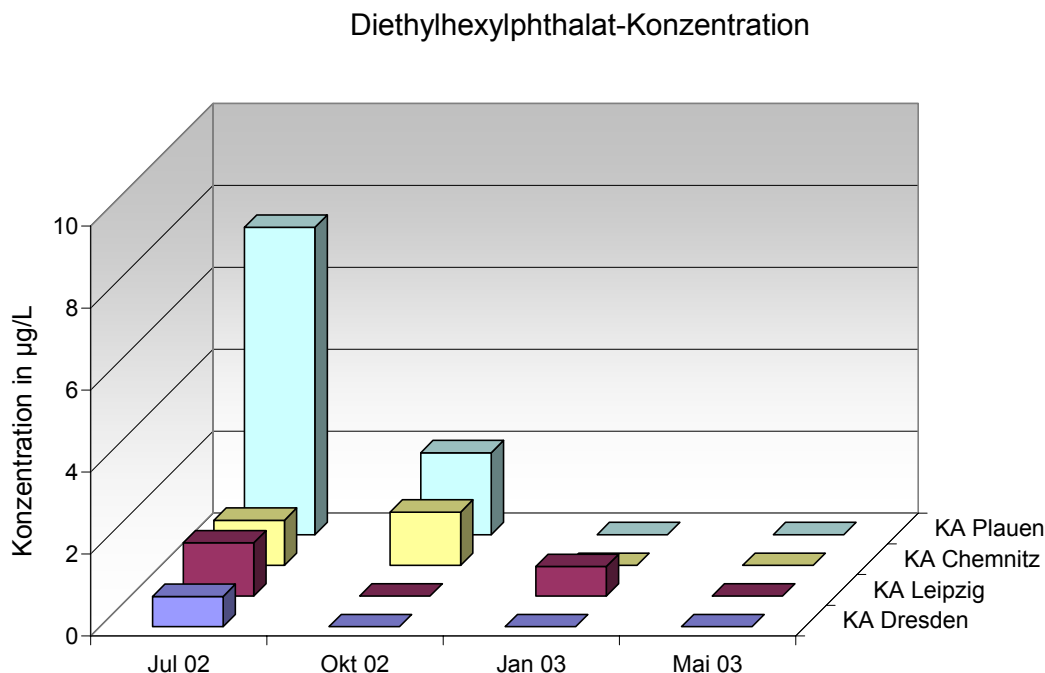
Die Komponente Diethylhexylphthalat (DEHP) wird als Weichmacher für die Herstellung von PVC sowie für die Produktion von Farben, Lacke, Dispersionen, Zellulose, Polyesterol, Kautschuk, Schmiermittel und Pharmaka verwendet [Römpp, Chemie Lexikon, 1989-1992].

Mit 250 kt in Deutschland und fast 600 kt in Europa gehört diese Komponente zu den chemischen Verbindungen, die im Vergleich mit anderen Industrie – und Prozesschemikalien in größeren Mengen hergestellt werden. Über ihre Eliminierung im Verlauf der Abwasseraufbereitung und ihren Verbleib im aquatischen Milieu gibt es bislang nur wenige Erkenntnisse.

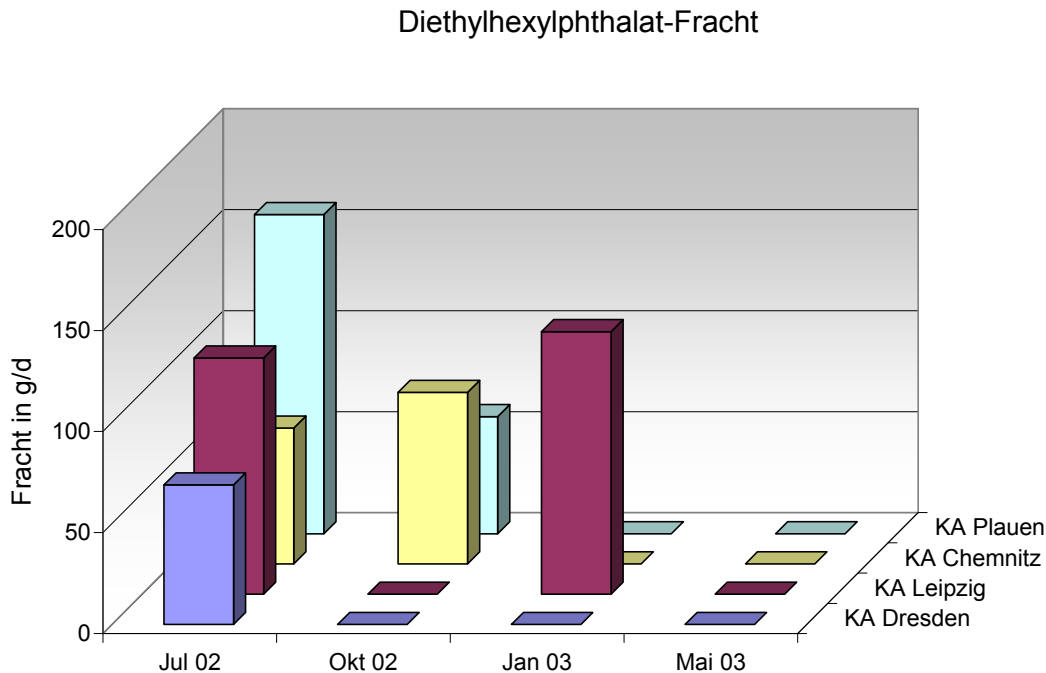
Ein Qualitätsziel liegt für die Komponente Diethylhexylphthalat für Oberflächengewässer in Sachsen nicht vor. Im Rahmen der Umsetzung der Europäischen WRRL wird jedoch ein Qualitätsstandard von 0,33 µg/L für Inlandgewässer vorgeschlagen, weil dieser Komponente endokrine Eigenschaften zugeschrieben werden [Lepper, 2002].

Diethylhexylphthalat wurde in den Abläufen der Kläranlagen hauptsächlich in den ersten beiden Beprobungen (Juli 02 und Okt 02) mit Konzentrationen zwischen 0,7 und 7,5 µg/L nachgewiesen (Bild 8a). Die ermittelten Frachten liegen zwischen 60 und 160 g/d (Bild 8b).

Eine Betrachtung der ermittelten Frachten je Einwohnerwert bzw. je Einwohner wird aufgrund der wenigen Positivbefunde als nicht sinnvoll erachtet.



**Bild 8a: Diethylhexylphthalat-Konzentrationen in den Abläufen der Kläranlagen**



**Bild 8b: ermittelte Diethylhexylphthalat-Fracht in den Abläufen der Kläranlagen**

### 3.2.2.6 iso-p-Nonylphenol

Die Verbindung Nonylphenol findet in der Regel als technisches Produkt mit einem Gehalt von 85 % Nonylphenol und 15 % anderen Alkylphenolen als Zwischenprodukt in der chemischen und verarbeitenden Industrie Verwendung. Insbesondere wird Nonylphenol zur Herstellung von Tensiden, Emulgatoren und Kunstharzen sowie Weichmachern verwendet. Daneben kann Nonylphenol Bestandteil von einzelnen Arzneimitteln sein [Römpp, Chemie Lexikon, 1989-1992]. Weitere Anwendungsgebiete finden sich in der Textil- und Lederindustrie, Agrarindustrie, Bauchemie sowie in der Papier- und Zellstoffindustrie.

Somit hat Nonylphenol eine außerordentlich breite Anwendung und kann nahezu über jeden Abwasserpfad in die Oberflächengewässer gelangen. Als wichtigste Eintragsquelle werden die Abläufe von Kläranlagen genannt [Spengler et al., 2003]. Ein Großteil des Nonylphenols wird in der Kläranlage durch Sorption am Belebtschlamm eliminiert. Geringe Spuren gelangen jedoch in die Umwelt und können somit die Wasserkreisläufe kontaminieren [Knuschke et al., 2003].

Bemerkenswert ist, dass der Verbindung Nonylphenol endokrine Eigenschaften zugeschrieben werden.

Ein Qualitätsziel für Nonylphenol für die Oberflächengewässer in Sachsen liegt nicht vor. Im Rahmen der Umsetzung der Europäischen WRRL wird ein Qualitätsstandard von 0,33 µg/L für Inlandgewässer vorgeschlagen [Lepper, 2002].

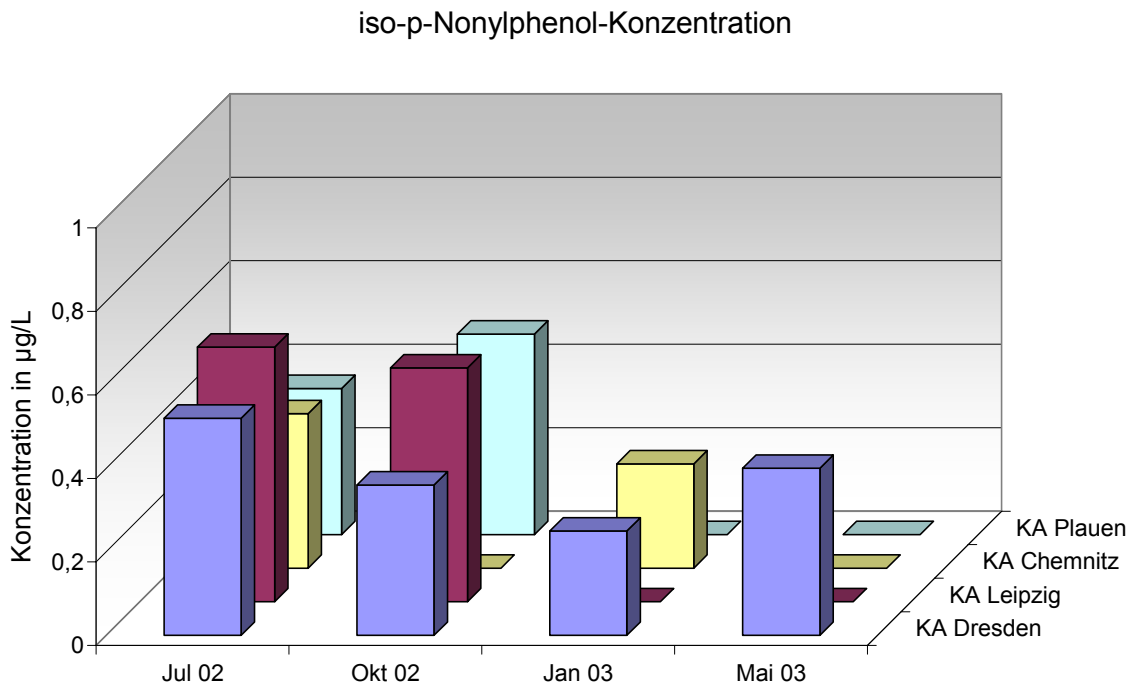
Zum Schutz der Wasserressourcen, die der Trinkwasseraufbereitung dienen, wird darüber hinaus angestrebt, dass im Fall von Verunreinigungen in Form von Einzelsubstanzen unbekannter Humantoxizität der Grenzwert für Pestizide von 0,1 µg/L pro Einzelsubstanz im Rohwasser eingehalten werden sollte. Von daher sollte die Konzentration an Nonylphenol in Flusswässern, die der Trinkwasseraufbereitung dienen, nicht über der Schwelle von 0,1 µg/L liegen [Empfehlung des UBA, 2002; TVO, 2001].

Bild 9a zeigt die in den Abläufen der Kläranlagen bestimmten Konzentrationen an Nonylphenol. Das vermutete relativ konstante Niveau der Abwasserbelastung konnte mit der dritten und vierten Messung nicht bestätigt werden. Im Fall der Kläranlage Leipzig-Rosenthal kann man annehmen, dass aufgrund der hohen Abflussmengen im Januar und Mai (Tabelle 2) das Nonylphenol unterhalb der Bestimmungsgrenze lag. Bei der Kläranlage Plauen ist die Ursache in einem anderen Effekt zu suchen.

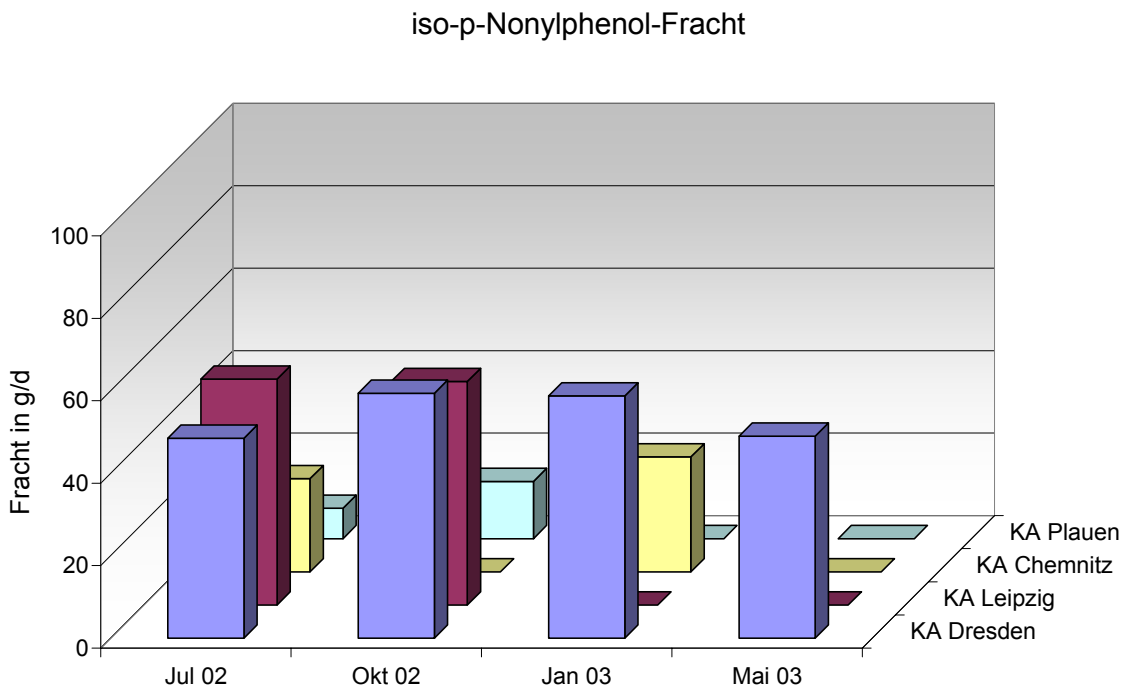
Die in den Abläufen der vier untersuchten Kläranlagen nachgewiesenen Gehalte lagen zwischen 0,25 und 0,6 µg/L (Bild 9a). Die daraus resultierenden Frachten an Nonylphenol in den Abläufen der Kläranlagen sind im Bild 9b dargestellt.

Eine Hochrechnung unter der Annahme eines Niedrigwasserabflusses der Elbe von 100 m<sup>3</sup>/s und einem Nonylphenoleintrag von 60 g/Tag im Ablauf einer Kläranlage einer Stadt in der Größe von Dresden würde die Konzentration im Flusswasser um ca. 7 ng/L erhöhen.

In den Bildern 9c und 9d sind die ermittelten Frachten bezogen auf die jeweiligen Einwohnerwerte bzw. auf die angeschlossenen Einwohner dargestellt. Die relativen Frachten je Einwohnerwert weisen nur geringe Unterschiede zwischen den Kläranlagen auf. Bezogen auf die Einwohner wird eine geringere Übereinstimmung festgestellt, was darauf hinweist, dass Nonylphenol eine universell in vielen Prozessabläufen eingesetzte Chemikalie ist.

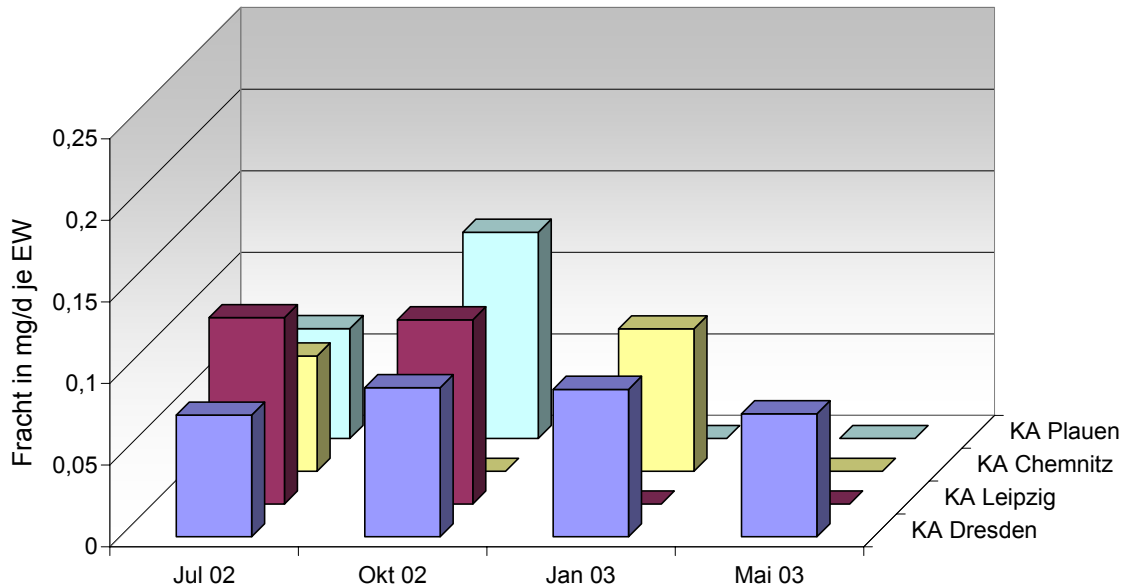


**Bild 9a: iso-p-Nonylphenol-Konzentrationen in den Abläufen der Kläranlagen**



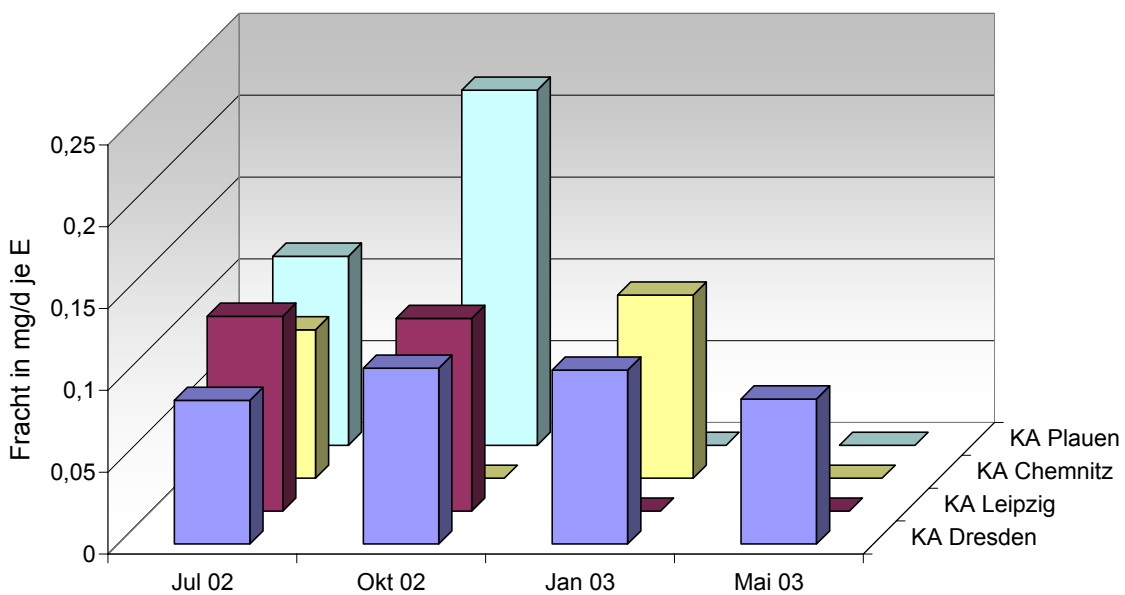
**Bild 9b: ermittelte iso-p-Nonylphenol-Frachten in den Abläufen der Kläranlagen**

iso-p-Nonylphenol-Fracht je Einwohnerwert



**Bild 9c: iso-p-Nonylphenol-Frachten je Kläranlage bezogen auf dessen Einwohnerwert**

iso-p-Nonylphenol-Fracht je Einwohner



**Bild 9d: iso-p-Nonylphenol-Frachten je Kläranlage bezogen auf dessen angeschlossene Einwohner**

### 3.2.2.6 Pestizide

Knapp 40 Einzelstoffe der untersuchten Parameter entsprechend der im Untersuchungsprogramm geforderten Substanzpalette sind der Gruppe der Pestizide zuzuordnen. Für Pestizide ist in Oberflächengewässern in der Regel ein Qualitätsziel von 0,1 µg/L festgesetzt worden (SächsGewVVO [SÄCHSGVBL NR. 6/2001]), weil damit dem Grenzwert für Trinkwasser entsprochen wird. Aus Gründen der Vorsorge sollte die Einhaltung dieses Wertes bereits in den Rohwässern angestrebt werden.

Pestizide werden vorwiegend im Zeitraum der Wachstumsphasen der Flora eingesetzt und sind deshalb häufig nur temporär in Gewässern nachweisbar. Zu den Perioden erhöhter Pestizid-Belastungen gehören erfahrungsgemäß das Frühjahr und der Herbst.

Darüber hinaus gibt es eine Reihe von Verbindungen mit biozidem Charakter, die allerdings nicht zum Zweck einer Pflanzenbehandlung eingesetzt wurden. Zu dieser Gruppe gehören besonders die chlorierten Essigsäuren.

Der Eintrag der Pestizide in die Kläranlagen ist vielfältig. Denkbar sind undichte Kanäle, Regenwasserableitungen oder angeschlossene Betriebe der sautgut-aufbereitenden Industrie.

Allgemein ist zu sagen, dass von der Gesamtpalette nur 3 der ca. 40 Pestizide nachgewiesen wurden.

Die Substanz Mecoprop, ein Herbizid, ist dreimal positiv mit bestimmt worden (im Juli 2002: KA Dresden: 0,06 µg/L, KA Chemnitz: 0,1 µg/L und im Januar 2003 KA Leipzig: 0,08 µg/L).

Das Herbizid 2,4,5-T (2,4,5-Trichlorphenoxyessigsäure), ein Entlaubungsmittel, ist einmal nachgewiesen worden (Mai 2003: KA Leipzig: 0,08 µg/L).

Auffällig hoch sind die Konzentrationen der Substanz 2,4-Dinitrophenol in den Mai-Proben der Kläranlagen Leipzig (1,1 µg/L) und Plauen (0,7 µg/L). 2,4-Dinitrophenol findet Verwendung bei der Herstellung von Schwefel und Azo-Farbstoffen sowie von Schädlingsbekämpfungsmitteln und Holzschutzmitteln.

Die resultierenden Frachten bewegen sich in der Regel zwischen 5 und 20 g/d. Eine Ausnahme hierfür stellt die ermittelte Ablauffracht für 2,4-Dinitrophenol von 160 g/d in der Mai-Probe der Kläranlage Leipzig-Rosenthal dar. Die Ursachen hierfür sollten durch weitere Untersuchungen ermittelt werden.

### 3.3 3. Phase

Verknüpfung der Ergebnisse mit denen des Oberflächenmessprogramms zum Zweck der Bewertung und Ableitung von spezifischen Einleitwerten und Handlungsempfehlungen



Bild 11: Graphik des Beprobungsgebietes



Bei den folgenden Betrachtungen werden nur die Komponenten berücksichtigt, die sowohl im Kläranlagenmessprogramm als auch im Oberflächenmessprogramm (vgl. Schröder & Schmidt 2003) mindestens einmal nachgewiesen wurden.

Zudem wird auf der Basis der stichprobenartigen Ergebnisse ausgewählter organischer Substanzen eine vergleichende Abschätzung zwischen den in den Flüssen ermittelten täglichen Frachten und dem täglichen Eintrag der oberhalb dieser Messstellen liegenden Klärwerke gegeben.

Bei dieser vergleichenden Darstellung handelt es sich um eine erste Abschätzung. Wesentlichste Mängel dieser Vorgehensweise sind die geringe Anzahl der Messwerte sowie die nicht vollständig korrespondierende Probenahme. Ungeachtet dessen sollte dieser Vergleich zum Zweck einer ersten Bewertung der Daten wichtige Eingangsinformationen liefern.

### 3.3.1 Kläranlage Dresden-Kaditz

Die Kläranlage **Dresden-Kaditz** liegt zwischen den Messstellen Schmilka, Elbe rechts und Dommitzsch, Elbe links (vgl. Bild 11).

**Arsen:** Die an beiden Messpunkten im jeweiligen Sediment bestimmten Arsenkonzentrationen waren sehr gering, so dass ein Einfluss der Kläranlage Dresden-Kaditz auf die Flussqualität nicht erkennbar ist.

**Monochloressigsäure:** Chloressigsäure ist an beiden Messpunkten nur im Sommer und im Herbst 2002 mit Konzentration von 0,3 bzw. 0,2 µg/L nachgewiesen worden. In der Kläranlage Dresden-Kaditz wurde Monochloressigsäure nur im Sommer 2002 mit 0,6 µg/L positiv bestimmt. Das entsprach einer Fracht von 50 g/d, die in der Elbe nicht mehr nachweisbar wäre. Den Hauptanteil der chlorierten Säuren in der Elbe stellen die Di- und besonders die Trichloressigsäure dar.

**Trichloressigsäure:** Die Trichloressigsäure-Konzentrationen an beiden Messstellen unterscheiden sich nicht signifikant. Lediglich die März-Beprobung, bei der in Dommitzsch 0,9 µg/L und in Schmilka 0,5 µg/L bestimmt wurden, deuten auf einen zusätzlichen Einleiter hin, der durch weitere Untersuchungen im zeitigen Frühjahr ermittelt werden sollte.

**Nonylphenol:** In den Abläufen der Kläranlage Dresden-Kaditz sind relativ konstante Frachten zwischen 48 und 60 g/d ermittelt worden. Sowohl in Schmilka, Elbe rechts als auch in Dommitzsch, Elbe links wurde Nonylphenol nachgewiesen. Im Wasser der Elbe bei Dommitzsch wurde die Komponente in 3 von 4 Proben nachgewiesen. Jedoch lassen sich die im Fall von Positivbestimmungen resultierenden Frachten der Elbe bei Dommitzsch von ca. 3.000 oder 17.000 g/d nicht mit den Ablaufrachten der Kläranlage Dresden-Kaditz erklären. Mit hoher Wahrscheinlichkeit sind dafür andere Einleiter verantwortlich. Aufgrund der endokrinen Eigenschaften des Nonylphenols sollte diesem Parameter in Zukunft Beachtung geschenkt werden.

**Diethylamin:** Im Verlauf des Flussmessprogramms der Elbe ist Diethylamin zweimal positiv bestimmt worden (Juni 2002, Schmilka: 0,24 µg/L = 4.000 g/d und März 2003, Dommitzsch: 0,27 µg/L = 7.900 g/d). In der Kläranlage Dresden-Kaditz wurde Diethylamin in der zweiten bis vierten Beprobung mit Frachten zwischen 80 und 600 g/d nachgewiesen. Die Positivbefunde in der Elbe können nicht mit dem Ablauf der Kläranlage Dresden erklärt werden, so dass genauere Untersuchungen in Bezug auf weitere Einleiter ratsam sind.

**Diethylhexylphthalat:** Diese Substanz wurde in der Elbe in den ersten drei der vier Beprobungen mit vergleichsweise sehr hohen Frachten im Januar von 31.000 g/d bei Dommitzsch und 63.000 g/d bei Schmilka bestimmt. In der Kläranlage Dresden-Kaditz wurde Diethylhexylphthalat nur in der Juli-Beprobung mit einer Fracht von 69 g/d nachgewiesen. Es ist anzunehmen, dass für die hohen Frachten in der Elbe mehrere Einleiter verantwortlich sind.

In Tabelle 4 werden die in der Elbe bei Schmilka und Dommitzsch ermittelten täglichen Frachten [Schröder & Schmidt, 2003] mit dem täglichen Eintrag des Klärwerkes Dresden-Kaditz verglichen (vgl. Anmerkung 1).

**Tabelle 4: Vergleichende Abschätzung der in der Elbe (Messstellen Schmilka und Dommitzsch) ermittelten täglichen Frachten<sup>1</sup> mit dem täglichen Eintrag<sup>1</sup> durch das Klärwerk Dresden-Kaditz am Beispiel ausgewählter organischer Substanzen**

Komponente	Einleitung durch das Klärwerk Dresden-Kaditz		Fracht, Messstelle Schmilka in g/d	Fracht, Messstelle Dommitzsch in g/d
	g/d	%		
Monochloressigsäure	60	1	5.600	6.000
Trichloressigsäure	300	1	23.300	26.400
Diethylamin	600	15	4.000	7.900
Diethylhexylphthalat	70	0,1	63.000	31.000
Nonylphenol	60	3	1.800	17.300

<sup>1</sup> Sämtliche Werte haben Stichprobencharakter. Hier wurden die Maximalwerte herangezogen.

Die Daten der Messstelle Schmilka zeigen den nach wie vor erheblichen Eintrag organischer Komponenten aus Tschechien. Auch wenn hier die Maximalwerte herangezogen wurden, ist der ermittelte Fracht-Anteil von 15 % für Diethylamin der

Kläranlage Dresden-Kaditz verglichen mit der Messstelle Schmilka beachtenswert hoch.

Für die Komponenten Diethylhexylphthalat und Nonylphenol erlaubt die Datenlage noch keine befriedigende Interpretation. Der vergleichsweise relativ geringe Eintrag durch das Klärwerk Dresden-Kaditz ist jedoch bemerkenswert.

### 3.3.2 Kläranlage Chemnitz

Die Kläranlage Chemnitz liegt im Einzugsgebiet der Zwickauer Mulde (vgl. Bild 11). Die Zwickauer Mulde wurde an der Mündung bei Sermuth beprobt (vgl. Schröder & Schmidt, 2003).

**Arsen:** Die vier untersuchten Sedimente wiesen Belastungen zwischen 18 und 81 mg/kg TS auf, so dass im Durchschnitt eine Überschreitung der Hälfte des Qualitätszieles der SächsGewVVO für Arsen von 40 mg/kg vorlag.

Die ermittelten Frachten der Kläranlage Chemnitz liegen zwischen 120 und 240 g/d. Ein Einfluss der Kläranlage Chemnitz auf die Sedimentbelastung ist nicht auszuschließen, kann aber nur durch sequentiertere Messungen nachgewiesen werden.

**Monochloressigsäure:** Auffällig war das Ergebnis der ersten Probenahme, bei der eine Chloressigsäure-Konzentration von 1,0 µg/L in der Zwickauer Mulde gemessen wurde. Die berechnete tägliche Fracht liegt damit über 2000 g. Hingegen wurde im Ablauf der Kläranlage Chemnitz bei der gleichen Probenahmekampagne lediglich eine Fracht von 12 g/d bestimmt. Die Ursache für diese relativ hohe Konzentration in der Zwickauer Mulde ist wahrscheinlich nicht in der Kläranlage Chemnitz zu suchen.

**Trichloressigsäure:** Die Trichloressigsäure-Konzentrationen an der Mündung bei Sermuth sind sehr gering und wurden nur im Sommer und im Herbst 2002 mit je einer Konzentration von 0,1 µg/L nachgewiesen werden. Ein Einfluss der Kläranlage ist somit nicht erkennbar.

**Nonylphenol:** Die Frachten der Kläranlage Chemnitz lagen bei 20 g/d im Juli 2002 und bei 30 g/d im Januar 2003. Die Zwickauer Mulde wies relativ konstante Frachten zwischen 300 und 650 g/d auf. Ein Zusammenhang zwischen diesen Zahlen ist möglich, muss aber durch weitere Messungen bewiesen werden.

**Dimethylamin:** Die ermittelten Frachten der Kläranlage Chemnitz schwanken zwischen 14 und 70 g/d. In der Zwickauer Mulde ist Dimethylamin nur einmal positiv bestimmt worden (Okt. 2002: 0,26 µg/L = 630 g/d). Ein Einfluss der Kläranlage ist somit nicht erkennbar.

**Diethylhexylphthalat:** Diese Substanz wurde in der Zwickauer Mulde im Juni (0,9 µg/L = 2.400 g/d) und im Oktober (0,4 µg/L = 1.000 g/d) nachgewiesen. In der Kläranlage Chemnitz sind Frachten von 67 g/d (Juli 2002) und 85 g/d (Okt. 2002) ermittelt worden. Daraus ist auf weitere Einleiter zu schließen.

In Tabelle 5 werden die Werte des täglichen Eintrags ausgewählter organischer Komponenten (vgl. Anmerkung 1) des Klärwerks Chemnitz mit den täglichen Frachten der Zwickauer Mulde an der Messstelle Sermuth einer ersten vergleichenden Bewertung unterzogen. Danach ist der Eintrag des Chemnitzer Klärwerks, verglichen mit den im Fluss ermittelten täglichen Frachten (Ausnahme: Trichloressigsäure und Dimethylamin) als gering einzustufen. Ungeachtet der noch mangelhaften Datenbasis kann daraus geschlossen werden, dass weitere relevante Einleiter entlang der betroffenen Fließstrecke zu vermuten sind.

**Tabelle 5: Vergleichende Abschätzung der in der Zwickauer Mulde (Messstelle Sermuth) ermittelten täglichen Frachten<sup>1</sup> mit dem täglichen Eintrag<sup>1</sup> durch das Klärwerk Chemnitz am Beispiel ausgewählter organischer Substanzen**

Komponente	Einleitung durch das Klärwerk Chemnitz in		Fracht, Zwickauer Mulde Messstelle Sermuth in g/d
	g/d	%	
Monochloressigsäure	12	2	2.700
Trichloressigsäure	45	17	270
Dimethylamin	70	11	630
Diethylhexylphthalat	85	4	2.400
Nonylphenol	30	5	650

<sup>1</sup> Sämtliche Werte haben Stichprobencharakter. Hier wurden die Maximalwerte herangezogen.

### 3.3.3 Kläranlage Plauen

Die Kläranlage Plauen liegt an der Weißen Elster. Die beprobte Messstelle Pegau liegt in Fließrichtung hinter der Kläranlage Plauen (vgl. Bild 11).

**Arsen:** Die Sedimentproben bei Pegau wiesen eine durchschnittliche Arsenbelastung von 42 mg/kg TS auf. Auch hier muss der potentiell bestehende Zusammenhang durch weitere Messungen noch nachgewiesen werden.

**Monochloressigsäure:** Chloressigsäure ist in der Weißen Elster nur im Januar 2003 positiv bestimmt worden (0,1 µg/L). Im Ablauf der Kläranlage Plauen wurde Monochloressigsäure nur im Juli 2002 nachgewiesen (0,1 µg/L).

**Trichloressigsäure:** Die bestimmten Trichloressigsäure-Konzentrationen in der Weißen Elster sind gering und wurden nur im Sommer und im Herbst 2002 mit einer Konzentration von je 0,1 µg/L nachgewiesen werden.

**Nonylphenol:** In der Weißen Elster wurde Nonylphenol nur einmal nachgewiesen (im Januar 2003), woraus eine Fracht von 700 g/d resultierte. In den Abläufen der Kläranlage Plauen wurde Nonylphenol im Juli und im Oktober mit Frachten von 7 und 14 g/d bestimmt. Ein Zusammenhang zwischen diesen Daten ist nicht erkennbar. Es muss auf weitere Einleiter geschlossen werden.

**Diethylamin:** In der Weißen Elster wurde Diethylamin einmalig in der Beprobung im Januar nachgewiesen (1,8 µg/L = 6.400 g/d). In der Kläranlage Plauen waren zwei Positivbefunde zu verzeichnen (Juli 2002: 0,44 µg/L = 9 g/d und Januar 2003: 0,3 µg/L = 8 g/d). Ein Zusammenhang zwischen diesen Daten ist nicht erkennbar. Es muss auf weitere Einleiter geschlossen werden.

**Dimethylamin:** In der Weißen Elster wurde Dimethylamin zweimal nachgewiesen (Okt. 2002: 0,15 µg/L = 22 g/d und Jan. 2003: 0,17 µg/L = 15 g/d). Für die vier untersuchten Abläufe der Kläranlage Plauen sind Frachten zwischen 5 und 18 g/d ermittelt worden. Die Möglichkeit eines Zusammenhanges zwischen diesen Daten muss jedoch durch weitere Untersuchungen ermittelt werden.

**Diethylhexylphthalat:** Diese Substanz ist in der Weißen Elster im Juni 2002 (0,1 µg/L = 90 g/d) und im Oktober 2002 (0,16 µg/L = 156 g/d) nachgewiesen worden. In den Abläufen der Kläranlage Plauen ist Diethylhexylphthalat ebenfalls in den ersten beiden Beprobungen mit Frachten von 160 und 60 g/d nachgewiesen worden. Ein Zusammenhang ist denkbar, muss aber durch weitere Untersuchungen bewiesen werden.

In Tabelle 6 werden die Werte des täglichen Eintrags ausgewählter organischer Komponenten (vgl. Anmerkung 1) des Klärwerks Plauen mit den täglichen Frachten der Weißen Elster an der Messstelle Pegau einer analogen vergleichenden Bewertung unterzogen. Danach sind die Einträge des Plauener Klärwerks an Diethyl- und Dimethylamin sowie Nonylphenol, verglichen mit den im Fluss ermittelten täglichen Frachten als gering einzustufen. Daraus kann wiederum geschlossen werden, dass weitere relevante Einleiter entlang der betroffenen Fließstrecke

existieren. Der Eintrag an Diethylhexylphthalat durch das Klärwerk Plauen in die Weiße Elster wurde durch den Vergleich mit der Fracht an der Messstelle Pegau als hauptsächlichste Ursache ermittelt.

**Tabelle 6: Vergleichende Abschätzung der in der Weißen Elster (Messstelle Pegau) ermittelten täglichen Frachten<sup>1</sup> mit dem täglichen Eintrag<sup>1</sup> durch das Klärwerk Plauen am Beispiel ausgewählter organischer Substanzen**

Komponente	Einleitung durch das Klärwerk Plauen in		Fracht, Weiße Elster Messstelle Pegau in g/d
	g/d	%	
Dimethylamin	20	3	600
Diethylamin	10	0,2	6.400
Diethylhexylphthalat	160	100	160
Nonylphenol	15	2	700

<sup>1</sup> Sämtliche Werte haben Stichprobencharakter. Hier wurden die Maximalwerte herangezogen.

### 3.3.4 Kläranlage Leipzig-Rosenthal

Die Kläranlage Leipzig-Rosenthal liegt ebenfalls an der Weißen Elster. Für eine Aussage über den Einfluss der Kläranlage auf die Flusswasserqualität der Weißen Elster fehlt jedoch ein untersuchter Messpunkt nach dem Einlauf der Kläranlage im gleichen Untersuchungszeitraum.

In Tabelle 7 sind tägliche Einträge des Klärwerks Leipzig-Rosenthal in die Weiße Elster für ausgewählte organische Stoffe zusammengefasst.

**Tabelle 7: Ausgewählte relevante Stoffe des Klärwerks Leipzig-Rosenthal**

Komponente	Einleitung durch das Klärwerk Leipzig in g/d
Monochloressigsäure	81
Trichloressigsäure	102
Dimethylamin	78
Diethylamin	23
Diethylhexylphthalat	130
Nonylphenol	55

<sup>1</sup> Sämtliche Werte haben Stichprobencharakter. Hier wurden die Maximalwerte herangezogen.

## 4 Zusammenfassung

- 128 der Nummernstoffe der Sächsischen Gewässerverschmutzungsverringerungsverordnung (SächsGewVVO), 8 weitere Stoffe der Liste II erster Anstrich der EU-Richtlinie 76/464, 17 ausgewählte Stoffe gemäß Anhang X der Wasserrahmenrichtlinie und Pentachlorbenzol wurden untersucht ( $\Sigma$  154 Stoffe).
- Bei 40 der 128 Nummernstoffe der SächsGewVVO liegt das Qualitätsziel (QZ) unterhalb der Bestimmungsgrenze (BG). Bei 34 dieser 40 Stoffe ist der Mittelwert (MW) aus den 4 Beprobungen kleiner als die Bestimmungsgrenze.
- Für 6 dieser 40 Stoffe liegen Qualitätszielüberschreitungen vor:
  - 3.1. 5 PAK in der Kläranlage Chemnitz (siehe Tabelle 8)
  - 3.2. Tributylphosphat in der Kläranlage Dresden-Kaditz (MW = 0,79  $\mu\text{g/L}$  > 0,1  $\mu\text{g/L}$  = QZ der SächsGewVVO).
- Weitere 13 positiv bestimmte Parameter liegen im Jahresmittel (Mittelwert aus 4 Messungen) unterhalb des entsprechenden Qualitätsziels oder der Qualitätsnorm.
- Für Arsen liegt kein äquivalentes Qualitätsziel vor. Allerdings wurde der Grenzwert der Trinkwasserverordnung bei allen Beprobungen unterschritten.
- Für die Stoffe Diethylhexylphthalat und iso-p-Nonylphenol wurde in der Studie von Lepper (2002) ein Qualitätsziel von je 0,33  $\mu\text{g/L}$  vorgeschlagen. Während für Diethylhexylphthalat nur in der Kläranlage Dresden-Kaditz der potentielle

Grenzwert von 0,33 µg/L eingehalten wurde, ist im Fall von iso-p-Nonylphenol die Kläranlage Dresden-Kaditz die einzige Kläranlage, in der der potentielle Grenzwert (0,33 µg/L) überschritten wurde (siehe Tabelle 9, Lepper, 2002).

**Tabelle 8: Nachgewiesene PAK im Klärwerk Chemnitz**

PAK	Oktoberprobe in µg/L	Mittelwert aus 4 Beprobungen in µg/L	QZ gemäß SächsGewVVO in µg/L
Anthracen	0,13	0,0325	0,01
Benzo-a-pyren	0,15	0,0375	0,01
Benzo-b-fluoranthen	0,19	0,0475	0,025
Fluoranthen	0,42	0,105	0,025
Indeno-1,2,3-c,d-pyren	0,12	0,03	0,025

**Tabelle 9: Mittlere Belastungen an Diethylhexylphthalat und iso-p-Nonylphenol**

Kläranlage	Diethylhexylphthalat in µg/L	iso-p-Nonylphenol in µg/L
Chemnitz	0,6	0,16
Dresden-Kaditz	0,19	0,38
Leipzig-Rosenthal	0,51	0,29
Plauen	2,38	0,21

Mittelwerte aus 4 Beprobungen



## 5 Empfehlungen für eine Fortsetzung des Messprogramms

Die im Jahr 2002 und 2003 erzielten Ergebnisse zur Überwachung der Fließgewässerbeschaffenheit und der Einleitungen ausgewählter Klärwerke in die Vorfluter bilden die Basis für eine erste Einschätzung der Fließgewässerverschmutzung unter Bezugnahme auf die Richtlinie 76/464 EWG (Listen I und II) der Europäischen Gemeinschaft [EU-RL 76/464, 1976], die Sächsische Gewässerverschmutzungs-Verringerungsverordnung (SächsGewVVO [SÄCHSGVBL NR. 6/2001]) und die Auswahl von Stoffen gemäß Anhang X der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie [WRRL, 2000].

Danach sind die folgenden Einschätzungen der existierenden Datenlage sowie Empfehlungen für weitere Erfassungen abzuleiten:

- Aus Tschechien gelangen zum Teil erhebliche Frachten an organischen Verunreinigungen über die Elbe nach Sachsen (Diethylhexylphthalat).
- Bei einzelnen Verbindungen erhöht sich die Fracht entlang der Fließstrecke in Sachsen. Dazu gehört insbesondere Nonylphenol.
- Der Einfluss des Klärwerks in Dresden-Kaditz auf die Gesamtfracht der organischen Komponenten ist als gering einzustufen.
- Im Fall der Zwickauer Mulde zeigen die Daten, dass neben dem Klärwerk in Chemnitz weitere wesentliche Einleiter entlang der Fließstrecke bis Sermuth existieren.
- Diese Aussage gilt ohne Ausnahme für das Klärwerk Plauen, welches in die Weiße Elster einleitet.

Die Schwerpunkte kommender Arbeiten sollten sich aus Gründen der dargelegten Situation auf folgende Schwerpunkte konzentrieren:

- Erfassung der Einleitung weiterer Klärwerke
- Beprobung der entsprechenden Fließgewässer vor und nach dem Ablauf des zu untersuchenden Klärwerks,
- Ermittlung weiterer, bisher nicht erfasster Einleiter.
- Ständige Aktualisierung des Messprogramms, insbesondere unter Beachtung der Vielzahl der Verbindungen, denen endokrine Eigenschaften zugeschrieben werden.

## Quellen

- Dieter, H.H., (b): Vorkommen und Toxikologie von Arsen und seine gesundheitliche Bedeutung im Trinkwasser, In: Die Trinkwasserverordnung., Erich Schmidt Verlag Berlin, 4. Auflage 2003.
- Empfehlung des Umweltbundesamtes. Einstufung nicht oder nur teilbewertbarer Stoffe im Trinkwasser aus gesundheitlicher Sicht, Umweltbundesamt Berlin, 24.09.2002 (Entwurf)
- Entwurf Musterverordnung zur Umsetzung der Anhänge II und V der Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik
- EU-RL 76/464: Richtlinie des Rates 76/464/EWG vom 4. Mai 1976 betreffend die Verschmutzung infolge der Ableitung bestimmter gefährlicher Stoffe in die Gewässer der Gemeinschaft (ABl. Nr. L 129 vom 18.5. 1976 S. 23), Änderungen 91/692/EWG - ABl. Nr. L 377 vom 31.12. 1991 S. 48), gültig bis 22.12. 2013 gemäß Art. 22 RL 2000/60/EG
- ISPRA-Study: An assessment of the presence of trihalomethanes (THMs) in water intended for human consumption and the practical means to reduce their concentrations without compromising disinfection efficiency. Report to Directorate General for Environment, Nuclear Safety and Civil Protection (DGXI) of the European Commission, Study contract 11492-95-12 A1 CO ISP B, Administrative arrangement: B4-3040/95/000436/MAR/D1, June, 1996.
- Knusch, P., Braun, P., Möder, M, Wießner, A., Müller, J., Kästner, M. und Müller, R. A.: GWF Wasser/Abwasser 144 (2003) Nr. 4, S. 297
- Lepper, P.: Towards the Derivation of Quality Standards for Priority Substances in the Context of the Water Framework Directive, Final Report of the Study, Contract No. B4-3040/2000/30637/MAR/E1: Identification of quality standards for priority substances in the field of water policy, Fraunhofer-Institute Molecular Biology and Applied Ecology, 04 September 2002
- Nkusi, G., Schöler, H.-F. und Müller, G.: Überblick zum Vorkommen biogener halogenorganischer Verbindungen (BHOV). Geowissenschaften und Umwelt. S. 151-157, 1994 Springer Verlag.
- Römpf: Chemie Lexikon, 9. erweiterte und neubearbeitete Auflage, Georg Thieme Verlag, Rüdigerstraße 14, D-70469 Stuttgart, 1989-1992
- SächsGewVVO: Verordnung des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft über die Verringerung der Gewässerverschmutzung durch Qualitätsziele und Programme (Gewässerverschmutzungsverringerungsverordnung-SächsGewVVO), vom 1. Juni 2001 (SächsGVBl. Nr. 6 vom 18. 6. 2001 S. 202)
- Schmidt, W.: Unerwünschte Reaktionen bei der Wasseraufbereitung. DVGW-Intensiv-Schulung für Ingenieure, Kurs 5 Wasserchemie, DVGW 1998.

- Schmidt, W.: Bericht über die begleitenden Untersuchungen zur Gewässerüberwachung der Zwickauer Mulde nach Flutungswasser-einleitungen der WISMUT GmbH unter dem Gesichtspunkt der Trinkwasser-aufbereitung. DVGW Technologiezentrum Wasser Karlsruhe, Außenstelle Dresden 1996
- Schröder, K. und Schmidt, W.: Abschlussbericht, Untersuchung ausgewählter Parameter der Gewässerverschmutzungsverringerungsverordnung und weiterer Parameter in Oberflächengewässern des Freistaates Sachsen, DVGW Technologiezentrum Wasser Karlsruhe, Außenstelle Dresden 2003
- Spengler, P., Scholz-Muramatsu, H., Gaiser, S. und Metzger, J.: Verbleib ausgewählter Xenoestrogene in der Kläranlage, GWF Wasser/Abwasser 144 (2003) Nr. 4, S. 284
- TVO, 2001: Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung vom 21. Mai 2001, BGBl. I, 959-980 (2001)
- Umweltbundesamt:  
[http://www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/ow\\_s2\\_2.htm#3](http://www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/ow_s2_2.htm#3), Übersicht über Qualitätsanforderungen der EG, der internationalen Flussgebietsgemeinschaften und der LAWA, Letzte Aktualisierung: 16.09.2002
- Vaic, P.: Diplomarbeit: Untersuchungen zum Einfluss von Reinigungs- und Desinfektionsmitteln aus der Schweine-, Hühner- oder Rinderhaltung auf Boden- und Grundwasser, LFUG, 1999
- WRRL: Wasserrahmen-Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik - Wasser-Rahmen-Richtlinie - (ABl. Nr. L 327 vom 22.12.2000 S. 1; Entscheidung Nr. 2455/2001/EG - ABl. Nr. L 331 vom 15.12.2001 S. 1)
- [http://www.iwb-bonn.de/proj\\_hilfsst.htm](http://www.iwb-bonn.de/proj_hilfsst.htm): Einsatz von Hilfsstoffen zur Abwasserreinigung auf kommunalen Kläranlagen in Nordrhein-Westfalen (1998).