

## 2. Bericht zum Sondermessprogramm

### Arzneistoffe im Grundwasser, in Fließgewässern und in Zu- und Abläufen von kommunalen Kläranlagen des Landes Sachsen-Anhalt (Zeitraum 2004 bis 2005)



**SACHSEN-ANHALT**

**Landesamt für Umweltschutz  
Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft**

Halle, Dezember 2006

Bearbeitung:

Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt  
Reideburger Str. 47  
06116 Halle/Saale

Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt  
Otto- von Guericke- Str. 5  
39104 Magdeburg

Titel: Kläranlage Laucha, Fließgewässer Saale, Grundwassermessstelle

<b>Inhaltsverzeichnis</b>		<b>Seite</b>
<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>Sonderuntersuchungen 2004-2005</b>	<b>2</b>
<b>2.1</b>	<b>Messprogramm</b>	<b>2</b>
<b>2.2</b>	<b>Analytik</b>	<b>4</b>
<b>2.3</b>	<b>Messstellen</b>	<b>7</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Fließgewässer</b>	<b>7</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Kläranlagen</b>	<b>8</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Grundwasser</b>	<b>9</b>
<b>2.4</b>	<b>Hinweise zur Auswertung</b>	<b>10</b>
<b>3.</b>	<b>Darstellung der Messergebnisse und Auswertung</b>	<b>12</b>
<b>3.1</b>	<b>Fließgewässer</b>	<b>12</b>
<b>3.2</b>	<b>Kläranlagen</b>	<b>18</b>
<b>3.3</b>	<b>Frachten Fließgewässer und Kläranlagen</b>	<b>24</b>
<b>3.4</b>	<b>Grundwasser</b>	<b>26</b>
<b>4.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>29</b>
<b>5.</b>	<b>Ausblick</b>	<b>31</b>
<b>6.</b>	<b>Literatur</b>	<b>33</b>

### Anlagen

<b>Anlage 1</b>	<b>Messstellenübersicht 2004 - 2005 – Karte</b>
<b>Anlage 2</b>	<b>Einzelmesswerte Fließgewässer</b>
<b>Anlage 3</b>	<b>Einzelmesswerte Kläranlagen</b>
<b>Anlage 4</b>	<b>Vergleich von UQN(V) und PNEC-Werten für ausgewählte Arzneistoffe mit den ermittelten Arzneistoffmittelwerten für Fließgewässer</b>
<b>Anlage 5</b>	<b>Arzneimittel in Fließgewässern oberhalb und unterhalb von Kläranlagen und in Kläranlagenabläufen - Mittelwerte</b>
<b>Anlage 6</b>	<b>Einzelmesswerte Grundwasser</b>
<b>Anlage 7</b>	<b>Literaturangaben zu Messwerten für Arzneistoffe in Fließgewässern, im Grundwasser sowie Kläranlagenabläufen</b>
<b>Anlage 8</b>	<b>Arzneistofffrachten in Fließgewässern - Mittelwerte in g/d</b>
<b>Anlage 9</b>	<b>Arzneistofffrachten von Kläranlagenabläufen - Mittelwerte in g/d</b>



## 1. Einleitung

Arzneistoffe sind seit den 90er Jahren national und international aufgrund ihres toxikologischen Potenzials, des flächendeckenden Eintrages in die aquatische Umwelt und festgestellter Positivfunde im Oberflächenwasser, Grundwasser und Trinkwasser verstärkt in den Blickpunkt von Politik und Wissenschaft gerückt. In Berichten des Bund/Länderausschusses für Chemikaliensicherheit (BLAC) an die Umweltministerkonferenz (UMK) und in deren Beschlüssen wurde die verstärkte Berücksichtigung von Arzneistoffen in Umweltüberwachungsprogrammen der Länder begründet und gefordert [BLAC (1998), BLAC (1999), UMK (1999)]. So wurde im Rahmen des Gewässerüberwachungsprogramms Sachsen-Anhalt (GÜSA) im Jahr 2002 ein Sonderuntersuchungsprogramm begonnen. Hierbei sind erste Erkenntnisse zur Belastung der Fließgewässer, des Grundwassers sowie der Kläranlagenzu- und -abläufe mit Arzneistoffen gewonnen worden. Im Jahr 2004 wurde auf der Basis der Untersuchungsergebnisse der Jahre 2002 und 2003 ein erster zusammenfassender Bericht veröffentlicht [LAU/LHW (2004)].

Das Untersuchungsprogramm wurde in den Jahren 2004 und 2005 weitergeführt. Im Jahr 2005 erfolgte die Einbeziehung von Fließgewässern, die in Verbindung mit der Trinkwassergewinnung eine Rolle spielen (Ohre, Saale). Mit der Fortführung des Sondermessprogramms sollen weitere Informationen über das Vorkommen von in der Humanmedizin verwendeten Arzneimittelwirkstoffen in der aquatischen Umwelt in Sachsen-Anhalt gewonnen werden. In der Veterinärmedizin eingesetzte Arzneimittel wurden bisher noch nicht untersucht.

Für Humanarzneistoffe und deren Metabolite ergibt sich der Haupteintragspfad in die Umwelt, bei bestimmungsgemäßen Gebrauch, über den Patienten bzw. Anwender in das kommunale Abwasser (private Haushalte, Krankenhäuser, Pflegeeinrichtungen usw.) und somit in die Kläranlagen (siehe Abb. 1). Von hier gelangen Arzneistoffe und deren Metabolite über das gereinigte Kläranlagenabwasser in die Fließgewässer und über den Klärschlamm ist bei dessen Verwertung in Landwirtschaft und Landschaftsbau eine Kontamination des Bodens möglich [JOSS (2004), BLAC (2003), KUNST et al. (2002), UBA (2005)].

Eine Gefährdung von Mensch und Natur kann aufgrund einer oder mehrerer der folgenden umweltrelevanten Eigenschaften [KÜMMERER (2001)] der meisten Arzneistoffe gegeben sein:

- hohe Persistenz in der Umwelt,
- hohe Mobilität in der wässrigen Phase,
- umwelt- und gesundheitsschädigendes Potenzial.

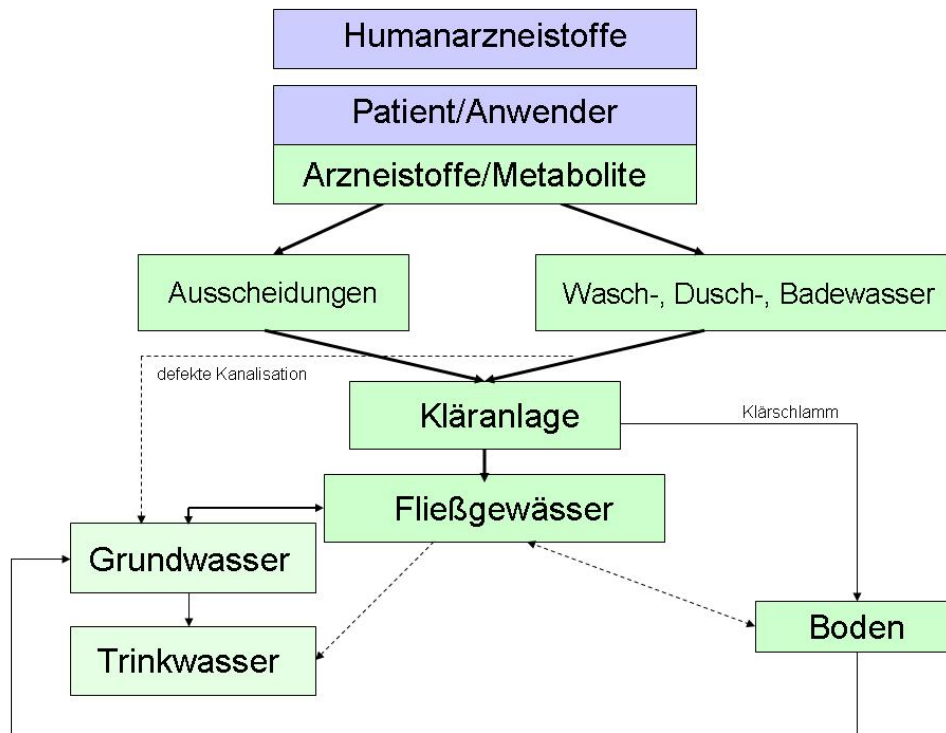


Abb. 1: Haupteintragspfad von Humanarzneistoffen und deren Metaboliten in die Umwelt

Im Mittelpunkt dieses vom Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft (LHW) und vom Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (LAU) vorgelegten Berichtes stehen die im Zeitraum 2004–2005 ermittelten Ergebnisse der Arzneistoffanalysen von ausgewählten Fließgewässer- und Grundwassermessstellen sowie Abwasseruntersuchungen an verschiedenen kommunalen Kläranlagen.

## 2. Sonderuntersuchungen 2004-2005

Im Rahmen des Gewässerüberwachungsprogrammes Sachsen-Anhalt (GÜSA) wurde das Sonderuntersuchungsprogramm „Arzneistoffe im Grundwasser und in Fließgewässern“ fortgeführt. Im Zeitraum 2004-2005 erfolgten Untersuchungen an kommunalen Kläranlagen, an Fließgewässerabschnitten oberhalb und unterhalb der analysierten Kläranlagenabläufe, an repräsentativen Fließgewässermessstellen der Elbe, Mulde und Saale sowie an ausgewählten Grundwassermessstellen.

### 2.1 Messprogramm

Das Arzneistoffspektrum der Untersuchungsjahre 2002/2003 [siehe LAU/LHW (2004)] wurde auch 2004 und 2005 beibehalten. Zusätzlich kamen im Jahr 2004 das Röntgenkontrastmittel Iopamidol und im Jahr 2005 die Antibiotika Clarithromycin und Roxithromycin sowie ein

zweites Röntgenkontrastmittel, das Iopromid, hinzu. Somit wurden 2004 insgesamt 8 und 2005 insgesamt 11 Arzneistoffe auf ihr Vorkommen in Fließgewässern, im Grundwasser und im Kläranlagenabwasser analysiert (siehe Tab. 1).

Die Auswahl der zu bewertenden Arzneistoffe erfolgte unter Verwendung von Literaturstudien zu gleichartigen Untersuchungen in anderen Bundesländern (z.B. Brandenburg/Apothekenrecherche) sowie des Berichtes des Bund-/Länderausschusses für Chemikaliensicherheit (BLAC) Juni 2003 [ABBAS et al. (2001), BLAC (2003)].

Tab. 1: Messprogramm 2004/2005 – Arzneistoffe, deren Anwendungsgebiete und besondere Eigenschaften

Arzneistoff	Kürzel	Verwendung	Eigenschaften	Jahr
Phenazon	Phen	Analgetikum (Schmerzmittel)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• gut wasserlöslich</li> <li>• schlecht abbaubar</li> <li>• keine Sorption an Klärschlamm, Boden oder Filtermaterial</li> </ul>	2004, 2005
Acetylsalicylsäure	Acet	Analgetikum (Schmerzmittel)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• gut wasserlöslich</li> <li>• leicht biologisch abbaubar</li> <li>• sehr geringes Adsorptionspotential</li> </ul>	2004, 2005
Diclofenac	Diclo	Analgetikum und Antirheumatikum (Rheumatische Beschwerden)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• schwer biologisch abbaubar</li> <li>• wenig wasserlöslich</li> <li>• mittleres Adsorptionspotential</li> <li>• schädlich für Wasserorganismen</li> </ul>	2004, 2005
Ibuprofen	Ibup	Analgetikum und Antirheumatikum (Rheumatische Beschwerden)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• biologisch abbaubar</li> <li>• mittleres Adsorptionspotential</li> <li>• hohe Bioakkumulations-tendenz</li> <li>• umweltgefährlich (giftig für Wasserorganismen)</li> <li>• wenig wasserlöslich</li> </ul>	2004, 2005
Bezafibrat	Beza	Lipidsenker und Metaboliten (Stoffwechselerkrankungen)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• biologisch abbaubar</li> <li>• hohes Adsorptionspotential</li> </ul>	2004, 2005
Clofibrinsäure	Clofi	Lipidsenker und Metaboliten (Stoffwechselerkrankungen)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• schwer biologisch abbaubar</li> <li>• hohe Persistenz und Mobilität in der aquatischen Umwelt</li> <li>• geringes Adsorptionspotential</li> <li>• gut wasserlöslich</li> </ul>	2004, 2005

Fortsetzung Tab. 1: Messprogramm 2004/2005 – Arzneistoffe, deren Anwendungsgebiete und besondere Eigenschaften

Arzneistoff	Kürzel	Verwendung	Eigenschaften	Jahr
Carbamazepin	Carb	Antiepileptikum (Epilepsieerkrankungen)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• schwer biologisch abbaubar</li> <li>• geringes Adsorptionspotential</li> <li>• Akkumulationspotential im aquatischen Organismus</li> <li>• reproduktionstoxische Wirkung bei Säugern</li> <li>• hohe Mobilität</li> <li>• wenig wasserlöslich</li> <li>• persistent</li> </ul>	2004, 2005
Iopamidol	Iopam	Röntgenkontrastmittel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• schwer biologisch abbaubar</li> <li>• persistent</li> <li>• geringes Adsorptionspotential</li> <li>• wasserlöslich</li> </ul>	2004, 2005
Iopromid	Iopro	Röntgenkontrastmittel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• schwer biologisch abbaubar</li> <li>• persistent</li> <li>• geringes Adsorptionspotential</li> <li>• wasserlöslich</li> </ul>	2005
Clarithromycin	Clari	Antibiotikum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• biologisch abbaubar</li> <li>• geringes Adsorptionspotential</li> </ul>	2005
Roxithromycin	Roxi	Antibiotikum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• biologisch abbaubar</li> <li>• geringes Adsorptionspotential</li> </ul>	2005

Es wurden jeweils über ein Untersuchungsjahr verteilt 4-5 Probenahmen an Fließgewässer- und Kläranlagenmessstellen sowie in der Regel 2 Probenahmen an den Grundwassermessstellen durchgeführt. Ausnahmen bildeten die jeweils in das Untersuchungsprogramm 2004 bzw. 2005 neu aufgenommenen Arzneistoffe, für die im Laufe des jeweiligen Untersuchungsjahres die Analytik erst etabliert werden musste.

## 2.2 Analytik

Für die Gruppe der Arzneistoffe gibt es zur Zeit keine genormten Analyseverfahren.

Die eingesetzten analytischen Verfahren zur Wasser- und Abwasseranalyse wurden z. B. im Rahmen von Forschungsarbeiten entwickelt und werden zur Zeit in einigen Laboratorien im

Routinebetrieb angewendet. Die im Rahmen des Sonderuntersuchungsprogrammes erforderlichen Analysen von Arzneistoffen in der Wasserphase wurden im Jahr 2004 vom Labor des LAU und seit dem Jahr 2005 vom Labor des LHW durchgeführt.

Aufgrund der unterschiedlichen gerätetechnischen Voraussetzungen der beiden Labors und der nicht standardisierten Analysemethoden für die Arzneistoffe wurden 2004 und 2005 verschiedene Methoden der Probenvorbereitung, -anreicherung und -quantifizierung eingesetzt.

#### 2004 Labor LAU:

Für die im Rahmen des Messprogrammes zu untersuchenden Arzneistoffe wurden verschiedene Probenvorbereitungen durchgeführt:

- sauer anreicherbare Arzneistoffe (Acetylsalicylsäure, Clofibrinsäure, Bezafibrat, Diclofenac, Ibuprofen):
  - Filtration über einen Glasfaserfilter und Einstellung der Abwasserprobe auf pH 2
  - Festphasenextraktion über Chromabond Easy Glassäulen
  - Elution mit 3 x 2 ml Methanol/Aceton
  - Derivatisierung mit Diazomethan
- neutral anreicherbare Arzneistoffe (Phenazon, Carbamazepin):
  - Filtration über einen Glasfaserfilter und Einstellung der Abwasserprobe auf pH 7
  - Festphasenextraktion über Chromabond C18 ec
  - Elution mit 3 x 2 ml Methanol/Aceton
- Röntgenkontrastmittel (Iopamidol):
  - Filtration über einen Glasfaserfilter und Einstellung der Abwasserprobe auf pH 7
  - Festphasenextraktion über Isolute ENV<sup>+</sup>
  - Elution mit 3 x 2 ml Methanol

Die Quantifizierung der sauer und neutral anreicherbaren Analyten erfolgte mittels Gaschromatographie gekoppelt mit einem massenselektiven Detektor (GC-MS) und für das Röntgenkontrastmittel mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie gekoppelt mit einem Tripel-Quadrupol-Massenspektrometer (HPLC-MS/MS) anhand ihrer spezifischen Massen.

#### 2005 – Labor LHW

Durch das Labor des LHW Wittenberg wurde eine eigene Methodik entwickelt, die es ermöglicht, möglichst viele der geforderten sehr unterschiedlichen Arzneistoffe gleichzeitig analytisch zu erfassen.

*Probenvorbereitung und Dotierung:*

Die zu analysierenden Arzneistoffe wurden aus dem Wasser isoliert und angereichert. Die Probenaufarbeitung der 11 Arzneistoffe erfolgte durch:

- Druckfiltration der Probe (ca. je 2 x 1 l) über Glasfaserfilter 40 µm
- Einstellung des pH-Wertes auf 3-4
- Festphasenextraktion der Probe zur Anreicherung der Analyten (Konditionierung, Probenaufgabe, waschen, trocknen des Polymermaterials)
- Elution der Analyten von der Festphase mittels organischem Lösemittel
- Einengen des Lösemittlextraktes bis zur Trockne und Aufnahme des Rückstandes in Wasser/Puffer
- Filtration über „minisart“- Membranfilter

Die Bestimmung der Arzneistoffe erfolgt mittels eines LC-MS-MS (API 2000) Analysensystems. Eine Kopplung von Flüssigchromatographie und Massenspektrometrie ermöglicht die Trennung und Quantifizierung der Analyten. Die Bedingungen der flüssigchromatographischen Trennung wurden für alle Arzneistoffe optimiert.

Eine Übersicht über die Bestimmungsgrenzen (BG) der einzelnen Arzneistoffe, bezogen auf Oberflächenwasser, Grundwasser und Abwasser, ist der nachfolgenden Tabelle 2 zu entnehmen:

Tab. 2: Bestimmungsgrenzen für Arzneistoffe im Oberflächenwasser, Grundwasser und Abwasser (2004 und 2005) in µg/l

Arzneistoff	Oberflächen- und Grundwasser		Abwasser	
	2004	2005	2004	2005
Acetylsalicylsäure	0,005	0,005	0,025	0,005
Clofibrinsäure	0,005	0,001	0,025	0,001
Bezafibrat	0,005	0,001	0,025	0,001
Diclofenac	0,005	0,005	0,025	0,005
Ibuprofen	0,005	0,025	0,025	0,025
Phenazon	0,025	0,001	0,050	0,001
Carbamazepin	0,025	0,001	0,050	0,001
Iopamidol	0,010	0,005	0,010	0,005
Iopromid		0,005		0,005
Clarithromycin		0,005		0,005
Roxithromycin		0,005		0,005

## 2.3 Messstellen

Im Rahmen des Gewässerüberwachungsprogramms Sachsen-Anhalt (GÜSA) erfolgten im Zeitraum 2004-2005 Sonderuntersuchungen an 35 Fließgewässer- und 14 Grundwassermessstellen sowie an 13 kommunalen Kläranlagen (siehe Anlage 1).

### 2.3.1 Fließgewässer

Der folgenden Tabelle sind die Fließgewässermessstellen der Untersuchungsjahre 2004 und 2005, die betreffenden Fließgewässer, deren Einzugsgebiete und Oberflächenwasserkörper (OWK) zu entnehmen.

Tab. 3: Untersuchungsprogramm Arzneistoffe 2004 und 2005 – Fließgewässermessstellen

Messstelle	Gewässer	Einzugsgebiet	OWK-Nr.	Jahr
oh. KA Thürungen	Helme	Saale	SAL11OW01-00	2004
uh. KA Thürungen	Helme	Saale	SAL11OW01-00	2004
oh. KA Sangerhausen	Gonna	Saale	SAL11OW03-00	2004
uh. KA Sangerhausen	Gonna	Saale	SAL11OW03-00	2004
oh. KA Laucha	Unstrut	Saale	SAL12OW01-00	2004
uh. KA Laucha	Unstrut	Saale	SAL12OW01-00	2004
oh. KA Karsdorf	Unstrut	Saale	SAL12OW01-00	2004
uh. KA Karsdorf	Unstrut	Saale	SAL12OW01-00	2004
oh. KA Freyburg	Unstrut	Saale	SAL12OW01-00	2004
uh. KA Freyburg	Unstrut	Saale	SAL12OW01-00	2004
Magdeburg (Westerhüsen)	Elbe	Elbe	MEL07OW01-00	2004
Dessau	Mulde	Mulde	VM02-OW01-00	2004
Groß Rosenberg	Saale	Saale	SAL08OW01-00	2004
uh. KA Köthen	Ziethen	Saale	SAL08OW09-00	2004
Kleinpaschleben	Ziethen	Saale	SAL08OW08-00	2004
Plömnitz	Ziethen	Saale	SAL08OW08-00	2004
Baalberge	Fuhne	Saale	SAL08OW07-00	2004
oh. KA Immekath	Jeetze	Elbe	MEL06OW03-00	2005
uh. KA Immekath	Jeetze	Elbe	MEL06OW03-00	2005
oh. KA Salzwedel	Jeetze	Elbe	MEL06OW01-00	2005
uh. KA Salzwedel	Jeetze	Elbe	MEL06OW01-00	2005
oh. KA Stendal	Kuhgraben	Elbe	MEL05OW21-00	2005
uh. KA Stendal	Kuhgraben	Elbe	MEL05OW21-00	2005
oh. KA Calvörde	Ohre	Elbe	MEL03OW02-00	2005
uh. KA Calvörde	Ohre	Elbe	MEL03OW02-00	2005
Satuelle	Ohre	Elbe	MEL03OW02-00	2005
oh. GW Bitterfeld-Wolfen	Mulde	Mulde	VM02-OW01-00	2005
uh. GW Bitterfeld-Wolfen	Mulde	Mulde	VM02-OW01-00	2005
oh. KA Leuna-Göhlitzsch	Saale	Saale	SAL05OW01-00	2005
uh. KA Leuna-Göhlitzsch	Saale	Saale	SAL05OW01-00	2005
Messstelle Meuschau	Saale	Saale	SAL05OW01-00	2005
oh. ZABA BSL Schkopau	Saale	Saale	SAL05OW01-00	2005
uh. ZABA BSL Schkopau	Saale	Saale	SAL05OW01-00	2005
oh. KA Rübeland	Bode	Saale	SAL17OW05-00	2005
uh. KA Rübeland	Bode	Saale	SAL17OW05-00	2005

oh. KA ...oberhalb Kläranlage; uh. KA ...unterhalb Kläranlage

Der Untersuchungsschwerpunkt lag im Jahr 2004 auf Fließgewässern im Einzugsgebiet der Unstrut. Weiterhin wurden die Untersuchungen an der Ziethe fortgesetzt und durch weiter unterhalb gelegene Messstellen an der Ziethe und der Fuhne ergänzt, da im Jahr 2003 unterhalb der Kläranlage Köthen eine hohe Belastung der Ziethe mit Arzneistoffen festgestellt wurde. Darüber hinaus erfolgte die Beprobung repräsentativer Messstellen an den Hauptfließgewässern Mulde, Saale und Elbe.

Im Jahr 2005 standen u.a. Messstellen an Fließgewässern im Mittelpunkt, die hinsichtlich der Trinkwassergewinnung von Bedeutung sind: Ohre (unterhalb der Einleitung der KA Calvörde, Wasserentnahme in Satuelle für Grundwasseranreicherung in der Colbitz-Letzlinger Heide-Trinkwassergewinnung für Region Magdeburg), Saale (unterhalb der Einleitung der KA Leuna-Göhlitzsch, Uferfiltratgewinnung – Wasserwerk Halle-Beesen).

Weiterhin wurden Messstellen in den Einzugsgebieten von Jeetze, Uchte, Mulde und Saale in die Untersuchungen zur Erfassung der Belastungssituation in Fließgewässern einbezogen.

### 2.3.2 Kläranlagen

Im Rahmen des Sonderuntersuchungsprogrammes wurden im Jahr 2004 die Zu- und Abläufe von 5 und im Jahr 2005 die Abläufe von 8 Kläranlagen (KA) untersucht (siehe Tab. 4 und Anlage 1).

Tab. 4 : Untersuchungsprogramm Arzneistoffe 2004-2005 - Kläranlagen

Name der Kläranlage	Einleitungsgewässer	Einzugsgebiet	Inbetriebnahmejahr *	Kapazität in EW	im Beprobungsjahr angeschlossene		KA im GÜSA
					EW	E	
Sangerhausen (neu)	Gonna	Saale	2000	40.000	30.677	29.477	2004
Karsdorf	Unstrut	Saale	1993	30.000	16.303	8.200	2004
Freyburg	Unstrut	Saale	1993	33.250	17.420	7.098	2004
Thürungen	Helme	Saale	1998	7.000	6.813	6.813	2004
Laucha	Graben zur Unstrut	Saale	1993	37.000	9.297	3.550	2004
Bitterfeld-Wolfen	Mulde	Mulde	1994	422.000	362.308	77.818	2005
ZABA BSL Schkopau	Saale	Saale	1998	400.000	96.202	48.915	2005
Stendal	C004 Kuhgr./Uchte	Elbe	1994	115.000	87.550	40.000	2005
Salzwedel (neu)	Jeetze	Elbe	1997	45.000	33.850	32.850	2005
Rübeland (neu)	Bode	Saale	1999	30.000	33.233	18.959	2005
Immekath	Jeetze	Elbe	2002	36.000	17.735	12.944	2005
Leuna-Göhlitzsch (neu)	Saale	Saale	2000	10.000	8.858	6.963	2005
Calvörde	Ohre	Elbe	1993	47.900	3.436	3.143	2005

\* ...Neubau, Sanierung, Inbetriebnahme letzte Reinigungsstufe, Erweiterung

EW...Einwohnerwerte; E...Einwohner

Bei den Kläranlagen handelt es sich um Belebtschlammanlagen mit weitergehender Nährstoffeliminierung, wobei durchaus Unterschiede bei der jeweiligen Abwasserbehandlungstechnik im Detail bestehen. Die KA Calvörde ist dem Typ SBR (Sequencing Batch Reactor) zuzuordnen.

### 2.3.3 Grundwasser

Die zu beprobenden Grundwassermessstellen wurden entsprechend vorliegender Hinweise auf Belastungen (u. a. Bor, mikrobiologische Parameter), die Siedlungseinflüsse vermuten lassen, ausgewählt (siehe Tab. 5). Zusätzlich konnten in Zusammenarbeit mit dem UFZ Leipzig-Halle im Jahr 2005 im Stadtgebiet von Halle 5 Grundwassermessstellen beprobt werden.

Tab. 5 : Untersuchungsprogramm Arzneistoffe 2004-2005 – Grundwasser

Ort/	Messstelle	Aufsch.-Nr.	GWK	GWK-Bezeichnung	Jahr
Tornitz		Hy Tornitz 1/92	EN 3	Magdeburger Triaslandschaft und Elbtal	2004
Gübs		Hy Gübs 1/95	EN 1	Westfläming und Elbtal (Ehle)	2004
Pietzpuhl		Hy Piz 1/96	HAV UH 7	Burg-Ziesar Fläming, Moränenlandschaft	2004
Quedlinburg		Hy Qued 1/96	SAL GW 065	Kreide der Subherzynen Senke	2004
Eickendorf		Hy EKsbk 111/98	SAL GW 066	Triaslandschaft Börde	2004
Klein Chüden		Hy Rie 1/93	NI10 01	Jeetzel Lockergestein rechts	2004
Halle	Lettin, Äußere Lettiner Straße	Hy KA 11/95	SAL GW 014	Mansfeld-Querfurt-Naumburger Triasmulden und -platten	2005
Halle	Pestalozzistraße, Park	Hy O 18/97	SAL GW 014		2005
Halle	Elsa-Brandström-Straße	Hy Hal 44/98	SAL GW 014		2005
Halle	Geschichtsmuseum, Rosa-Luxemburg-Platz	Hy Hal 36/98	SAL GW 014		2005
Halle	Silberhöhe, Kasseler Straße	Hy Hal 47/98	SAL GW 014		2005
Göbitz		Hy Auligk 101/00	SAL GW 059	Weißelsterbecken mit Bergbaueinfluss	2005
Zangenberg		Hy Göz 102/00	SAL GW 059		2005
Auligk		Hy Zangenberg 103/00	SAL GW 059		2005

Aufsch.-Nr. ...Aufschluss-Nummer; GWK...Grundwasserkörper

Die Messstellen vertreten sowohl den quartären als auch den tertiären Grundwasserleiter (GWL) und im Stadtgebiet Halle neben dem Talgrundwasserleiter auch den Festgesteinsbereich (Rotliegendes). Die ausgewählten Messstellen wurden im Rahmen der Frühjahrs- und Herbstbeprobung 2004 bzw. 2005 entsprechend 2-mal jährlich untersucht. An den Messstellen im Stadtgebiet von Halle erfolgte nur eine Beprobung im Frühjahr 2005.

## 2.4 Hinweise zur Auswertung

### Arzneistoffkonzentrationen

Für die Berechnung des arithmetischen Mittelwertes der Arzneistoffkonzentrationen erfolgte bei Analysen mit dem Ergebnis „kleiner Bestimmungsgrenze“ (" $<BG$ ") die Verwendung des Zahlenwertes ( $\frac{1}{2} BG$ ) bei allen Auswertungen.

Es ist zu beachten, dass eine korrespondierende Probenahme im Rahmen des Sondermessprogramms nicht möglich war. Dies betrifft sowohl

- die entnommenen Wasserproben und die Durchflussdaten in  $m^3/s$  (Fließgewässer) bzw. in  $m^3/d$  (Kläranlagenabflüsse),
- die Probenahmen bei den Kläranlagenzu- und –abläufen als auch
- die Fließgewässermessstellen oberhalb und unterhalb der Kläranlageneinleitungen.

Aufgrund der für die Jahre 2004 und 2005 etwas unterschiedlichen Analytik werden die Messergebnisse teilweise separat für jedes Jahr ausgewertet.

Für den Vergleich der Messergebnisse mit Umweltqualitätsnormen (UQN) [FRIMMEL et al. (2003), FRIMMEL et al. (2004)] der WRRL wurden die (Jahres)mittelwerte herangezogen.

### Arzneistofffrachten

Aus den gemessenen Arzneistoffkonzentrationen wurden für jede einzelne Probenahme der Fließgewässer und Kläranlagenabläufe Einzelfrachten in  $g/d$  berechnet. Aus diesen Einzelfrachten erfolgte die Berechnung der mittleren Fracht.

Die Berechnung der Arzneistofffrachten für die Fließgewässer erfolgte unter Verwendung der Durchflussdaten des Probenahmetages in  $m^3/s$  (Datenquelle LHW) und der bei der jeweiligen Probenahme ermittelten Arzneistoffkonzentration. Die Fracht der Kläranlagenabläufe wurde auf der Basis der durch die Kläranlagenbetreiber im Rahmen der Eigenüberwachung ermittelten Tagesabflüsse in  $m^3/d$  und der jeweils gemessenen Arzneistoffkonzentration berechnet.

Es ist zu beachten, dass die so ermittelten Frachten mit Fehlermöglichkeiten behaftet sind, die sowohl auf der Probenahmestrategie als auch auf dem Berechnungsverfahren beruhen können. Die so ermittelten Frachten sind Schätzwerte, die den Trend der einzelnen Arzneistofffrachten anzeigen. Nachfolgend sind einige der möglichen Fehlerquellen bei der Frachtberechnung aufgeführt:

### Probenahmestrategie

- geringe Häufigkeit der Probenahme – keine statistisch gesicherten Mittelwerte
- Art der Probenahme (Einzelprobe) und Tageszeit – Schwankungen der Arzneistoffkonzentrationen im Tagesrhythmus nicht berücksichtigt
- Lage der Fließgewässermessstelle – vollständige Durchmischung im Flussquerschnitt nicht immer gewährleistet, die ermittelten Konzentrationen sind möglicherweise nicht repräsentativ für den gesamten Flussquerschnitt
- Durchflussermittlung – Durchflussdaten nicht zur gleichen Zeit und an der gleichen Messstelle ermittelt
- Analytik – schwebstoffgebundene Arzneistoffe nicht erfasst, nur Wasserphase analysiert

### Berechnungsverfahren

- rechnerisch ermittelte mittlere Tagesdurchflüsse bzw. –abflüsse
- Frachtermittlung ohne Berücksichtigung der Jahresganglinie für den Durchfluss, keinen Faktor zur Berücksichtigung der hydrologischen Situation verwendet
- Durchflussdaten sind Tagesmittelwerte korrespondieren nicht mit einzelner Probenahme

### 3. Darstellung der Messergebnisse und Auswertung

#### 3.1 Fließgewässer

In den Untersuchungsjahren 2004 und 2005 wurden je 17 Fließgewässermessstellen beprobt. Die ermittelten Einzelmesswerte der Arzneistoffkonzentrationen sind der Anlage 2 zu entnehmen.

Die deutlichsten Arzneistoffkonzentrationserhöhungen wurden 2004 und 2005 erwartungsgemäß in den kleineren Fließgewässern Gonna, Ziethe, Kuhgraben, Bode und Jeetzeoberlauf unterhalb relativ großer Kläranlageneinleitungen gemessen. Den folgenden Abbildungen 2 und 3 sind die Jahresmittelwerte für die 8 bzw. 11 gemessenen Arzneistoffkonzentrationen pro Messstelle zu entnehmen (siehe Anlage 5).

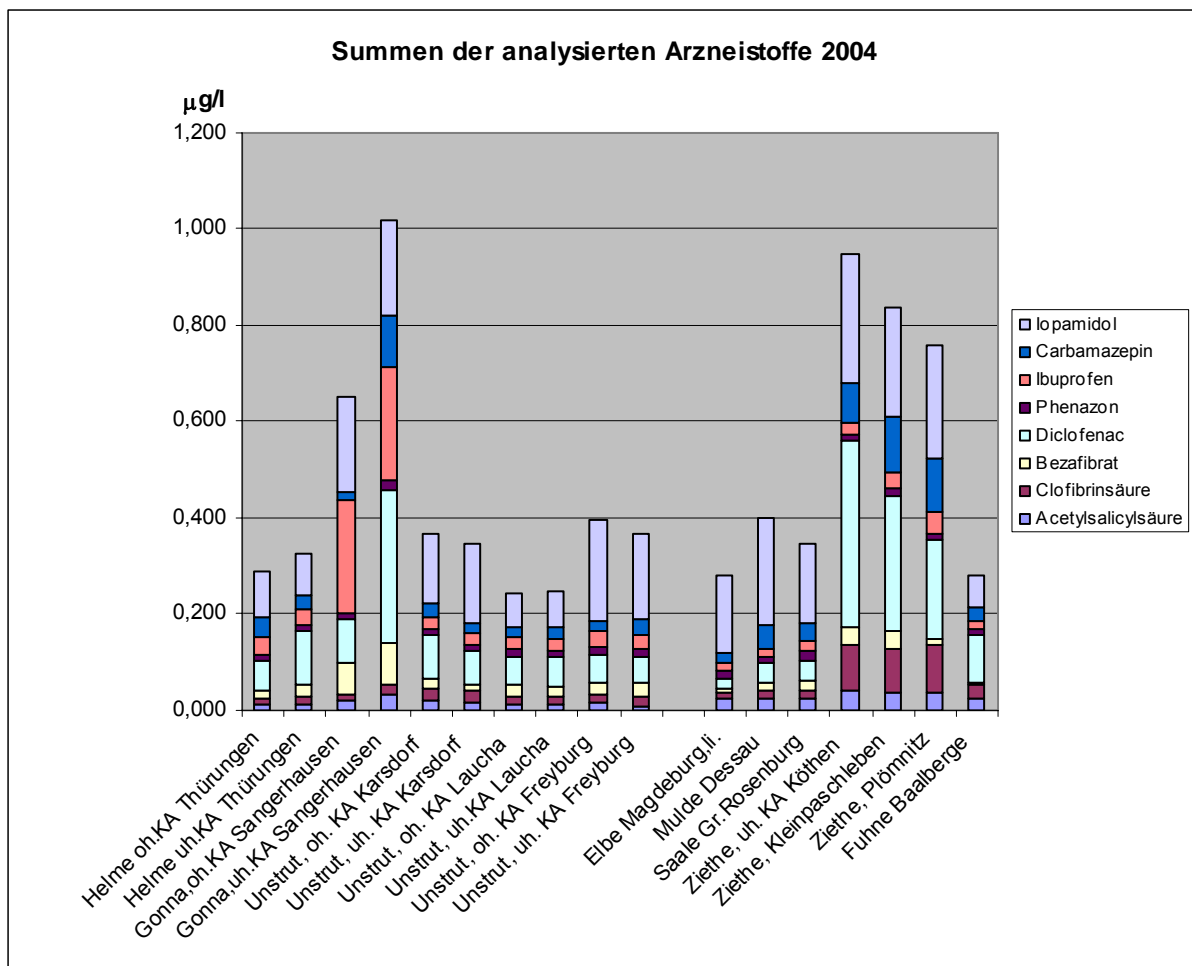


Abb. 2: Mittlere Arzneistoffkonzentrationen der im Jahr 2004 analysierten 8 Arzneistoffe in µg/l - dargestellt als Summen der analysierten Arzneistoffe

Im Jahr 2004 erreichten die Messstellen Gonna/uh. KA Sangerhausen und Ziethe/uh. KA Köthen die höchsten Arzneistoffkonzentrationen. Für die Unstrut wurden bereits im Abschnitt oberhalb der Kläranlage Karsdorf für 7 der analysierten 8 Arzneistoffe Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenzen ermittelt. Lediglich für Phenazon lagen die Konzentrationen nahezu bei allen Messungen unterhalb der Bestimmungsgrenze. Es waren

für die Messstellen oberhalb und unterhalb der 3 Kläranlagen kaum Unterschiede der Arzneistoffkonzentrationen feststellbar. Auch im Flussverlauf erfolgte lediglich eine leichte Erhöhung der Konzentrationen bis unterhalb Freyburg. Die für die Helme im Abschnitt Thürungen sowie die Elbe/Magdeburg, die Mulde/Dessau und die Saale/Groß Rosenberg ermittelten Arzneistoffkonzentrationen bewegten sich im Bereich der für die Unstrut ermittelten Werte.

Bereits im Jahr 2003 wurde im Rahmen des Sonderuntersuchungsprogramms die Zieth ober- und unterhalb der KA Köthen beprobt. Aufgrund der hier ermittelten hohen Arzneistoffkonzentrationen wurden im Jahr 2004 sowohl die Messstelle unterhalb der Kläranlage als auch noch weitere Messstellen in Fließrichtung bis hin zu einer Messstelle in der Fuhne nach der Einmündung der Zieth in das Sonderuntersuchungsprogramm aufgenommen. Die Messergebnisse zeigen wiederum deutlich den Einfluss der KA-Einleitung auf die analysierten Stoffkonzentrationen in der Zieth (siehe Abb. 2, Tab. 6). Diese nehmen im Längsverlauf in der Regel ab. Die unterhalb Kleinpaschleben in die Zieth einleitende KA Crüchern (6 300 EW) beeinflusst in geringem Maße die gemessenen Arzneistoffkonzentrationen.

Tab. 6: Veränderung der Konzentrationen ausgewählter Arzneistoffe (Mittelwerte in µg/l) im Längsprofil der Zieth und uh. der Ziethemündung in die Fuhne (Baalberge)

Probenahmestelle	Acet	Clofi	Beza	Diclo	Phen	Ibup	Carb	Iopam
oh.KA Köthen 2003	0,011	0,007	0,005	0,007	0,029	0,011	0,020	
uh.KA Köthen 2003	0,013	0,150	0,111	0,312	0,045	0,091	0,042	
uh.KA Köthen	0,042	0,092	0,038	0,390	0,013	0,024	0,084	0,265
Kleinpaschleben	0,037	0,092	0,034	0,282	0,017	0,031	0,119	0,225
Plömnitz	0,037	0,100	0,012	0,207	0,013	0,044	0,111	0,235
Fuhne/Baalberge	0,025	0,029	0,003	0,099	0,013	0,017	0,027	0,069

Für die im Rahmen des Untersuchungsprogramms im Jahr 2005 analysierten 11 Arzneistoffe wurden mit Abstand die höchsten Konzentrationen im Kuhgraben/uh. KA Stendal, gefolgt von der Messstelle Saale/uh. ZABA BSL Schkopau, erreicht (Abb. 3). Während die hohen Arzneistoffkonzentrationen im Kuhgraben aufgrund des hohen Abwasseranteils der KA Stendal im Vergleich zum Fließgewässeranteil beruhen, sind die hohen Konzentrationen in der Saale auf die bereits oberhalb Schkopau vorhandene Belastung durch eine Vielzahl kommunaler Einleitungen (z.B. Kläranlagen Naumburg, Weißenfels, Wengelsdorf, Bad Dürrenberg) zurückzuführen. Im Jahr 2006 wird die Beprobung des Kuhgrabens ober- und unterhalb der KA Stendal fortgesetzt und zusätzlich durch die Probenahme an der Uchte ober- und unterhalb der Einmündung des Kuhgrabens sowie des Zulaufes der KA Stendal ergänzt.

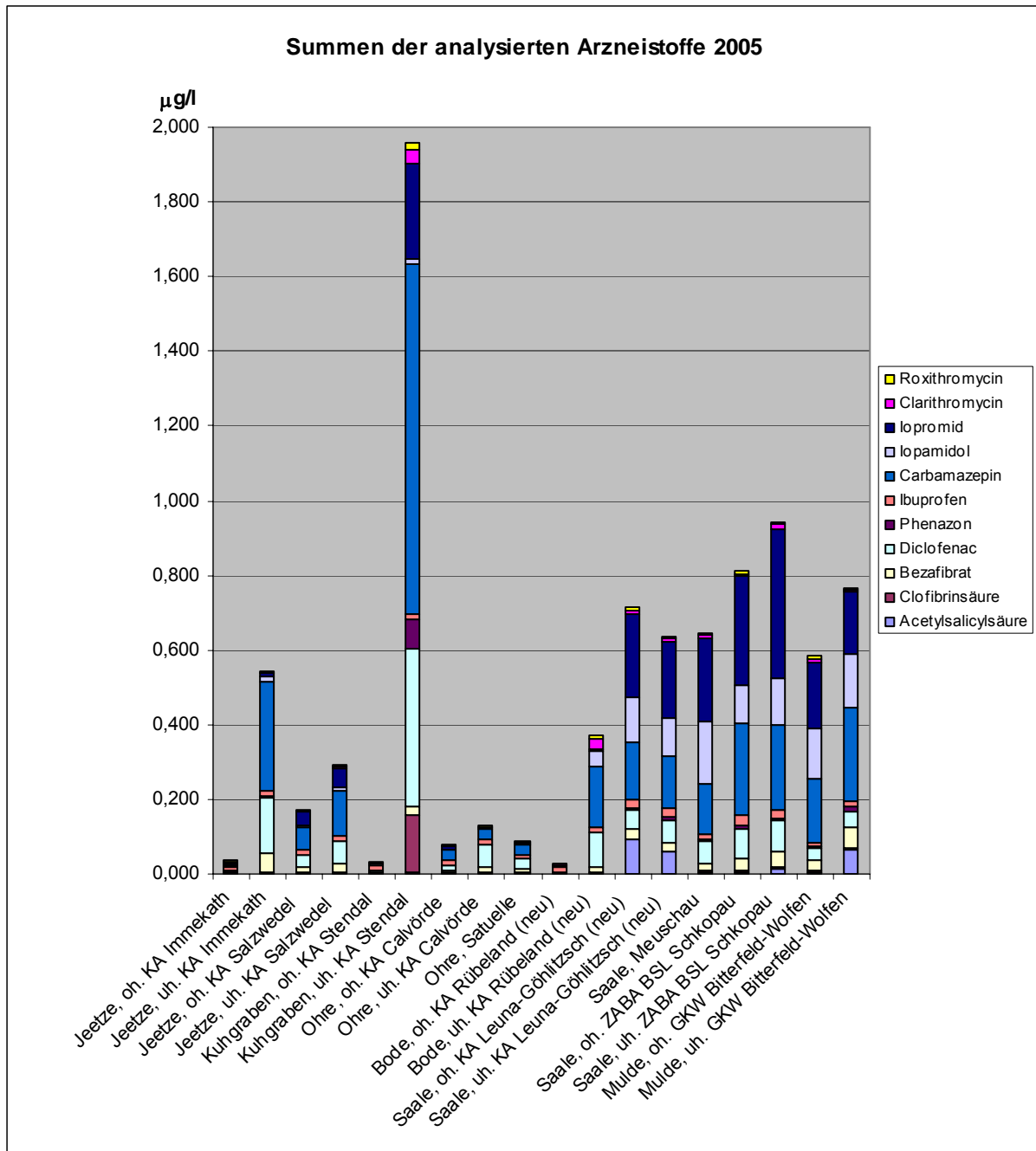


Abb. 3: Mittlere Arzneistoffkonzentrationen der im Jahr 2005 analysierten 11 Arzneistoffe in µg/l - dargestellt als Summen der analysierten Arzneistoffe

Im Jahr 2005 wurden zwei Fließgewässer (Ohre, Saale), die eng mit der Trinkwassergewinnung in Sachsen-Anhalt verbunden sind, untersucht.

Für die Ohre oberhalb der KA Calvörde wurden für 5 der 11 Arzneistoffe keine Messwerte oberhalb der Bestimmungsgrenzen ermittelt. Der Anteil der Messwerte „< BG“ betrug insgesamt 74 %. Ein vergleichbar hoher Anteil an Werten unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde auch für die Ohre unterhalb der Kläranlage Calvörde und an der Messstelle Satuelle ermittelt. Ein Konzentrationsanstieg wurde für die Arzneistoffe Diclofenac und Bezafibrat im Ohreabschnitt unterhalb der Kläranlageneinleitung registriert. Bis zur Messstelle Satuelle, in

deren Bereich die Wasserentnahme für die Grundwasseranreicherung der Colbitz-Letzlinger Heide erfolgt, waren die gemessenen Konzentrationen wieder rückläufig und lagen für Bezafibrat im Bereich der oberhalb der KA gemessenen Arzneistoffkonzentrationen. Für Diclofenac war der Jahresmittelwert der Messstelle Satuelle noch etwa doppelt so hoch wie der des Ohreabschnittes oberhalb der Kläranlageneinleitung. Für die anderen analysierten 9 Arzneistoffe wurde keine durch die Kläranlageneinleitung bedingte Konzentrationserhöhung nachgewiesen.

In der Saale wurden aufgrund der vorhandenen Abwasserbelastung bereits im Saaleabschnitt oberhalb der KA Leuna-Göhlitzsch hohe Arzneistoffkonzentrationen ermittelt, die sogar etwas über denen des Abschnittes unterhalb der KA-Einleitung und der Messstelle Meuschau liegen (Uferfiltrat – Wasserwerk Halle-Beesen). Alle 11 Arzneistoffe traten in Konzentrationen auf, die selten (Ibuprofen, Roxithromycin), mehrmals (Clobibrinsäure, Clarithromycin, Acetylsalicylsäure, Phenazon) oder immer (Bezafibrat, Diclofenac, Carbamazepin, Iopamidol, Iopromid) oberhalb der Bestimmungsgrenze lagen.

Die niedrigsten Arzneistoffkonzentrationen von allen untersuchten Fließgewässermessstellen wurden im Abschnitt der Bode oberhalb der Einleitung der KA Rübeland gemessen. Hier lagen alle Messwerte für alle 11 Arzneistoffe unterhalb der Bestimmungsgrenzen. Im Abschnitt unterhalb der Einmündung der KA Rübeland betrug der Anteil an Messwerten „< BG“ dann nur noch 50 %. Insbesondere für Diclofenac, Carbamazepin und Bezafibrat erfolgte eine deutliche Konzentrationserhöhung im Bodeabschnitt unterhalb der Kläranlage.

Die für die Mulde im Abschnitt Jeßnitz ermittelten Arzneistoffkonzentrationen sind mit den in der Saale gemessenen Werten vergleichbar und zeigen auch hier die bereits oberhalb der Kläranlageneinleitung des GWK Bitterfeld-Wolfen vorhandene Belastung der Mulde mit den 11 analysierten Arzneistoffen an. Die Erhöhung der Arzneistoffkonzentration in der Mulde unterhalb der Kläranlageneinleitung steht deutlich mit den im Kläranlagenablauf gemessenen z. T. sehr hohen Arzneistoffkonzentration in Verbindung (vgl. Anlagen 2 und 3).

Die in der Jeetze gemessenen Konzentrationen liegen im Bereich der Kläranlage Salzwedel deutlich unterhalb der Konzentrationen, die unterhalb der Kläranlage Immekath ermittelt wurden. Dies ist auf die viel niedrigeren Durchflüsse der Jeetze im Oberlauf zurückzuführen.

Insgesamt bewegen sich die gemessenen Arzneistoffkonzentrationen im Wertebereich unterhalb der Bestimmungsgrenze bis hin zum für Carbamazepin gemessenen Maximalwert von 1,1 µg/l, der sowohl im März als auch im Juni 2005 an der Messstelle im Kuhgraben unterhalb der Einleitung der KA Stendal erreicht wurde.

Der folgenden Tabelle sind die Wertebereiche zu den Einzelmesswerten der analysierten Arzneistoffe zu entnehmen.

Tab. 7: Untersuchungsprogramm Arzneistoffe 2004 und 2005 – Fließgewässer, Wertebereich Minimum (MIN) – Maximum (MAX) im Vergleich zu Messwerten aus dem Untersuchungsprogramm Arzneistoffe 2002/2003 und zu Literaturwerten

Fließgewässer		Acet	Clofi	Beza	Diclo	Phen	Ibup	Carb	Iopam	Iopro	Clari	Roxi
LSA 2004 und 2005	MIN	<0,005	<0,001	<0,001	<0,005	<0,001	<0,005	<0,001	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
	MAX	0,360	0,220	0,200	0,790	0,120	0,420	1,100	0,340	0,580	0,100	0,038
LSA 2002 und 2003	MIN	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,025	<0,005	<0,025				
	MAX	0,098	0,630	0,480	0,510	0,170	0,250	0,580				
Literatur Quelle	MAX	(1,5)*	0,550	1,900	1,900 StUA Münster (2004)	0,840 BLAC (2003)	1,500 StUA Münster (2004)	6,100 StUA Münster (2004)	1,500 BRAUCH (2002)	0,450 BLAC (2003)	0,950 BLAC (2003)	0,560 ALEXY (2005)

\*...Für Acetylsalicylsäure liegt nur ein indirekter Literaturhinweis vor.

Der Vergleich mit in anderen Fließgewässern der Bundesrepublik Deutschland gemessenen Arzneistoffkonzentrationen zeigt, dass die 2004 und 2005 ermittelten Konzentrationsmaxima für Fließgewässer im Land Sachsen-Anhalt sich überwiegend deutlich unterhalb der aus der Literatur zu entnehmenden maximalen Messwerte bewegen (siehe Tab. 7 und Anlage 7).

Eine Ausnahme bildet der Spitzenwert für Iopromid von 0,580 µg/l, der sowohl oberhalb als auch unterhalb der ZABA BSL Schkopau im März 2005 in der Saale ermittelt wurde. Höher als der aus der Literatur zu entnehmende Messwert war ebenfalls der bereits im Jahr 2003 unterhalb der KA Köthen in der Ziethe ermittelte Spitzenwert von 0,630 µg/l für Clofibrinsäure. Dieser Wert wurde bei den Untersuchungen an der gleichen Messstelle im Jahr 2004 nicht erreicht, was auf verschiedene Ursachen, im Wesentlichen aber auf den Stichprobencharakter der Probenahmen und unterschiedliche hydrologische Bedingungen, zurückgeführt werden kann.

Im Zuge der Umsetzung der WRRL werden Umweltqualitätsnormen (UQN), d.h. Schadstoffkonzentrationen in Wasser, Sedimenten oder Biota vorgegeben, die zum Schutz der aquatischen Lebensgemeinschaft nicht überschritten werden dürfen [RL 2000/60/EG (2000)]. Für die Bewertung zur Einhaltung der Umweltqualitätsnormen sind die ermittelten Jahresmittelwerte heranzuziehen [LAWA (2003)]. Da für Arzneistoffe bisher noch keine Umweltqualitätsnormen existieren, wurden in Deutschland durch die LAWA bzw. im Rahmen von Forschungsprojekten Vorschläge zu Umweltqualitätsnormen für einzelne Arzneistoffe unterbreitet [FRIMMEL et al. (2003), FRIMMEL et al. (2004)]. Für Arzneistoffe, für die keine UQN-Vorschläge vorliegen, werden im Rahmen dieses Berichtes die PNEC-Werte (Predicted No Effect Concentration – vorausgesagte maximale nicht wirksame Dosis) für eine Bewertung des möglicherweise vom Arzneistoff ausgehenden Gefährdungspotentials für aquatische Organismen verschiedener Trophiestufen herangezogen [BLAC (2003), ENGELMANN et al. (2005), LAWA (2005), LUA BRANDENBURG (2002), GELLERT (2005)]. Die derzeit auf der Grundlage ökotoxikologischer Tests ermittelten PNEC-Werte für 8 der analysierten Arzneistoffe liegen deutlich über 1 µg/l und über den für 4 Arzneistoffe vorhandenen UQN-Vorschlägen (siehe Anlage 4). Lediglich für Clofibrinsäure ist der PNEC-Wert von 0,1 µg/l deutlich niedriger als der UQN-Vorschlag (5 µg/l).

Für Clarithromycin wird ein sehr niedriger PNEC-Wert von 0,006 µg/l angegeben (ein UQN-Vorschlag liegt nicht vor). Da Daten zur Umweltrelevanz nur für eine Trophiestufe vorlagen,

wurde bei der Ermittlung dieses PNEC-Wertes mit einem sehr hohen Sicherheitsfaktor von 25.000 gerechnet. Dieser kann nach Vorliegen weiterer ökotoxikologischer Daten noch deutlich verändert werden.

Eine Bewertung der in den Jahren 2004 und 2005 untersuchten Fließgewässer erfolgte auf der Basis der berechneten Jahresmittelwerte (siehe Anlage 4). Im Ergebnis der Arzneistoffuntersuchungen an ausgewählten Fließgewässermessstellen zeigten sich für kleine Fließgewässer, die durch Kläranlageneinleitungen belastet werden, Überschreitungen an 7 Messstellen. Insbesondere wurde der UQN-Vorschlag für Diclofenac überschritten (7 Messstellen). Eine Überschreitung des UQN-Vorschlages lag für Carbamazepin vor (Kuhgraben, uh. KA Stendal). Für die Arzneistoffe Clofibrinsäure, Phenazon und Ibuprofen lagen die Jahresmittelwerte aller Messstellen unterhalb der jeweiligen UQN-Vorschläge.

Unter Hinzuziehung der PNEC-Werte erhöht sich die Anzahl der Messstellen mit Überschreitungen um weitere 8 Messstellen, wobei dies allein auf der Überschreitung des sehr niedrigen PNEC-Wertes von 0,006 µg/l für Clarithromycin beruht. In der nachfolgenden Tabelle sind die Arzneistoffe und Fließgewässermessstellen aufgeführt, bei denen erhöhte Jahresmittelwerte ermittelt wurden, die über den UQN-Vorschlägen der LAWA bzw. über den PNEC-Werten aus LUA BRANDENBURG (2002) liegen und somit ein mögliches Gefährdungspotential für die aquatische Flora und Fauna sowie für die Gesundheit des Menschen darstellen. An der Spitze der Überschreitungen steht der Kuhgraben im Abschnitt unterhalb der Kläranlage Stendal.

Tab. 8: Überschreitungen von UQN-Vorschlägen und PNEC-Werten für ausgewählte Arzneistoffe im Rahmen des Untersuchungsprogrammes Arzneistoffe 2004 und 2005 – Fließgewässer [Konzentrationen in µg/l]

Probenahmestelle	Clofibrinsäure	Diclofenac	Carbamazepin	Clarithromycin
Helme uh.KA Thürungen	0,017	<b>0,109</b>	0,030	
Gonna,uh.KA Sangerhausen	0,023	<b>0,318</b>	0,105	
Ziethen, uh. KA Köthen	0,092	<b>0,390</b>	0,084	
Ziethen, Kleinpaschleben	0,092	<b>0,282</b>	0,119	
Ziethen, Plömnitz	0,100	<b>0,207</b>	0,111	
Jeetze, uh. KA Immekath	0,001	<b>0,148</b>	0,294	0,003
Kuhgraben, uh. KA Stendal	<b>0,155</b>	<b>0,420</b>	<b>0,940</b>	<b>0,039</b>
Bode, uh. KA Rübeland (neu)	0,001	0,091	0,163	<b>0,026</b>
Saale, oh. KA Leuna-Göhlitzsch (neu)	0,002	0,049	0,155	<b>0,010</b>
Saale, uh. KA Leuna-Göhlitzsch (neu)	0,002	0,064	0,137	<b>0,010</b>
Saale, Meuschau	0,001	0,058	0,138	<b>0,009</b>
Saale, oh. ZABA BSL Schkopau	0,002	0,082	0,243	<b>0,007</b>
Saale, uh. ZABA BSL Schkopau	0,003	0,082	0,228	<b>0,012</b>
Mulde, oh. GW Bitterfeld-Wolfen	0,005	0,029	0,172	<b>0,008</b>
Mulde, uh. GW Bitterfeld-Wolfen	0,007	0,039	0,251	<b>0,008</b>
<b>UQN(V)</b>	<b>5,000</b>	<b>0,100</b>	<b>0,500</b>	
<b>PNEC</b>	<b>0,100</b>	<b>36,000</b>	<b>17,000</b>	<b>0,006</b>

Für Acetylsalicylsäure, Bezafibrat, Phenazon, Ibuprofen, Iopromid und Roxithromycin wurden keine Überschreitungen der PNEC-Werte festgestellt. Lediglich für Iopamidol sind keine UQN-Vorschläge und/oder PNEC-Werte aus der Literatur bekannt.

Für eine Risikobewertung der Arzneistoffe für den Umweltbereich kann der Quotient aus der Konzentration, mit der der Stoff in der Umwelt vorkommt (MEC – Measured Environmental Concentration) bzw. mit welcher er erwartungsgemäß in der Umwelt auftreten kann (PEC – Predicted Environmental Concentration) und der Konzentration gebildet werden, bei der voraussichtlich noch keine Wirkung auf Organismen oder Ökosysteme auftreten (PNEC – Predicted No-Effect-Concentration).

Unter Verwendung des Quotienten MEC/PNEC ergeben sich für die in der Tabelle 8 gekennzeichneten Jahresmittelwerte von Clofibrinsäure und Clarithromycin Werte zwischen  $> 1,2$  und  $< 6,5$ . Für die Risikobewertung zeigen diese Werte zwar Besorgnis an, liegen aber noch nicht so hoch ( $> 10$ ), als dass sofortige weitere Untersuchungen erforderlich wären. Weitere Untersuchungen zur Verbesserung der Datenlage werden im Jahr 2006 für den Kuhgraben, als das Fließgewässer mit den meisten Überschreitungen für die UQN-Vorschläge (Diclofenac, Carbamazepin) und den höchsten MEC/PNEC Quotienten, durchgeführt.

Bei der Betrachtung der ermittelten durchschnittlichen Arzneistoffkonzentrationen für die Fließgewässermessstellen unterhalb von Kläranlageneinleitungen kann bei der Mehrzahl der untersuchten Fließgewässer ein deutlicher Einfluss durch die von den Kläranlagen ins Gewässer eingeleiteten Arzneistoffe aufgezeigt werden. Lediglich unterhalb der Einleitungen der Kläranlagen Karsdorf, Freyburg und Leuna-Göhlitzsch wurde in den Fließgewässern überwiegend keine Erhöhung der Konzentrationen der analysierten Arzneistoffe gemessen.

Eine jahreszeitliche Abhängigkeit der ermittelten Arzneistoffkonzentrationen konnte nicht festgestellt werden. Hierfür war der Messwertumfang zu gering. Untersuchungsergebnisse anderer Autoren konnten aber – trotz höherer Messwertzahl - auch keine direkte Abhängigkeit zwischen jahreszeitlich beeinflusstem Durchfluss und den Arzneistoffkonzentrationen (Verdünnungsfaktor) sowie zwischen der Jahreszeit und den Arzneistoffkonzentrationen (Stoffpalette) nachweisen [BRAUCH et al. (2002)].

### **3.2 Kläranlagen**

Bei den im Untersuchungsprogramm befindlichen 13 Kläranlagen handelt es sich um Belebtschlammanlagen mit weitergehender Nährstoffeliminierung.

Es wurden im Jahr 2004 Kläranlagenzu- und -abläufe von 5 Kläranlagen auf das Vorkommen von 8 Arzneistoffen bzw. im Jahr 2005 Kläranlagenabläufe von 8 Kläranlagen auf das Vorkommen von 11 Arzneistoffen untersucht. Da es sich bei den auf ausgewählte Arzneistoffe untersuchten Abwasserproben um maximal 5 auf das Untersuchungsjahr verteilte Stichproben pro Kläranlage handelt, sind die Daten statistisch nicht gesichert. Mögliche Schwankungen der Parameter (Abwassermengen und Arzneistoffkonzentration im

Zu- und Ablauf der Kläranlagen) zum jeweiligen Probenahmezeitpunkt sind deshalb nicht zu vernachlässigen (siehe Pkt. 2.4). Dennoch zeigen die Untersuchungsergebnisse sehr gut die Belastung der einzelnen Kläranlagenzu- und -abläufe mit analysierten Arzneistoffen an (siehe Anlage 3).

Die im Jahr 2004 ermittelten Arzneistoffkonzentrationen im Zulauf der kommunalen Kläranlagen waren zum Teil deutlich oberhalb der Bestimmungsgrenze, im Bereich von einigen µg/l, nachweisbar. Die höchste Zulaufkonzentration wurde für die Kläranlage Freyburg (Ibuprofen: 22,8 µg/l) ermittelt (siehe Tab. 9).

Spitzenwerte im Ablauf der 2004 und 2005 untersuchten Kläranlagen erreichten das GW Bitterfeld-Wolfen für Acetylsalicylsäure, Phenazon und Iopamidol sowie die KA Freyburg für Ibuprofen.

Tab. 9: Einzelmessergebnisse für Arzneistoffe in Kläranlagenzu- und -abläufen –  
Minimum (MIN) – Maximum (MAX)

KA	Jahr	Acetylsalicylsäure		Clofibrinsäure		Bezafibrat		Diclofenac	
		MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
Zulauf	2004	0,027	6,100	0,320	3,900	0,047	3,200	0,360	8,200
		Laucha	Sangerhausen	Thürungen	Freyburg	Laucha	Freyburg	Laucha	Sangerhausen
Ablauf	2004	BG	0,530	BG	1,700	BG	0,890	0,034	4,600
		alle KA	Sangerhausen	alle außer Sange	Freyburg	alle außer Sange	Sangerhausen	Laucha	Sangerhausen
Ablauf	2005	BG	10,000	BG	0,490	0,029	2,100	0,033	4,100
		alle KA	Bitterf.-Wolfen	4 KA	Leuna-Gö.	Stendal	Immekath	ZABA BSL	Stendal

KA	Jahr	Phenazon		Ibuprofen		Carbamazepin		Iopamidol	
		MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
Zulauf	2004	0,051	2,600	0,190	22,800	BG	2,500	1,100	4,700
		Karsdorf	Sangerhausen	Karsdorf	Freyburg	Laucha	Thürungen	Laucha	Sangerhausen
Ablauf	2004	BG	0,260	BG	9,600	BG	0,550	1,000	4,200
		alle KA	Thürungen	3 KA	Freyburg	3 KA	Freyburg	Laucha	Sangerhausen
Ablauf	2005	BG	8,200	BG	0,780	0,150	5,200	BG	18,000
		Calvörde, Leuna	Bitterf.-Wolfen	alle KA	Calvörde	ZABA BSL	Immekath	6 KA	Bitterf.-Wolfen

KA	Jahr	Iopromid		Clarithromycin		Roxithromycin	
		MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
Zulauf	2004						
Ablauf	2004						
Ablauf	2005	BG	4,700	BG	0,540	BG	0,580
		alle außer ZABA	Salzwedel	5 KA	Stendal	6 KA	Bitterf.-Wolfen

Die Wirkstoffkonzentrationen im Ablauf der untersuchten Kläranlagen lagen entweder im Bereich der Bestimmungsgrenze (2004: Phenazon, Clofibrinsäure, Acetylsalicylsäure, Bezafibrat; 2005: Acetylsalicylsäure, Ibuprofen), unterschritten die Bestimmungsgrenze selten (2004: Ibuprofen, Carbamazepin; 2005: Clofibrinsäure, Phenazon, Iopamidol, Iopromid, Clarithromycin, Roxithromycin) oder lagen konstant deutlich darüber (2004: Diclofenac, Iopamidol; 2005: Bezafibrat, Diclofenac, Carbamazepin).

Der folgenden Abbildung 5 sind die Jahresmittelwerte für die gemessenen Arzneistoffkonzentrationen sowie die sich hieraus ergebenden Stoffsummen in  $\mu\text{g/l}$  für die 2004 und 2005 untersuchten Kläranlagenabläufe zu entnehmen. Die Kläranlagen sind nach den Untersuchungsjahren 2005 und 2004 sowie der Höhe der zur Zeit der Probenahme angeschlossenen Einwohner jeweils absteigend sortiert.

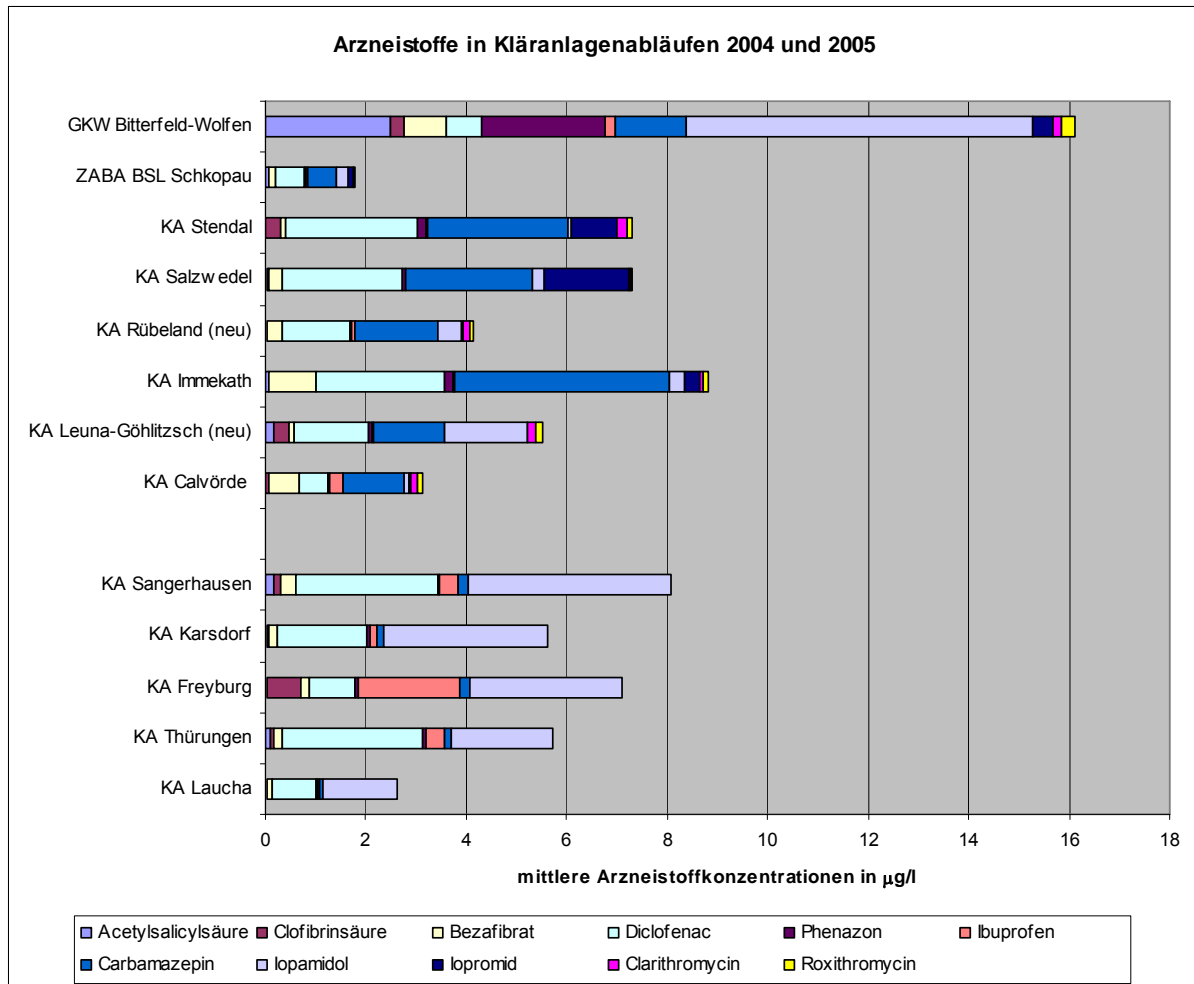


Abb. 5: Mittlere Arzneistoffkonzentrationen der im Jahr 2004 analysierten 8 und im Jahr 2005 analysierten 11 Arzneistoffe in  $\mu\text{g/l}$  - dargestellt als Summen der analysierten Arzneistoffe in den Kläranlagenabläufen

Besonders auffällig sind die sehr hohen Werte für das GWK Bitterfeld-Wolfen, welches zwar mit seinen 77.818 angeschlossenen Einwohnern auch die größte Abwassermenge reinigt aber dennoch insbesondere für Acetylsalicylsäure, Phenazon und Iopamidol absolute Spitzenwerte aufweist. Da im Jahr 2005 nur jeweils 4 Messwerte pro Arzneistoff vorlagen, ist eine Einordnung und Bewertung dieser Spitzenwerte nicht möglich. Ebenfalls bemerkenswert sind die hohen Arzneistoffsummen der 2004 untersuchten Kläranlagenabläufe, die sich für die 8 analysierten Arzneistoffe bereits im Bereich der Arzneistoffsummen der

2005 auf 11 Arzneistoffe untersuchten Kläranlagen befinden. Insbesondere die Werte für Iopamidol sind sehr hoch.

Bei den Kläranlagenabläufen dominiert in der Regel (außer KA Freyburg und GWK Bitterfeld-Wolfen) das in den meisten Kläranlagen schlecht zurückgehaltene Diclofenac (Abb. 6).

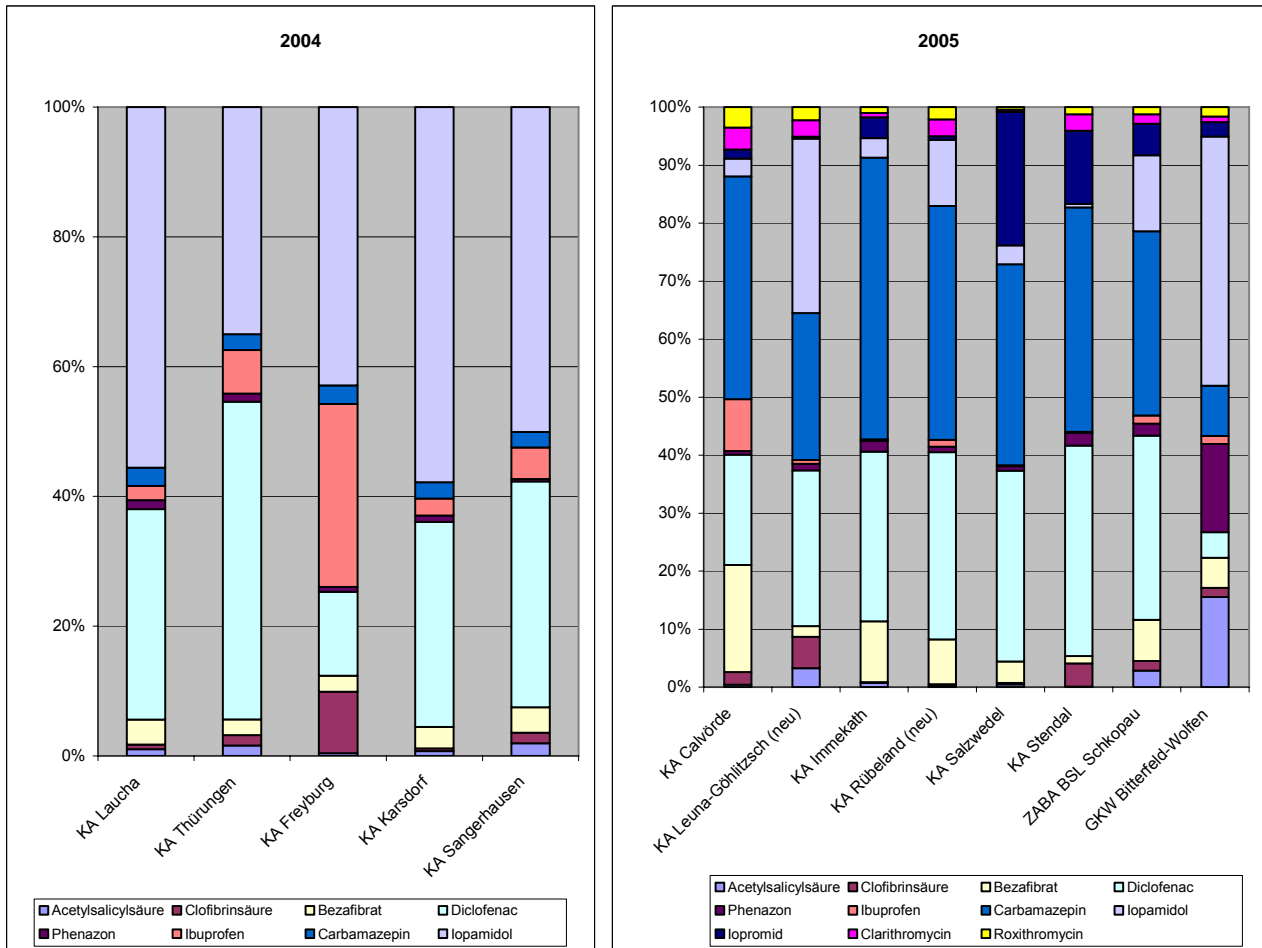


Abb. 6 : Prozentuale Anteile einzelner Arzneistoffe bezogen auf die Gesamtmenge der untersuchten Arzneistoffe (2004: 8; 2005: 11) im Ablauf kommunaler Kläranlagen

Erwartungsgemäß werden die Röntgenkontrastmittel Iopamidol und Iopromid nur schlecht in den Kläranlagen zurückgehalten. Des Weiteren sind im Jahr 2004 die Anteile von Ibuprofen bei der KA Freyburg relevant. Im Jahr 2005 dominiert, neben den hohen Anteilen von Diclofenac und Carbamazepin, insbesondere bei den Kläranlagen Leuna-Göhlitzsch, Salzwedel und Bitterfeld-Wolfen ein hoher Anteil der Röntgenkontrastmittel Iopamidol bzw. Iopromid.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass das Abwasser der 13 kommunalen Kläranlagen mit den untersuchten Arzneistoffen belastet ist. Die folgende Tabelle enthält die

Wertebereiche zu den gemessenen minimalen (MIN) und maximalen (MAX) Einzelmesswerten pro Arzneistoff (siehe Anlage 3).

Tab. 10: Untersuchungsprogramm Arzneistoffe – Kläranlagenabläufe 2004 und 2005, Wertebereich Minimum (MIN) – Maximum (MAX) im Vergleich zu Literaturwerten

Arzneistoff	2004		2005		insgesamt		Literatur	
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MAX	Quelle
Acetylsalicylsäure	<0,025	0,530	<0,005	0,460 (10,0)	<0,005	0,530	0,920	TERNES (2000)
Clofibrinsäure	<0,025	1,700	<0,001	0,490	<0,001	1,700	4,550	HEBERER et al. (1997)
Bezafibrat	<0,025	0,890	0,029	2,100	<0,025	2,100	4,800	BLAC (2003), ENGELMANN et al. (2005)
Diclofenac	0,034	4,600	0,033	4,100	0,033	4,600	10,000	BLAC (2003)
Phenazon	<0,050	0,260	<0,001	1,500 (8,2)	<0,001	1,500	0,900	BLAC (2003)
Ibuprofen	<0,025	9,600	<0,025	0,780	<0,025	9,600	3,700	BLAC (2003)
Carbamazepin	<0,050	0,550	0,150	5,200	<0,050	5,200	46,000	SACHER et al. (1998)
Iopamidol	1,000	4,200	<0,005	6,100 (18,0)	<0,005	6,100	15,000	TERNES (2000)
Iopromid			<0,005	4,700	<0,005	4,700	11,000	POSEIDON (2004)
Clarithromycin			<0,005	0,540	<0,005	0,540	1,800	BLAC (2003)
Roxithromycin			<0,005	0,580	<0,005	0,580	1,700	BLAC (2003)

Ein direkter Vergleich der gewonnenen Untersuchungsergebnisse mit Literaturdaten verschiedener Autoren ist schwierig. Es gibt für die Gruppe der Arzneistoffe z. Z. keine genormten Analysenverfahren. Die jeweils vorhandene Kläranlagentechnik hat ebenso einen Einfluss auf den Wirkstoffrückhalt in der Kläranlage wie die unterschiedlichen Zulaufkonzentrationen aus den Einzugsgebieten (Trinkwasserverbrauch, Regenwassernutzung, Altersstruktur, medizinische Einrichtungen usw.) der betreffenden Kläranlagen [MUNLV (2004), HEGEMANN et al. (2002), SCHARF et al. (2002)]. Die im Rahmen der Analysen zum Sondermessprogramm in den Jahren 2004-2005 ermittelten Arzneistoffkonzentrationen liegen in etwa im Bereich der zur Verfügung stehenden Literaturquellen (siehe auch Anlage 7). Lediglich für Phenazon und Ibuprofen wurden deutlich höhere Maximalwerte gemessen. Die im Ablauf des GWK Bitterfeld-Wolfen ermittelten Maximalwerte für Acetylsalicylsäure, Iopamidol und Phenazon werden bis zur Vorlage weiterer Messwerte vorerst als „Ausreißer“ gewertet.

Bei den Betrachtungen zum Arzneistoffrückhalt in den im Jahr 2004 untersuchten 5 Kläranlagen ist zu beachten, dass es sich bei den analysierten Abwasserproben aus den Zu- und Abläufen der kommunalen Kläranlagen um nicht korrespondierende Stichproben handelt

und keine Analysen zu den Abbauprodukten durchgeführt wurden, so dass die einzelnen Messergebnisse nur bedingt zur Einschätzung einer Eliminationsleistung herangezogen werden können. Auch unter den o.g. Einschränkungen lassen sich aus den vorliegenden Untersuchungsergebnissen grundlegende Aussagen zum Arzneistoffrückhalt in den Kläranlagen gewinnen.

Während Ibuprofen, Phenazon und Acetylsalicylsäure 2004 im Durchschnitt nahezu vollständig (>92 %) und die Arzneistoffe Clofibrinsäure, Carbamazepin und Bezafibrat zu einem hohen Anteil (72 bis 83 %) durch die Kläranlagen aus dem kommunalen Abwasser eliminiert wurden, passierte der Arzneistoff Diclofenac zu einem vergleichsweise hohen Anteil die Kläranlagen (rd. 56 % Rückhalt). Nahezu kein Rückhalt in den Kläranlagen ist für Iopamidol zu verzeichnen (rd. 9 %). Insgesamt liegt der durchschnittliche Wirkstoffrückhalt in den Kläranlagen für die 2004 untersuchten Arzneistoffe (insges. 7 ohne Iopamidol) bei rd. 80 %. Dieser durchschnittliche Rückhaltwert ist mit dem der Untersuchungen der Jahre 2002/2003 vergleichbar [siehe LAU (2006)].

Sowohl in der Literatur als auch bei den im Zeitraum 2002 bis 2003 untersuchten Kläranlagen Sachsens-Anhalts bestätigten sich zum Teil erhebliche Unterschiede beim Wirkstoffrückhalt in den einzelnen Kläranlagen. Generell zeichnen sich aber die untersuchten sachsen-anhaltinischen modernen kommunalen Kläranlagen durch sehr gute Rückhaltwerte für die analysierten Arzneistoffe aus.

Die jeweiligen Eigenschaften der analysierten Arzneistoffe wirken sich auf das Verhalten während der Klärwerkspassage aus. So unterscheidet sich deren Eliminierungsgrad in den jeweiligen Reinigungsstufen [siehe KUNST et al. (2002), UBA (2005), HEGEMANN et al. (2002), MERSMANN (2003)]. Da nur die Proben von den Zu- und Abläufen der Kläranlagen im Jahr 2004 auf das Vorkommen der 7 bzw. 8 Arzneistoffe untersucht wurden, sind keine Aussagen zum Verbleib der eliminierten Arzneistoffmengen (Klärschlamm: Feststoffphase, Wasserphase) und zu deren Abbauprodukten (aerober oder anaerober Abbau) möglich. Es ist aber davon auszugehen, dass ein großer Teil bestimmter Arzneistoffe und Abbauprodukte (Metabolite) am Klärschlamm adsorbiert wird bzw. sich noch in der Wasserphase der Klärschlammfraktion (Restwassergehalt je nach Klärschlammbehandlung in der Regel bei 60-80 %) befindet bzw. als Metabolit nicht analytisch erfasst wurde.

Nicht unerheblich wäre der Kenntnisgewinn über an Klärschlamm adsorbierte Arzneistoffe, bezüglich eines Risikopotenzials bei der stofflichen Verwertung des Klärschlammes. Derzeit bestehen jedoch für alle Arzneistoffe noch erhebliche Probleme bezüglich der Analytik in festen Matrices, wie Boden und Klärschlamm, aber auch in wässrigen Systemen mit vielen Störkomponenten, wie Gülle [BLAC (2003)]. Dennoch wurde der Klärschlamm als Endprodukt eines abwassertechnischen Behandlungsvorganges in die Sonderuntersuchun-

gen 2005 einbezogen. Hier zeigten sich jedoch bei der Analytik (Klärschlammstabilisierungsart, Probenvorbereitung) Grenzen. So konnten im Jahr 2005 nur vereinzelt geeignete Klärschlämme durch das Labor des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt untersucht werden. In den analysierten Klärschlammstichproben ausgewählter Kläranlagen wurden insbesondere Carbamazepin, Dicofenac und Ibuprofen mit Konzentrationen von 14,4 µg/kg TS bis 47,5 µg/kg TS (Maximalwert Carbamazepin) nachgewiesen. Es ist vorgesehen diese Untersuchungen weiter fortzusetzen.

### 3.3 Frachten Fließgewässer und Kläranlagen

Bei der Auswertung der Frachten pro Arzneistoff und Fließgewässermessstelle zeigt sich, analog zu den Einzelmessergebnissen (siehe Anlage 2), eine große Spannweite. In der Tabelle 12 sind die Arzneistofffrachten für die Fließgewässermessstellen dargestellt. Diese wurden als arithmetisches Mittel der für jeden einzelnen Probenahmetag berechneten Frachten (in g/d) errechnet (siehe Anlage 8).

Tab. 11: Arzneistofffrachten in g/d in Fließgewässern 2004 und 2005

Probenahmestelle	Acet	Clofi	Beza	Diclo	Phen	Ibup	Carb	Iopam	Iopro	Clari	Roxi
Gonna, oh. KA Sangerhausen	0,630	0,428	2,274	2,621	0,384	8,115	0,510	4,551			
Gonna, uh. KA Sangerhausen	1,106	0,892	3,640	11,712	0,697	8,538	2,786	5,332			
Helme, oh. KA Thürungen	3,051	2,778	8,301	18,401	3,915	11,643	8,383	15,912			
Helme, uh. KA Thürungen	2,891	4,708	13,518	54,151	6,028	11,795	6,340	14,203			
Unstrut, oh. KA Karsdorf	22,778	26,936	23,827	257,360	21,146	34,475	44,733	143,467			
Unstrut, uh. KA Karsdorf	20,121	39,127	15,250	197,429	21,176	53,131	40,069	164,107			
Unstrut, oh. KA Laucha	22,150	35,732	97,299	118,778	27,427	80,849	35,579	85,450			
Unstrut, uh. KA Laucha	19,310	25,828	37,478	99,739	24,593	45,171	48,742	86,792			
Unstrut, oh. KA Freyburg	20,206	29,832	44,879	101,470	27,036	59,319	36,518	223,949			
Unstrut, uh. KA Freyburg	13,436	29,103	48,958	89,775	27,477	47,150	65,913	192,171			
Elbe, Magdeburg, li.	625,130	521,398	215,179	752,604	775,829	559,907	848,621	2937,600			
Mulde, Dessau	95,816	69,797	62,477	188,596	59,238	58,425	219,358	815,918			
Saale, Groß Rosenburg	112,990	92,114	130,412	216,242	175,997	120,815	259,498	710,856			
Ziethen, uh. KA Köthen	0,382	0,845	0,481	4,524	0,148	0,213	1,060	2,338			
Ziethen, Kleinpaschleben	0,452	1,145	0,567	4,765	0,308	0,445	1,561	2,640			
Ziethen, Plömnitz	0,543	1,614	0,263	4,491	0,255	0,909	1,862	3,556			
Fuhne, Baalberge	1,184	1,555	0,172	6,483	0,862	1,140	1,608	2,391			
Jeetze, oh. KA Immekath	0,022	0,004	0,014	0,020	0,004	0,108	0,028	0,022	0,039	0,019	0,019
Jeetze, uh. KA Immekath	0,025	0,005	0,551	1,385	0,053	0,127	2,789	0,169	0,076	0,023	0,023
Jeetze, oh. KA Salzwedel	0,569	0,316	4,188	6,906	0,114	2,846	12,916	0,982	8,810	0,474	0,474
Jeetze, uh. KA Salzwedel	0,579	0,681	5,632	13,714	0,306	2,895	25,699	1,713	13,170	0,484	0,484
Kuhgraben, oh. KA Stendal											
Kuhgraben, uh. KA Stendal											
Ohre, oh. KA Calvörde	0,573	0,386	2,902	4,167	0,310	2,863	7,288	0,573	0,702	0,401	0,401
Ohre, uh. KA Calvörde	0,575	0,387	4,830	26,342	0,170	2,877	6,656	0,575	0,575	0,404	0,404
Ohre, Sattueller	0,613	0,333	2,983	7,141	0,193	3,065	6,450	0,613	0,262	0,262	0,262
Bode, oh. KA Rübeland (neu)	0,137	0,027	0,027	0,137	0,027	0,683	0,027	0,137	0,137	0,138	0,138
Bode, uh. KA Rübeland (neu)	0,156	0,031	1,090	5,606	0,134	0,782	9,880	2,547	0,330	1,616	0,661
Saale, oh. KA Leuna-Göhlitzsch (neu)	336,199	26,266	236,470	365,390	40,694	290,678	730,864	562,626	1334,534	23,135	15,434
Saale, uh. KA Leuna-Göhlitzsch (neu)	216,638	26,315	192,526	522,515	28,204	429,392	674,035	401,732	1284,324	23,368	15,589
Saale, Meuschau	36,757	5,147	100,835	227,586	16,972	50,814	472,340	546,346	861,019	21,617	14,756
Saale, oh. ZABA BSL Schkopau	38,848	9,130	143,461	383,361	24,576	167,979	870,134	405,842	1392,077	20,814	18,084
Saale, uh. ZABA BSL Schkopau	59,639	12,556	170,129	319,897	23,753	118,594	841,941	481,848	1791,274	34,549	20,076
Mulde, oh. GW Bitterfeld-Wolfen	13,334	25,281	172,125	162,448	22,858	66,672	920,746	675,907	958,010	42,021	30,727
Mulde, uh. GW Bitterfeld-Wolfen	275,595	35,471	318,172	223,556	75,733	66,941	1433,492	758,556	879,212	40,094	22,393

Die großen Flüsse wie die Elbe, die Mulde und die Saale stehen erwartungsgemäß bei den ermittelten Frachten an der Spitze. Die niedrigsten Frachten wurden für die Fließgewässermessstellen oberhalb der Kläranlagen Immekath (Jeetze) und Rübeland (Bode) ermittelt.

Für die meisten der untersuchten Messstellen unterhalb der Kläranlageneinleitungen liegen die ermittelten Frachten deutlich über denen der Messstellen, die sich oberhalb der Kläranlageneinleitungen befinden (z.B. Mulde, Ohre).

Sehr gut ist bei den Messstellen der Ziethe die Zunahme der Arzneistofffracht von Messstelle zu Messstelle im Fließgewässerverlauf bis hin zur Messstelle Fuhne/Baalberge zu erkennen. Ein Frachtzuwachs ist ebenfalls für die Jeetze von Immekath bis unterhalb Salzwedel zu verzeichnen.

In einigen Fällen liegen die mittleren Frachten der Messstellen oberhalb der Kläranlageneinleitung höher als die der Messstellen unterhalb der Kläranlageneinleitung (Unstrut, Saale). Dies ist vermutlich auf die niedrige Anzahl der erhobenen Messwerte, unterschiedliche Probenahmeterminen und damit ggf. unterschiedliche hydrologische Bedingungen sowie auf eine möglicherweise nicht vollständige Durchmischung von Abwasser und Flusswasser zurückzuführen (siehe auch Pkt. 2.4).

Nachdem unterhalb der Kläranlageneinleitung Calvörde die ermittelte Fracht stark für Diclofenac und Bezafibrat in der Ohre angestiegen ist, war sie weiter unterhalb im Flusslauf an der Messstelle Satuelle wieder deutlich geringer. Diese Schwankungen dürften vorrangig auf die niedrige Anzahl der erhobenen Messwerte und die nicht korrespondierende Probenahme an den Messstellen zurückzuführen sein (siehe auch Pkt. 2.4).

Für den Kuhgraben lagen keine Durchflussdaten vor, so dass keine Frachten ermittelt werden konnten.

Analog zu den Fließgewässern wurden die Arzneistofffrachten für die Kläranlagenabläufe aus den für jede einzelne Probenahme berechneten Frachten (in g/d) und den sich daraus ergebenden Mittelwerten errechnet (siehe Tab. 12, Anlage 9).

Bei den Frachten liegen die Kläranlagen mit der höchsten im Probenahmejahr angeschlossenen Einwohnerzahl auch an der Spitze der ausgetragenen Arzneistofffrachten für die analysierten Arzneistoffe. So erreichte die KA Sangerhausen im Jahr 2004 bezüglich der ermittelten Frachten die höchsten Werte. Aufgrund der gemessenen z.T. sehr hohen Einzelkonzentrationen liegt das GWK Bitterfeld-Wolfen 2005 bezüglich der ermittelten

Frachten weit vor der ZABA BSL Schkopau und der KA Stendal. Die niedrigsten Frachten erreicht die Kläranlage Laucha.

Besonders auffällig sind die großen Wertebereiche der Frachten für die Arzneistoffe Diclofenac, Carbamazepin sowie die Röntgenkontrastmittel Iopromid und Iopamidol im Ablauf der Kläranlagen (ohne Berücksichtigung des GWK Bitterfeld-Wolfen).

Tab. 12: Arzneistofffrachten in g/d in Kläranlagenabläufen 2004 und 2005

Kläranlage	Einwohner *	Acet	Clofi	Beza	Diclo	Phen	Ibup	Carb	Iopam	Iopro	Clari	Roxi
KA Sangerhausen	29.477	0,765	0,685	1,832	14,570	0,196	2,284	1,029	7,969			
KA Karsdorf	8.200	0,097	0,051	0,504	4,372	0,134	0,376	0,364	3,173			
KA Freyburg	7.098	0,025	0,532	0,158	0,724	0,039	1,034	0,141	0,988			
KA Thüringen	6.813	0,057	0,050	0,077	1,961	0,079	0,267	0,122	0,671			
KA Laucha	3.550	0,026	0,019	0,105	0,808	0,033	0,058	0,071	0,598			
GKW Bitterfeld-Wolfen	77.818	53,458	5,285	18,377	14,158	44,867	4,628	27,768	154,273	8,045	3,487	6,410
ZABA BSL Schkopau	48.915	1,238	0,721	3,100	13,997	0,917	0,627	13,885	5,718	2,349	0,538	0,406
KA Stendal	40.000	0,034	1,624	0,559	14,495	0,952	0,070	15,523	0,253	5,449	0,816	0,357
KA Salzwedel	32.850	0,133	0,081	1,056	9,382	0,221	0,050	9,933	0,976	6,874	0,061	0,064
KA Rübeland (neu)	18.959	0,192	0,086	3,435	10,543	0,342	0,483	11,101	2,403	0,145	0,613	0,431
KA Immekath	12.944	0,102	0,008	1,447	3,932	0,252	0,037	6,484	0,472	0,504	0,050	0,075
KA Leuna-Göhlitzsch	6.963	0,230	0,394	0,136	1,962	0,089	0,049	1,794	2,418	0,025	0,144	0,114
KA Calvörde	3.143	0,015	0,081	0,671	0,652	0,021	0,326	1,375	0,103	0,053	0,099	0,093

\* Anzahl der im Beprobungsjahr an die KA angeschlossenen Einwohner.

Generell muss aber beachtet werden, dass es sich bei den errechneten Frachten nur um Richtwerte handeln kann, da pro Arzneistoff maximal nur 4-5 Messwerte und die jeweilige durchschnittliche Tages- bzw. Monatsabwassermenge für die Berechnung zur Verfügung standen und bei der Frachtberechnung selbst noch andere Fehlerquellen vorhanden sind (vgl. Pkt. 2.4).

### 3.4 Grundwasser

Für die im Zeitraum 2004 und 2005 im Untersuchungsprogramm befindlichen 9 Grundwassermessstellen liegt aufgrund der geringen Zahl der Probenahmen (2 X/a) auch nur eine geringe Anzahl von Messwerten pro Probenahmestelle vor. Weiterhin wurden 5 Grundwassermessstellen im Stadtgebiet von Halle einmalig beprobt (siehe Anlage 6).

Bei den Untersuchungen lagen 88 % der ermittelten Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenzen. Am häufigsten wurden die Wirkstoffe Diclofenac (5 Messstellen), Carbamazepin (4 Messstellen), Iopamidol (3 Messstellen) und Acetylsalicylsäure (3 Messstellen im Stadtgebiet Halle) nachgewiesen. In keiner der Proben fanden sich die Arzneistoffe Iopromid, Clarithromycin und Roxithromycin. Der höchste gemessene Einzelwert trat bei Iopamidol mit 0,03 µg/l an der Messstelle Auligk auf.

Die folgende Tabelle zeigt die ermittelten minimalen und maximalen Arzneistoffkonzentrationen für alle 2004 und 2005 untersuchten Grundwassermessstellen im Vergleich mit Maximalwerten aus der Literatur.

Tab. 13: Sonderuntersuchungsprogramm Arzneistoffe 2004 und 2005 – Grundwasser, Wertebereich Minimum (MIN) – Maximum (MAX) im Vergleich zu Literaturwerten

Grundwasser		Acet	Clofi	Beza	Diclo	Phen	Ibup	Carb	Iopam	Iopro	Clari	Roxi
LSA 2004 und 2005	MIN	<0,005	<0,001	<0,001	<0,005	<0,001	<0,025	<0,001	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
	MAX	0,027	0,005	0,002	0,021	0,018	0,016	0,009	0,030	<0,005	<0,005	<0,005
Literatur Quelle	MAX		7,300 HEBERER (1997 b)	0,990 BRAUCH (2002)	0,720 BRAUCH (2002)	1,250 HEBERER (1997 b)	0,200 HEBERER (1998)	0,900 BRAUCH (2002)	0,300 BRAUCH (2002)	0,240 BRAUCH (2002)	0,043 BRAUCH (2002)	0,070 BRAUCH (2002)

Es wurden 2004 und 2005 keine Arzneistoffkonzentrationen ermittelt, die die Literaturwerte überschritten. Damit bewegen sich die ermittelten Arzneistoffkonzentrationen deutlich unterhalb der aus der Literatur bekannten maximalen Messwerte (siehe Anlage 7). Insbesondere für die sonst auch im Grundwasser (Uferfiltrat) nachgewiesenen Arzneistoffe Clofibrinsäure und Carbamazepin wurden vergleichsweise niedrige Konzentrationen ermittelt.

Generell ist zu bemerken, dass Nachweise von Arzneistoffen im Grundwasser erwartungsgemäß weitaus seltener auftreten als vergleichsweise im Oberflächenwasser oder an Kläranlagen. Die deutlich höheren Messwerte aus Literaturquellen lassen sich dadurch erklären, dass die vorhandenen Daten mehrheitlich aus Untersuchungen von exponierten Grundwässern (z.B. Rieselfeld, Kläranlage, Abwassersammler) stammen [BLAC (2003), HEBERER et al. (1997 b)]. Die Mehrzahl der ermittelten maximalen Messwerte stammt von Untersuchungen abwasserbeeinflusster Grundwässer in Baden-Württemberg [BRAUCH et al. (2002)].

Bezogen auf die untersuchten Grundwassermessstellen sind keine Nachweise von Arzneistoffen an den Messstellen Tornitz (Nähe Saale/Groß Rosenberg), Quedlinburg, Stadtgebiet Halle/Silberhöhe, Kasseler Straße und Stadtgebiet Halle/Pestalozzistraße, Park zu verzeichnen.

An der Messstelle Auligk wurde mit 6 positiven Nachweisen bei 4 unterschiedlichen Wirkstoffen (insgesamt 22 Messwerte, davon 16 Messwerte < BG) die höchste Belastung verzeichnet. Als Ursache hierfür wird der Einfluss des Grundwassers durch Uferfiltration der Weißen Elster vermutet.

Die im April 2005 erfolgten Untersuchungen im Stadtgebiet von Halle an 5 Grundwassermessstellen ergaben positive Nachweise bei den Wirkstoffen Acetylsalicylsäure,

Carbamazepin sowie Bezafibrat und Diclofenac. Die gemessenen Konzentrationen bewegten sich mit Ausnahme der Werte für Acetylsalicylsäure im Wertebereich wenig oberhalb der Bestimmungsgrenzen. Bei Untersuchungen durch das UFZ Leipzig-Halle im Stadtgebiet von Halle an 12 Grundwassermessstellen konnten gleichfalls Arzneistoffe im Grundwasser ermittelt werden. Ein urbaner Einfluss war jedoch auf der Grundlage der ermittelten Stoffkonzentrationen nicht eindeutig nachweisbar [REINSTORF et al. (2006)].

Insgesamt betrachtet, fügen sich die Messwerte der Grundwasseruntersuchungen der Jahre 2004 und 2005 in die bereits in den Vorjahren ermittelten Ergebnisse ein [siehe LAU/LHW (2004)]. Für einzelne Messstellen wurden Arzneistoffkonzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenzen ermittelt (siehe Tab. 14). Überwiegend lagen die Messwerte jedoch unterhalb der Bestimmungsgrenzen. Für zwei Messstellen (Auligk, Göbitz) wurden mit der zweiten Messung die positiven Nachweise der ersten Messung des Jahres bestätigt.

Tab. 14: Positive Nachweise von Arzneistoffen im Grundwasser 2004 und 2005

Probenahmestelle	Anzahl pos.Nachweise	Arzneistoff	Konzentration
Gübs	3	Clofibrinsäure	0,005
		Diclofenac	0,012
		Iopamidol	0,020
Eickendorf	2	Diclofenac	0,014
		Iopamidol	0,015
Klein Chüden	1	Diclofenac	0,012
Pitzpuhl	2	Diclofenac	0,021
		Ibuprofen	0,016
Auligk	6	Clofibrinsäure	2 X 0,004
		Phenazon	0,017; 0,018
		Carbamazepin	0,007
		Iopamidol	0,030
Zangerberg	1	Carbamazepin	0,009
Göbitz	2	Phenazon	0,006; 0,016
<b>Stadtgebiet Halle</b>			
Halle-Lettin	2	Acetylsalicylsäure	0,018
		Carbamazepin	0,002
Geschichtsmuseum	3	Acetylsalicylsäure	0,027
		Diclofenac	0,003
		Carbamazepin	0,001
Halle-Süd	2	Acetylsalicylsäure	0,015
		Bezafibrat	0,002

Insgesamt sind die Belastungen des Grundwassers mit Arzneistoffen wesentlich geringer als in den Fließgewässern. Eine Beeinflussung des Grundwassers durch urbane Faktoren sowie durch Flusswasser unter influenten Grundwasserverhältnissen (Uferfiltration) ist nicht auszuschließen. Die vorhandene Datenlage ist jedoch zu gering, um Wechselwirkungen

zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser nachzuweisen bzw. Rückschlüsse auf mögliche Ursachen ziehen zu können.

#### 4. Zusammenfassung

Die Sonderuntersuchungen zu Arzneistoffen an Fließgewässern und im Grundwasser sowie Kläranlagenabläufen wurden in den Jahren 2004 und 2005 fortgeführt. Im Jahr 2005 erfolgte eine Erweiterung des Untersuchungsspektrums von 8 auf 11 Arzneistoffe.

Die neuen Untersuchungsergebnisse unterstreichen und ergänzen die Messergebnisse aus den Jahren 2002 und 2003.

Hinsichtlich der ermittelten durchschnittlichen Arzneistoffkonzentrationen wurde für die Fließgewässermessstellen unterhalb von Kläranlageneinleitungen bei der Mehrzahl der untersuchten Fließgewässer ein deutlicher Einfluss durch die von den Kläranlagen ins Gewässer eingeleiteten Arzneistoffe nachgewiesen.

Für einzelne Gewässerabschnitte der Unstrut (Einleitungen der KA Karsdorf und Freyburg) und der Saale (Einleitungen der KA Leuna-Göhlitzsch) konnten unterhalb der Kläranlagen überwiegend keine Erhöhungen der Konzentrationen der analysierten Arzneistoffe festgestellt werden. Mögliche Ursache hierfür kann die relativ große Verdünnung der Abwassereinleitungen in Verbindung mit der (evtl. unzureichenden) Repräsentativität der Probenahme hinsichtlich der Quereinmischung im Fließgewässer sein.

Erwartungsgemäß zeigten sich bei kleineren Fließgewässern mit einem hohen Abwasseranteil (Kuhgraben, Ziethe, Jeetze, Bode, Gonna) die höchsten Anstiege der Werte für die untersuchten Arzneistoffe an den Fließgewässermessstellen unterhalb der KA-Abläufe.

Ein Vergleich der ermittelten Arzneistoffkonzentrationen (Jahresmittel) mit UQN-Vorschlägen der LAWA für flussgebietsspezifische Schadstoffe zeigt für die kleineren Fließgewässer Helme, Gonna, Ziethe, Jeetze/Immekath und Kuhgraben Überschreitungen an. Insbesondere wurde der UQN-Vorschlag von 0,1 µg/l für Diclofenac bis zum Faktor 4 (0,420 µg/l an der Messstelle Kuhgraben, unterhalb der KA Stendal) überschritten.

Bei den ermittelten Arzneistoff-Frachten stehen erwartungsgemäß die großen Flüsse Elbe, Mulde und Saale an der Spitze. Die niedrigsten Frachten wurden für die Fließgewässermessstellen oberhalb der Kläranlagen Immekath (Jeetze) und Rübeland (Bode) ermittelt.

Ein Schwerpunkt lag 2005 auf Fließgewässern, die in Verbindung mit der Trinkwassergewinnung eine Rolle spielen. Der im Ohreabschnitt unterhalb der Kläranlageneinleitung Calvörde festgestellte Konzentrationsanstieg für die Arzneistoffe Diclofenac und Bezafibrat war bis zur Messstelle Satuelle wieder rückläufig. Bezogen auf alle untersuchten Arzneistoffe betrug der Anteil der Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze 70 %. Die Konzentrationen für Bezafibrat lagen wieder im Bereich der oberhalb der KA Calvörde gemessenen Konzentrationen. Bei Diclofenac war der Jahresmittelwert der Messstelle Satuelle noch etwa doppelt so hoch wie der des Ohreabschnittes oberhalb der Kläranlageneinleitung.

Für die Saale wurden aufgrund der bereits vorhandenen Abwasserbelastung in den Saaleabschnitten oberhalb und unterhalb der KA Leuna-Göhlitzsch hohe Arzneistoffkonzentrationen ermittelt. Alle 11 Arzneistoffe wurden hier mit Konzentrationen nachgewiesen, die selten (Ibuprofen) bis immer (z. B. Carbamazepin, Iopamidol, Iopromid) oberhalb der Bestimmungsgrenze lagen.

Der Vergleich der gemessenen maximalen Arzneistoffkonzentrationen mit den in anderen Fließgewässern der Bundesrepublik Deutschland gemessenen Maximalkonzentrationen zeigt, dass die 2004 und 2005 ermittelten Werte für Fließgewässer im Land Sachsen-Anhalt sich überwiegend im unteren Bereich der aus der Literatur zu entnehmenden Werte bewegen. Eine jahreszeitlich bedingte Abhängigkeit der gemessenen Arzneistoffkonzentrationen konnte nicht festgestellt werden.

Im Berichtszeitraum 2004/2005 wurde das Abwasser von insgesamt 13 Kläranlagen auf seine Belastung mit 8 (2004) bzw. 11 (2005) Arzneistoffen untersucht.

Die ermittelten Arzneistoffkonzentrationen im Ablauf der untersuchten Kläranlagen lagen entweder im Bereich der Bestimmungsgrenze (z.B. Acetylsalicylsäure), unterschritten die Bestimmungsgrenze selten oder lagen konstant deutlich darüber (z.B. Diclofenac). Spitzenwerte in den Kläranlagenabläufen wurden für Diclofenac mit 4,600 µg/l (KA Sangerhausen), Ibuprofen mit 9,600 µg/l (KA Freyburg) sowie für Acetylsalicylsäure mit 10,0 µg/l, Phenazon mit 8,2 µg/l und Iopamidol mit 18,0 µg/l (alle GWK Bitterfeld-Wolfen) gemessen.

Die Leistungen der einzelnen Kläranlagen bezüglich des Rückhaltes der untersuchten Wirkstoffe variierten von Wirkstoff zu Wirkstoff. Insgesamt konnten für die 2004 untersuchten 5 Kläranlagen gute Rückhaltwerte ermittelt werden, die mit denen der im Zeitraum 2002/2003 untersuchten Kläranlagen vergleichbar sind. Die Analyse der Zulauf- und Ablaufkonzentrationen im Jahr 2004 ergab für Ibuprofen, Acetylsalicylsäure, Phenazon den besten (> 90%) und für Diclofenac (rd. 56 %) und Iopamidol (rd. 10%) den geringsten Rückhalt in den Kläranlagen.

Die bei den Grundwasseruntersuchungen der Jahre 2004 und 2005 ermittelten Messwerte für die 8 bzw. 11 Arzneistoffe liegen im Bereich der bereits in den Vorjahren für andere Grundwassermessstellen in Sachsen-Anhalt ermittelten Ergebnisse [siehe LAU/LHW (2004)].

Bei 4 Messstellen fanden sich keine Arzneistoffe im Grundwasser. Bei den anderen 10 Messstellen wurden vereinzelt niedrige Arzneistoffkonzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenzen gemessen. Das Maximum wurde im Jahr 2005 bei Iopamidol mit 0,030 µg/l an der Messstelle Auligk gemessen. Mit insgesamt 6 positiven Nachweisen bei 4 von 11 untersuchten Wirkstoffen geben die Ergebnisse an der Messstelle Auligk die höchste

Belastung für das Grundwasser wieder. Als Ursache wird hier der Einfluss der Weißen Elster (Uferfiltration) vermutet.

Insgesamt lagen 88 % aller ermittelten Messwerte im Grundwasser unterhalb der Bestimmungsgrenzen.

Die nachgewiesenen Arzneistoffkonzentrationen in den Fließgewässern, den Kläranlagenzu- und -abläufen und im Grundwasser sind mit Analysendaten anderer Autoren zu repräsentativen und exponierten Grundwassermessstellen in der Bundesrepublik Deutschland vergleichbar bzw. unterschreiten diese z. T. deutlich.

Grundsätzlich sind die Belastungen des Grundwassers mit Arzneistoffen wesentlich geringer als in den Fließgewässern. Eine Beeinflussung des Grundwassers durch Flusswasser unter influenten Grundwasserverhältnissen (Uferfiltration) sowie durch urbane Einflüsse (z.B. defekte Abwasserkanäle) ist nicht auszuschließen. Die vorhandene Datenlage ist jedoch zu gering, um etwaige Ursachen nachzuweisen bzw. Wechselwirkungen zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser eindeutig zu belegen.

Die Kläranlagenabläufe konnten bei der Mehrzahl der untersuchten Fließgewässer als Eintragsquellen aufgezeigt werden.

Insgesamt sollte die im Zeitraum 2002 bis 2005 nachgewiesene vorhandene Belastung von Fließgewässern, Grundwasser sowie Abläufen von Kläranlagen mit Arzneistoffen zu dem Schluss führen, dass diese Stoffe im Kläranlagenabwasser so weit wie möglich minimiert werden sollten.

## 5. Ausblick

Das Untersuchungsprogramm Arzneistoffe, das auch weiterhin im Rahmen des GÜSA fortgesetzt wird, bildet mit allen anderen Untersuchungen die Grundlage bei der Bewertung des ökologischen Zustandes der Gewässer entsprechend der EU-Wasserrahmenrichtlinie.

Bei den Fließgewässern werden die Schwerpunkte des Jahres 2006 die Fortführung der Untersuchungen im Bereich der KA Stendal sowie Untersuchungen im Einzugsgebiet der Holtemme mit zwei relativ großen Kläranlagen sein.

Ziel ist es, die Kenntnisse über die Belastungssituation der Gewässer an den größten Kläranlagenstandorten des Landes zu erlangen, wobei der Schwerpunkt auf kleineren und mittleren Gewässern liegt, in denen die größten Auswirkungen zu erwarten sind.

Hinsichtlich des Parameterumfangs wird im Jahr 2006 damit begonnen, auch Tierpharmaka an ausgewählten Messstellen zu untersuchen.

Nachdem in den Jahren 2002 – 2005 überwiegend verschiedene Kläranlagenzu- und abläufe untersucht wurden, sollen die Untersuchungen zukünftig punktuell auf ausgewählte Kläranlagen(technologien) intensiviert werden. Ziel soll es sein, durch preiswerte und

einfache Technologien den Klärprozess soweit zu optimieren, dass Arzneistoffe weitestgehend aus dem Abwasser eliminiert werden können und damit die Voraussetzung für die Erreichung eines guten ökologischen Zustandes der Einleitgewässer im Sinne der WRRL gegeben ist.

Neben aufwändigen technischen Lösungen (Aktivkohle, Sandfilter, Ozonierung) können dabei auch naturnahe Verfahren (z.B. Wasserpflanzen in Nachklärteichen) eingesetzt werden. Hier bestehen aber noch immer erhebliche Kenntnisdefizite.

So sollen im Jahr 2007 Kläranlagen untersucht werden, die über einen Nachklärteich verfügen, um die Auswirkung dieser Abwasserbehandlungsstufe auf den Arzneistoffrückhalt in den Kläranlagen zu untersuchen.

Die Untersuchungen im Grundwasser werden analog der letzten Jahre im Rahmen des GÜSA an ausgewählten Messstellen weitergeführt. Weiterhin sollen die noch offenen Wiederholungsmessungen im Stadtgebiet von Halle realisiert werden.

## 6. Literatur

- ABBAS, B. et al. (2001): Erhebung des Verbrauchs von Arzneimittelwirkstoffen im Land Brandenburg. *Z Umweltchem Ökotox* 13 (4), S. 197-203.
- ALEXU, R., K. Kümmerer (2005): Antibiotika in der Umwelt. *KA-Abwasser, Abfall* 2005 (52) Nr. 5, S.563-571.
- ARGE (2003): Arzneistoffe in Elbe und Saale. Bericht der Arbeitsgemeinschaft Elbe.
- BLAC (1998): Auswirkungen der Anwendung von Clofibrinsäure und anderer Arzneimittel auf die Umwelt und Trinkwasserversorgung; Bericht an die 50. UMK.
- BLAC (1999): Arzneimittel in der Umwelt – Konzept für ein Untersuchungsprogramm; Bericht an die 53. UMK.
- BLAC (2003): Arzneimittel in der Umwelt – Auswertung der Untersuchungsergebnisse. Bericht an die 61. Umweltministerkonferenz (UMK) am 19./20. November 2003 in Hamburg.
- BRAUCH, H.-J. et al. (2002): Vorkommen von Pharmaka und Hormonen in Grund-, Oberflächenwässern und Böden in Baden-Württemberg. Teilprojekt des Forschungsvorhabens Pharmaka und Hormone in der aquatischen Umwelt, Abschlussbericht. Karlsruhe.
- ENGELMANN, U. et al. (2005): Arzneimittelwirkstoffe in Abwassereinleitungen und Gewässern in Sachsen. Bericht des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie.
- FRIMMEL, F. H. et al. (2003): Projektbericht zum Forschungsvorhaben "Entwicklung von Umweltqualitätsnormen zum Schutz aquatischer Biota in Oberflächengewässern für flussgebietsspezifische Stoffe". 40-Stoffe-Liste (für Carbamazepin, Clofibrinsäure und Diclofenac). LAWA-Projekt Nr. O 10.03
- FRIMMEL, F. H. et al. (2004): Projektbericht zum Forschungsvorhaben "Entwicklung von Umweltqualitätsnormen zum Schutz aquatischer Biota in Oberflächengewässern für flussgebietsspezifische Stoffe". 40-Stoffe-Liste (für Phenazon und Ibuprofen). LAWA-Projekt Nr. O 10.03 II
- GELLERT, G. (2005): Umweltauswirkungen von Arzneimitteln im Wasserbereich. Staatliches Umweltamt Siegen, Vortrag zur Veranstaltung „Sauberes Wasser für NRW“ am 09.02.2005.
- HEBERER, T. et al. (1997 b): Detection of drugs and drug metabolites in ground water samples of a drinking water treatment plant. *Fresenius Environ. Bull.* 6, S. 438-443.
- HEBERER, T. und H. J. Stan (1997): Determination of clofibric acid and N-(phenylsulfonyl)-sarcosine in sewage, river and drinking water. *Int. J. Environ. Anal. Chem.* 67, S. 113-124.
- HEBERER, T. und H. J. Stan (1998): Arzneimittelrückstände im aquatischen System. *Wasser & Boden* 4, S. 20-24.

- HEGEMANN, W. et al. (2002): Einfluss der Verfahrenstechnik auf die Eliminierung ausgewählter Estrogene und Xenoestrogen in Kläranlagen – ein BMBF-Verbundprojekt (Ergebnisse von Stufenbeprobungen auf kommunalen Kläranlagen). Gas- und Wasserfach, GWF, Wasser-Abwasser 143 Nr. 5, S. 422-428.
- HIRSCH, R. et al. (2000): A sensitive method for the determination of iodine containing diagnostic agents in aqueous matrices using LC-electrospray-tandem-MS detection. Fresenius' Journal of Analytical Chemistry 366, S. 835-841.
- JOSS, A. (2004): Arzneimittel in Wasser und Abwasser Schlussfolgerungen von POSEIDON, Fachtagung „Arzneimittelrückstände und endokrin wirksame Stoffe in Trink- und Abwasser, Mühlheim 30.03.2004.
- KÜMMERER, K. (2001): Arzneimittel, Diagnostika und Desinfektionsmittel in der Umwelt – Beurteilung und Risikomanagement. UMSF – Z Umweltchem Ökotox 13 (5) 269-276.
- KUNST, S. et al. (2002): Endokrin wirksame Substanzen in Kläranlagen Vorkommen, Verbleib und Wirkung -, Arbeitsbericht der ATV-DVWK-AG IG-5.4.
- LAU (2006): Arzneistoffe in Zu- und Abläufen von kommunalen Kläranlagen des Landes Sachsen-Anhalt (Bericht zum Sondermessprogramm 2002-2004). Fachinformation des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Nr. 3/2006.
- LAU/LHW (2004): 1. Bericht zum Sondermessprogramm „Arzneistoffe im Grundwasser, in Fließgewässern und in Zu- und Abläufen von kommunalen Kläranlagen des Landes Sachsen-Anhalt (Zeitraum 2002-2003).
- LAWA (2003): Arbeitshilfe zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser.
- LAWA (2005): Elimination von gefährlichen Stoffen in kommunalen Kläranlagen – Entwurf. Bericht des LAWA Unterausschusses Gefährliche Stoffe.
- LUA Brandenburg (2002): Ökotoxikologische Bewertung von Humanarzneimitteln in aquatischen Ökosystemen. Studien und Tagungsberichte 39, Landesumweltamt Brandenburg.
- MERSMANN, P. (2003): Transport- und Sorptionsverhalten der Arzneimittelwirkstoffe Carbamazepin, Clofibrinsäure, Diclofenac, Ibuprofen und Propyphenazon in der wassergesättigten und –ungesättigten Zone, Dissertation.
- METZGER, J. W. et al. (2003): Pharmaka und Hormone in der aquatischen Umwelt/ Forschungsprojekt UVM ONr 53-00.01. Teilbericht /Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft der Universität Stuttgart.
- MÖHLE, E. et al. (1999): Bestimmung von schwer abbaubaren organischen Verbindungen – Identifizierung von Arzneimittelrückständen. Vom Wasser 92, S. 207-223.
- MUNLV (2004): Untersuchungen zum Eintrag und zur Elimination von gefährlichen Stoffen in kommunalen Kläranlagen. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben, Düsseldorf, März 2004.
- POIGER, Th. et al. (2000): Occurrence and fate of selected pharmaceuticals in surface waters. Endocrine Disruptors and Pharmaceutical Active Compounds in Drinking Water Workshop, April 19-21, 2000, Chicago, Illinois.

- POIGER, Th. et al. (2003): Occurrence and Fate of Organic Micropollutants in the Environment: Regional Mass Balances and Source Apportioning in Surface Waters Based on Laboratory Incubation Studies in Soil and Water, Monitoring, and Computer Modeling. CHIMIA 57, Nr. 9, S. 492-498.
- POSEIDON (2004): Assessment of Technologies for the Removal of Pharmaceuticals and Personal Care Products in Sewage and Drinking Water Facilities to Improve the Indirect Potable Water Reuse. Report August 2004.
- REINSTORF, F. et al. (2006): Untersuchung zur Verbreitung von pharmazeutischen und Körperpflegeprodukten (PPCP) im Grund- und Oberflächenwasser der Städte Halle/Saale und Leipzig. Vortrag zum Workshop „Pharmaka in der aquatischen Umwelt – Ergebnisse aus Forschung und Praxis. 07.09.06 in Leipzig.
- RL 2000/60/EG (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23.10.2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 327, 22.12.2000.
- RUHRVERBAND (1995): Ruhrwassergütebericht 1995. AWWR Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke an der Ruhr und Ruhrverband, Essen.
- SACHER, F. et al. (1998): Vorkommen von Arzneimittelwirkstoffen in Oberflächenwässern. Vom Wasser 90, S. 233-243.
- SCHARF, S.; O. Gans; R. Sattelberger (2002): Arzneimittelwirkstoffe im Zu- und Ablauf von Kläranlagen. Bericht des UBA Österreich BE-201.
- SCHEYTT, T. et al. (1998): Vorkommen und Verhalten eines Arzneimittels (Clofibrinsäure) im Grundwasser. Grundwasser 2/98, S. 67-79.
- STAN, H. J. et al. (1994): Vorkommen von Clofibrinsäure im aquatischen System - Führt die therapeutische Anwendung zu einer Belastung von Oberflächen-, Grund- und Trinkwasser? Vom Wasser 83, S. 57-68.
- StUA Münster (2004): Untersuchungen zum Verbleib von Carbamacepin und anderen Arzneimittelwirkstoffen im Gewässersystem des Münsterlandes. Bericht des Staatlichen Umweltamtes Münster.
- STUMPF, M. et al. (1996): Nachweis von Arzneimittelrückständen in Kläranlagen und Fließgewässern. – Vom Wasser 86: 291-303.
- STUMPF, M. et al. (1998): Isolierung von Ibuprofen-Metaboliten und deren Bedeutung als Kontaminanten der aquatischen Umwelt. – Vom Wasser 91: 291-303.
- SULING, V., W. Thiemann (2000): Nachweis ausgewählter Pharmaka in Bremer Wässern. Vom Wasser 95, S. 269-278.
- TERNES, Th. (1998): Occurrence of drugs in german sewage treatment plants and rivers. Water Research 32 (11): 3245-3260
- TERNES, Th. et al. (1999): Nachweis und Screening von Arzneimittelrückständen, Diagnostika und Antiseptika in der aquatischen Umwelt. BMBF-Forschungsvorhaben 02WU9567/3.

- TERNES, Th. (2000): Abbau und Verhalten von Pharmaka in aquatischen Systemen; Schriftenreihe Wasserforschung 6; Chemische Stressfaktoren in aquatischen Systemen. Hrsg. Weigert, Steinberg, Brüggemann, Berlin: Wasserforschung e.V., S. 23-33.
- UBA (2005): Arzneimittel in der Umwelt – Zu Risiken und Nebenwirkungen fragen Sie das Umweltbundesamt. UBA-Texte 29/05.
- UMK (1999): 53. Umweltministerkonferenz am 27./28. Oktober in Augsburg – Ergebnisniederschrift Top 21.7 Arzneimittel in der Umwelt – Konzept für ein Untersuchungsprogramm.