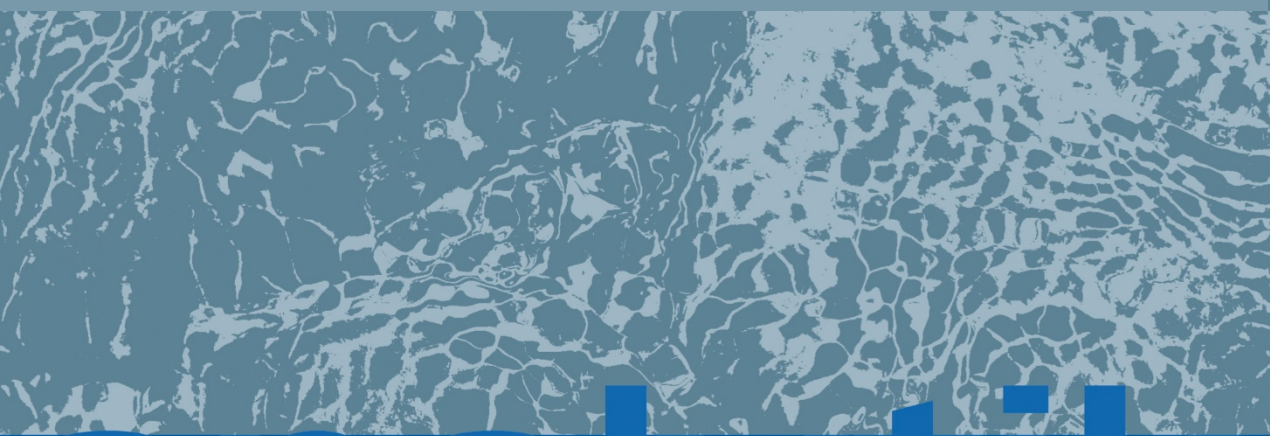




# Emission estrogener Aktivität aus Kläranlagen

Abschlussbericht



analytik





# **Emission estrogener Aktivität aus Kläranlagen**

**Abschlussbericht**

## Impressum

Emission estrogener Aktivität aus Kläranlagen – Abschlussbericht

### Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160  
86179 Augsburg  
Tel.: 0821 9071-0  
E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)  
Internet: [www.lfu.bayern.de/](http://www.lfu.bayern.de/)

### Konzept/Text:

LfU, Dr. Claudia Behle, Dr. Korbinian Freier, Dr. Michael Gierig

### Redaktion:

LfU, Dr. Claudia Behle, Dr. Korbinian Freier, Dr. Michael Gierig

### Bildnachweis:

LfU

### Stand:

März 2021

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbenden oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die publizistische Verwertung der Veröffentlichung – auch von Teilen – wird jedoch ausdrücklich begrüßt. Bitte nehmen Sie Kontakt mit dem Herausgeber auf, der Sie – wenn möglich – mit digitalen Daten der Inhalte und bei der Beschaffung der Wiedergaberechte unterstützt.

Diese Publikation wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 089 12 22 20 oder per E-Mail unter [direkt@bayern.de](mailto:direkt@bayern.de) erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>5</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>7</b>
<b>Abstract</b>	<b>8</b>
<b>Kurzfassung</b>	<b>9</b>
<b>1 Hintergrund und Fragestellung</b>	<b>10</b>
<b>2 Vorgehensweise</b>	<b>11</b>
2.1 Probenahmen	11
2.1.1 Kommunale Kläranlagen	11
2.1.2 Laborkläranlagen	12
2.2 Analytische Methoden	13
<b>3 Ergebnisse</b>	<b>14</b>
3.1 Kommunale Kläranlagen	14
3.1.1 Estrogene Aktivität	14
3.1.2 Einfluss von Einzugsgebiet und Cosubstratverwertung	15
3.1.3 Steroidhormone und Xenoestrogene	16
3.1.4 Desinfektionsmittel, Antibiotika und Industriechemikalien	23
3.1.5 Biologische Abbauprozesse und Mikrobiome	26
3.1.6 Verfahrenstechnische Einflussfaktoren	29
3.2 Laborkläranlagen	32
<b>4 Diskussion möglicher Ursachen erhöhter Emissionen endokrin wirksamer Substanzen</b>	<b>35</b>
<b>5 Bewertung</b>	<b>38</b>
<b>6 Literatur</b>	<b>39</b>
<b>7 Anhang</b>	<b>41</b>



## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Aufbau einer Laborkläranlage im Technikum Wielenbach	13
Abb. 2:	Estrogene Aktivität im YES-Test (Estradioläquivalente (EEQ) in ng/L) der Zuläufe der im Herbst 2017 und Herbst 2018 beprobten 14 Kläranlagen. Grün markierte KA: vergleichsweise niedrige EEQ-Zulaufkonzentrationen, hohe Krankenhausbettenzahl und kein bzw. geringer Industrie- und Gewerbeanteil im Einzugsgebiet. Rot markierte KA: hohe EEQ-Zulaufkonzentrationen und hoher Gewerbe- und Industrieanteil bzw. Co-Substratverwertung im Einzugsgebiet.	15
Abb. 3:	Estrogene Aktivität im YES-Test (Estradioläquivalente (EEQ) in ng/L) der Abläufe der im Herbst 2017 und 2018 beprobten 14 Kläranlagen.	15
Abb. 4:	Steroidhormonkonzentrationen (ng/L) in den Zu- und Abläufen der beprobten Kläranlagen (KA 1 bis 6).	17
Abb. 5:	Steroidhormonkonzentrationen (ng/L) in den Zu- und Abläufen der beprobten Kläranlagen (KA 8 bis 15).	17
Abb. 6:	Im YES-Test bestimmte Estradioläquivalente (EEQ) und die aus den Konzentrationen errechneten relativen estrogenen Aktivitäten (EEQ) der Estrogene 17- $\beta$ -Estradiol, 17- $\alpha$ -Estradiol, Estron und Estriol im Zu- und Ablauf der 14 beprobten Kläranlagen (KA 1 – KA 14)	19
Abb. 7:	Berechnete Konzentrationen an 17- $\beta$ -Estradiol (E2) in den Vorflutern bei mittleren Abflussverhältnissen ( $Q_{50}$ ). Die Schwankungsbreiten zeigen die Minimal- und Maximalwerte an.	20
Abb. 8:	Berechnete Konzentrationen an Estron (E1) in den Vorflutern bei mittlerem Abflussverhältnissen ( $Q_{50}$ ). Die Schwankungsbreiten zeigen die Minimal- und Maximalwerte an.	20
Abb. 9:	Berechnete estrogene Aktivität (EEQ in ng/l) in den Vorflutern bei mittlerem Abflussverhältnissen ( $Q_{50}$ ). Die Schwankungsbreiten zeigen die Minimal- und Maximalwerte an.	21
Abb. 10:	Konzentrationen der im GC-MS-Screening gemessenen Xenoestrogene in den Zu- und Abläufen der Kläranlagen (KA 1 bis 14)	22
Abb. 11:	Desinfektionsmittelkonzentrationen in den Zu- und Abläufen der 14 Kläranlagen (KA 1 bis 15), Eliminationsleistung der drei Desinfektionsmittel: 99,8 % (Median), 99,2 % (Minimum), 99,9 % (Maximum)	24
Abb. 12:	Konzentrationen des Antibiotikums Sulfamethoxyazol in den Zu- und Abläufen der 14 beprobten Kläranlagen (KA 1 bis 15), Eliminationsleistung: 58,9 % (Median), 94,1 % (Maximum), 18,9 % (Minimum)	24
Abb. 13:	Konzentrationen des 1-Dodecanols in den Zu- und Abläufen der 14 Kläranlagen (KA 1 bis 15), Eliminationsleistung: 99,8 % (Median), 99,9% (Maximum), 98,8 % (Minimum)	25
Abb. 14:	Konzentrationen unterschiedlicher Propylenglycole in den Zu- und Abläufen der 14 Kläranlagen (KA 1 bis 15)	25
Abb. 15:	Mikrobiomanalysen der Belebtschämme bzw. Tropfkörperabläufe der 14 Kläranlagen im November/Dezember 2018. Dargestellt ist das Bandenmuster der verschiedenen Proben (KA 1 bis K 15); jede farbige Bande repräsentiert den prozentualen Anteil einer taxonomischen Einheit (Bakteriengattung).	26

Abb. 16:	Mikrobiomanalysen der Kläranlage 4 vom Ablauf Tropfkörper (Tr), Belebtschlamm des Denitrifikationsbeckens (Deni) und Tropfkörperbiofilm von Dezember 2018 bis März 2020	27
Abb. 17:	Anteile der Bakterienklassen im Belebtschlamm des Belebungsbeckens, Tropfkörperablauf (TR) und Belebtschlamm des Denitrifikationbeckens (Deni), die laut Literatur am Abbau der Estrogene beteiligt sind. Rot markiert: Tropfkörperablauf (TR) und Denitrifikationsbecken (Deni) der Kläranlagen 4, 12 und 14 (Proben vom November/Dezember 2018)	28
Abb. 18:	Anteile der Bakteriengattungen im Belebtschlamm des Belebungsbeckens, Tropfkörperablauf (TR) und Belebtschlamm des Denitrifikationbeckens (Deni), von denen einzelne Arten in der Literatur als Estrogene abbauend beschrieben werden. Rot markiert: Tropfkörperablauf (TR) und Denitrifikationsbecken (Deni) der Kläranlagen 4, 12 und 14 (Proben vom November/Dezember 2018)	29
Abb. 19:	Darstellung der EEQ-Konzentrationen im Ablauf der KA (Medianwerte) in Abhängigkeit des spezifischen Beckenvolumens (l(EW) auf Basis der Ausbaugröße, Quelle: Abschlussbericht, Ing.-Büro Dr. Schreff, 2019	30
Abb. 20:	Gesamtschlammalter der Belebungsanlagen (KA 1, 2, 3, 5-11, 13 und 15) aufgetragen gegen die estrogene Aktivität im Kläranlagenablauf	31
Abb. 21:	Gesamtschlammalter der 15 Kläranlagen, Quelle: Abschlussbericht, Ing.-Büro Dr. Schreff, 2019	32
Abb. 22:	Estrogene Aktivität EEQ im Ablauf der Laborkläranlagen, betrieben mit den Belebtschlämmen der Kläranlagen 1, 2 und 5, jeweils Doppelbestimmungen	33
Abb. 23:	Anteile der Chryseobakterien in % im Belebtschlamm der Laborkläranlagen bei 11°C, LKA 2 und 3: Referenzläufe, Doppelbestimmung, LKA 4 und 5, Doppelbestimmung: mit 1,6 µg/l Sulfamethaxol im Zulauf bzw. mit den Desinfektionsmitteln N,N-Dimethyl-tetradecanamin und N,N-Dimethyl-dodecanamin (Zugabe als Stoßbelastung in die Belebung);	35



## Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Beprobte Kläranlagen mit den jeweiligen Probenahmezeiträumen	11
Tab. 2:	Probenvolumina und Probenahmegefäße entsprechend der Analysemethoden	12
Tab. 3:	Angesetzte Konzentrationen an 17- $\beta$ -Estradiol und wiedergefundene EEQ (ng/l) im YES-Test nach der Lagerung (1d bei 4°C, dann einfrieren bei -18°C) in Aluminiumflaschen und Glasflaschen	12
Tab. 4:	In der Literatur beschriebene estrogenere Potenziale für 17- $\alpha$ -Estradiol, Estron und Estriol, Jarosova et al. (2014), <sup>1</sup> Coldham et al. (1997), * in dieser Arbeit verwendete RP-Werte	18
Tab. 5:	Eliminationsraten der Xenooestrogene der vierzehn Kläranlagen, Medianwerte, Maximalwerte und Minimalwert in Prozent.	21
Tab. 6:	Mögliche Ursachen hoher Emissionen endokrin wirksamer Substanzen bei den auffälligen Kläranlagen 1, 2, 4, 12, 8 und 14 im Vergleich zu den Kläranlagen 11 und 15 mit sehr geringen Emissionen endokrin wirksamer Substanzen. grün: „gut“, gelb: „neutral“, rot: „kritisch“, n.n.: nicht nachweisbar;	36
Tab. 7:	GC-MS Screening I der Kläranlage 4, ZU: Zulauf, ABL: Ablauf;	42
Tab. 8:	GC-MS Screening II der Kläranlage 4, ZU: Zulauf, ABL: Ablauf	43
Tab. 9:	GC-MS Screening III der Kläranlage 4, ZU: Zulauf, ABL: Ablauf;	44
Tab. 10:	GC-MS Screening IV der Kläranlagen 1, 3, 5 und 6; ZU: Zulauf, ABL: Ablauf	45
Tab. 11:	GC-MS Screening V der Kläranlagen 1, 3, 5 und 6; ZU: Zulauf, ABL: Ablauf	46
Tab. 12:	GC-MS Screening VI der Kläranlagen 1, 3, 5 und 6; ZU: Zulauf, ABL: Ablauf;	47
Tab. 13:	GC-MS Screening VII der Kläranlage 2; ZU: Zulauf, ABL: Ablauf;	48
Tab. 14:	GC-MS Screening VIII der Kläranlage 2; ZU: Zulauf, ABL: Ablauf	49
Tab. 15:	GC-MS Screening IX der Kläranlage 2; ZU: Zulauf, ABL: Ablauf	50
Tab. 16:	GC-MS Screening X der Kläranlagen 8 und 14; ZU: Zulauf, ABL: Ablauf	51
Tab. 17:	GC-MS Screening XI der Kläranlagen 8 und 14; ZU: Zulauf, ABL: Ablauf	52
Tab. 18:	GC-MS Screening XII der Kläranlagen 8 und 14; ZU: Zulauf, ABL: Ablauf	53
Tab. 19:	GC-MS Screening XIII der Kläranlagen 9, 10, 11, 12, 13 und 15; ZU: Zulauf, ABL: Ablauf	54
Tab. 20:	GC-MS Screening XIV der Kläranlagen 9, 10, 11, 12, 13 und 15; ZU: Zulauf, ABL: Ablauf	55
Tab. 21:	GC-MS Screening XV der Kläranlagen 9, 10, 11, 12, 13 und 15; ZU: Zulauf, ABL: Ablauf	56

## Abstract

An effect monitoring for estrogenic activity at 40 sewage treatment plants in Bavaria, Germany, between 2002 and 2016, indicated high vitellogenin (VG) concentrations in the blood of fish at 18 sites. Estrogenic activities of 0.4 ng / L EEQ and 2.8 ng / L EEQ were measured in receiving streams.

This study was aimed to get a more comprehensive picture of the elimination of estrogenic activity by Bavarian sewage treatment plants (STPs) and the range of emissions from STPs. A number of 14 STPs across Bavaria were selected and sampled during at least 7 days by 24h-composite samples. The STPs differed in catchment area, population values, applied technology and utilization patterns.

Two sewage treatment plants showed increased endocrine effects in 2 respectively 3 daily samples. Mean estrogenic activity in the effluents of STPs was 2.1 ng/L (median), minimum 0.8 ng/L and maximum 22.1 ng/L. The concentrations of 17- $\beta$ -estradiol and estrone on all receiving waters were below the quality criterion of 0.4 ng / L for 17- $\beta$ -estradiol and 3.6 ng / L for estrone proposed by the Swiss EAWAG.

High estrogenic activities in effluents of STPs were not caused by high estrogenic activities in the inflow. Instead, processes in the STPs are responsible for the emissions. Four parameters have been identified as the decisive factors for higher emissions of estrogenic activity: (a) short hydraulic residence time, (b) short sludge age, (c) high utilized capacity of the sewage treatment plant and (d) the lack of adequate microorganisms. These factors are already described in the literature and have been confirmed. Trickling filter systems were identified as a type with increased emissions of estrogenic activity.

Microbiome analyzes proved to be a valuable tool for characterizing the STPs with regard to their biodiversity and prevalence of bacterial genera, which are described in the literature as estrogen-degrading. Microbiome analyzes revealed very different individual bacterial compositions of the activated sludge of the 14 STPs. The microbiome analyzes of the trickling filter bio-film and activated sludge of the trickling filter system with the highest emission of estrogenic activity showed very high proportions of up to 60 % of a single bacterial genus (*Chryseobacteria*).

## Kurzfassung

Ein von 2002 bis 2016 an 40 Kläranlagen durchgeführtes Wirkungsmonitoring auf estrogene Aktivität zeigte bei 18 Kläranlagen auffällige bis hohe Konzentrationen von Vitellogenin (VG) im Blut der Fische. In Vorflutern nach Kläranlageneinleitungen wurden estrogene Aktivitäten von 0,4 ng/L EEQ<sup>1</sup> bzw. 2,8 ng/L EEQ gemessen.

Ziel des vorliegenden Projekts „Emission estrogener Aktivität aus Kläranlagen“ war es, einen orientierenden Überblick der Elimination und der Spannbreite der Emissionen von estrogener Aktivität durch Kläranlagen in Bayern zu bekommen. 14 Kläranlagen, die sich hinsichtlich Einzugsgebiet, Einwohnerwerten, Anlagentechnik und Auslastung unterschieden, wurden bayernweit über mindestens sieben Tage mit 24-Stunden-Mischproben beprobt.

Die estrogenen Aktivitäten im Ablauf lagen bei den vierzehn Kläranlagen im Mittel bei 2,1 ng/L (Median), mit maximalem Wert bei 22,1 ng/L und minimalem Wert bei 0,8 ng/L. Die Konzentrationen an 17- $\beta$ -Estradiol und Estron lagen in allen Vorflutern unterhalb dem vom Ökotoxzentrum der schweizerischen EAWAG vorgeschlagenen Qualitätskriterium von 0,4 ng/L für 17- $\beta$ -Estradiol und 3,6 ng/L für Estron.

Die Messungen haben gezeigt, dass für die hohen estrogenen Aktivitäten im Kläranlagenablauf nicht hohe estrogene Aktivitäten im Zulauf ursächlich sind, sondern die Prozesse in der Kläranlage. Vier Einflussfaktoren standen deutlich mit einer höheren Emission estrogener Aktivität in Verbindung:

- (a) kurze hydraulische Aufenthaltszeit,
- (b) geringes Schlammalter,
- (c) hohe Auslastung der Kläranlage und
- (d) Fehlen geeigneter Mikroorganismen.

Diese bereits in der Literatur beschriebenen Faktoren wurden auch im Projekt als maßgeblich identifiziert. Als weiterer Einflussfaktor für erhöhte Emissionen estrogener Aktivität konnten Tropfkörperanlagen ausgemacht werden.

Mikrobiomanalysen offenbarten sehr unterschiedliche individuelle Bakterienzusammensetzungen der Belebtschlämme der 14 Kläranlagen. Sie erwiesen sich als wertvolles Werkzeug, um die Kläranlagen hinsichtlich ihrer Biodiversität und ihrer Anteile an den Bakteriengattungen zu charakterisieren, die in der Literatur als estrogenabbauend beschrieben werden. Mikrobiomanalysen vom Biofilm und Belebtschlamm der Tropfkörperanlage mit der höchsten Emission estrogener Aktivität zeigten hohe Anteile von bis zu 60 % einer einzigen Bakteriengattung (Chryseobakterien).

---

<sup>1</sup> EEQ: Estrogene Äquivalenzdosis bezogen auf 17 $\beta$ -Estradiol

## 1 Hintergrund und Fragestellung

Ein seit 2002 an 40 bayerischen Kläranlagen im Ablauf durchgeführtes Wirkungsmonitoring an Karpfen (bis 2004) und Regenbogenforellen (2005 bis 2013) führte bei 18 Kläranlagen zu auffälligen bis starken Anstiegen von Vitellogenin (VG) im Blut der Fische. Der Nachweis von VG in Blutproben männlicher Fische stellt ein Indiz für die Einwirkung estrogener Substanzen dar. Die Messung der VG-Ausschüttung ist dazu geeignet, estrogene Belastungen auch in sehr niedrigen Konzentrationsbereichen aufzuspüren. Auffällig hohe VG-Induktionsfaktoren zeigten sich insbesondere im Ablauf von zwei Kläranlagen (KA 2 und 4). Ein in-vitro Versuch (E-Screen-Assay) bestätigte die sehr hohen estrogenen Aktivitäten im Ablauf der zwei Kläranlagen (bis zu 8,8 ng/L EEQ<sup>1</sup> in der KA 4 und bis zu 17 ng/L EEQ<sup>2</sup> in der KA 2). Flussabwärts der Einleitung der Kläranlage 4 wurden zudem in den Jahren 2009 und 2010 estrogene Aktivitäten von bis zu 0,4 ng/L EEQ<sup>1</sup> gemessen. Expositionsversuche mit Regenbogenforellen im Vorfluter unterhalb der Kläranlage 4 ergaben VG-Induktionsfaktoren von 4,15 (Herbst 2009) und 11,3 (Herbst 2010). Inwieweit diese Werte bereits populationsrelevante Auswirkungen auf die Gewässerorganismen ausüben, müsste in zusätzlichen Studien untersucht werden.

Um einen ersten Überblick über die Eliminationsleistung von Kläranlagen und die Spannbreite der Emissionen endokrin wirksamer Substanzen durch Kläranlagen zu bekommen, wurden im Rahmen dieses Projekts „Emission estrogener Aktivität aus Kläranlagen“ bayernweit 14 Kläranlagen ausgewählt und beprobt, die sich hinsichtlich Einzugsgebiet, Einwohnerwerten, Anlagentechnik und Auslastung unterschieden. Zentrale Fragestellungen waren:

- Wie sieht die Belastungssituation hinsichtlich estrogener Aktivität in den Zu- und Abläufen aus?
- Ist eine hohe estrogene Aktivität im Zulauf oder/und eine mangelhafte Abbauleistung in der Kläranlage für eine hohe estrogene Aktivität im Ablauf verantwortlich?
- Was sind Hinweise oder Ursachen für hohe Emissionen estrogen wirksamer Substanzen aus Kläranlagen?
- Lassen sich Empfehlungen zur Verringerung der Emissionen aus Kläranlagen geben?

Bei der Ursachensuche wurden die Chemie im Zulauf, die Mikrobiologie der Belebtschlämme und die Verfahrenstechnik der einzelnen Kläranlagen analysiert und bewertet. Um die Kläranlagen hinsichtlich ihrer Biodiversität und ihrer Anteile an Estrogene abbauenden Bakteriengattungen zu charakterisieren, wurden zusätzlich Mikrobiomanalysen durchgeführt.

---

<sup>2</sup> EEQ: Estrogene Äquivalenzdosis bezogen auf 17 $\beta$ -Estradiol

## 2 Vorgehensweise

### 2.1 Probenahmen

#### 2.1.1 Kommunale Kläranlagen

Von Mitte Oktober bis Mitte Dezember 2017 und 2018 wurden insgesamt 14 bayerische Kläranlagen beprobt<sup>3</sup>. Bei der Wahl des Probenahmezeitraums orientierte man sich an den Durchführungszeiten der vorangegangenen Wirkungsmonitorings, die aufgrund des optimalen Entwicklungsstadiums der Fische, ebenfalls im Herbst durchgeführt wurden. Auf diese Weise konnten mögliche saisonale und temperaturbedingte Einflüsse minimiert werden. Es wurden nur bei Trockenwetter, möglichst im Wochengang, Proben genommen. Die Entscheidung, ob ein Trockenwettertag vorlag, wurde vom Kläranlagenbetreiber anhand der Abflussmengen getroffen.

An jeder Kläranlage wurden mittels eines automatischen Probenehmers sieben Zu- und Ablaufproben als 24h-Mischproben abflussproportional genommen. Die Zulaufproben wurden am Ablauf der Vorklärung, beziehungsweise wenn keine Vorklärung vorhanden war, am Zulauf zum Belebungsbecken entnommen. Die Probennahmen der Ablaufproben erfolgten direkt am Ablauf in den Vorfluter.

In Tabelle 1 sind die beprobten Kläranlagen mit den jeweiligen Probenahmezeiträumen aufgeführt.

Bezeichnung	Probenahmezeitraum
KA 1	15.11.2017 - 22.11.2017
KA 2	15.11.2017 - 24.11.2017
KA 3	25.10.2017 - 5.11.2017
KA 4	14.10.2017 - 20.10.2017
KA 5	25.10.2017 - 4.11.2017
KA 6	14.10.2017 - 20.10.2017
KA 8	15.10.2018 - 22.10.2018
KA 9	18.10.2018 - 29.10.2018
KA 10	17.11.2018 - 23.11.2018
KA 11	29.10.2018 - 8.11.2018
KA 12	9.11.2018 - 19.11.2018
KA 13	14.12.2018 - 20.12.2018
KA 14	16.10.2018 - 23.10.2018
KA 15	6.11.2018 - 14.11.2018

Tab. 1:  
Beprobte Kläranlagen mit den jeweiligen Probenahmezeiträumen

Die Proben wurden nach dem Abfüllen sofort in den für die jeweiligen Analysen notwendigen Probenahmegefäße bei -18 °C eingefroren. In Tabelle 2 sind die verwendeten Probenahmegefäße und Probenvolumina aufgeführt. Voruntersuchungen hatten gezeigt, dass die Lagerung von 17- $\beta$ -Estradiolhaltigen wässrigen Proben in Aluminiumflaschen und Glasflaschen nur zu einem geringen messbaren Verlust der estrogenen Aktivität (EEQ) durch Adsorption an der Flascheninnenwandung führt (siehe Tabelle 3). Aufgrund der höheren Stabilität der Aluminiumflaschen wurden diese für die YES-Testproben verwendet. Die Proben für das GC/MS Screening und die Steroidanalytik wurden in den vom jeweiligen beauftragten Labor vorgeschlagenen Gefäßen gelagert (siehe Tab. 2).

<sup>3</sup> Die zusätzlich geplante Kläranlage 7 konnte aus technischen Gründen nicht beprobt werden, da im Projektzeitraum die neu erbaute Klärtechnik noch nicht kontinuierlich und störungsfrei lief.

Tab. 2: Probenvolumina und Probenahmegefäße entsprechend der Analysemethoden

Analysemethode	Probenvolumen Zulauf	Probenvolumen Ablauf	Probenahmegefäße
YES-Test	300 mL	1 L	Aluminiumflaschen
GC/MS Screening	1 L	2 L	Aluminiumflaschen
Steroidanalytik	1 L	1 L	PP-Kautexflaschen

Tab. 3: Angesetzte Konzentrationen an 17- $\beta$ -Estradiol und wiedergefundene EEQ (ng/l) im YES-Test nach der Lagerung (1d bei 4°C, dann einfrieren bei -18°C) in Aluminiumflaschen und Glasflaschen

Angesetzte Konzentration 17- $\beta$ -Estradiol (ng/L)	Gemessene EEQ (ng/l) nach Lagerung in Aluminiumflasche	Gemessene EEQ (ng/l) nach Lagerung in Glasflasche
0	0	0
20	17	23
40	35	31

### 2.1.2 Laborkläranlagen

Die bei der Untersuchung der kommunalen Kläranlagen generierten Hypothesen zu möglichen Ursachen für hohe estrogene Aktivitäten im Kläranlagenablauf wurden experimentell in Laborkläranlagen (LKA) überprüft.

Es standen 6 LKA im Technikum des LfU in Wielenbach zur Verfügung. Jede dieser LKA bildet in kleinem Maßstab ein Denitrifikationsbecken (Füllmenge Belebtschlamm: 2,15 L), ein Nitrifikationsbecken (Füllmenge Belebtschlamm: 3,7 L) und ein Nachklärbeckens einer Belebungsanlage ab. Insgesamt befinden sich ca. 8 L Belebtschlamm in einer LKA. Über zwei Zuströme ist eine Zudosierung in die Anlage möglich. Es wird synthetisches Abwasser verwendet. Der Belebtschlamm zirkuliert innerhalb von 24 Stunden zweimal zwischen Denitrifikations- und Nitrifikationsbecken. Viermal pro Stunde erfolgt für 10 Sekunden ein Schlammabzug aus der Nachklärung in das Denitrifikationsbecken. Die Aufenthaltszeit des Abwassers in der Anlage beträgt ca. 16 Stunden, die Sauerstoffkonzentration im Belebungsbecken ist standardmäßig auf 2,5 mg/l eingestellt. Die Temperatur im Belebtschlamm liegt aufgrund der Klimatisierung des Technikums konstant bei 20 °C. Um die realen Bedingungen auf einer kommunalen Kläranlage besser abzubilden, kann über mobile Klimaanlage bis auf 11 °C heruntergekühlt werden. Ebenfalls besteht die Möglichkeit die Aufenthaltszeit, die Sauerstoffkonzentration und in begrenztem Maß das Schlammalter zu verändern.

Nach ca. 1,5-wöchigem Einfahren mit Belebtschlamm zeigt die Anlage hinsichtlich den CSB-, NH<sub>4</sub>- und NO<sub>3</sub>-Werten konstante Abbaueigenschaften. Nach ca. sechs Wochen kommt es zu einer Verschlechterung des Absetzverhaltens des Belebtschlammes und zur Bildung von Fadenbakterien. Für weitere Untersuchungen muss der Belebtschlamm ausgetauscht werden. In Abbildung 1 ist eine Laborkläranlage schematisch abgebildet.

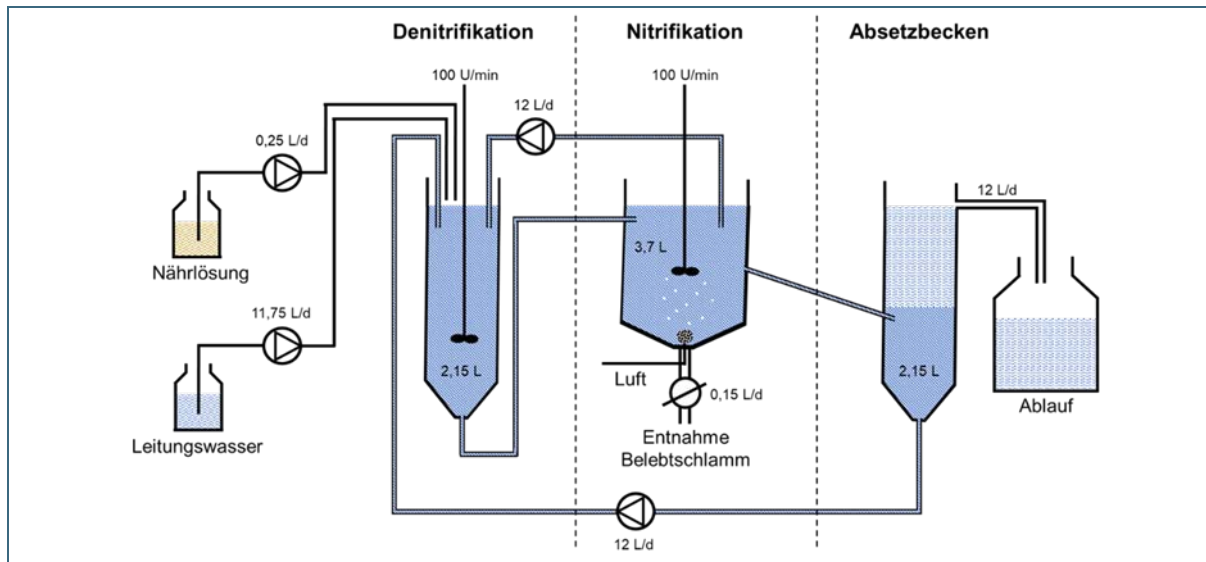


Abb. 1: Aufbau einer Laborkläranlage im Technikum Wielenbach

## 2.2 Analytische Methoden

Die estrogenen Aktivität (angegeben in Estradioläquivalenten, EEQ) der Kläranlagenproben wurde am LfU mit Hilfe des in-vitro Tests YES-Tests (Yeast Estrogene Screen) nach ISO 19040-1 (FDIS 2017) gemessen.

Die Quantifizierung der fünf Steroidhormone 17- $\beta$ -Estradiol, Estron, Estriol, 17- $\alpha$ -Estradiol und 17- $\beta$ -Ethinylestradiol mit LC-MS erfolgte durch die Landeswasserversorgungsanstalt Langenau. Diese Analysen ermöglichten ebenfalls eine Abschätzung der Anteile an Steroidhormonen an der estrogenen Gesamtaktivität.

Zusätzlich wurde am Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft der Uni Stuttgart (ISWA) ein GC-MS Screening durchgeführt. Mittels dieses Screenings wurden in den Zu- und Abläufen der Kläranlagen 114 (in den 2017 beprobte Kläranlagen, KA 1–6) bzw. 146 Substanzen (in den 2018 beprobte Kläranlagen, KA 8–15) bestimmt. Es wurden Substanzen aus unterschiedlichen Stoffgruppen u.a. pharmazeutische Wirkstoffe und deren Metabolite, Desinfektionsmittel, Alkanole, phosphororganische Flammenschutzmittel und Weichmacher, UV-Stabilisatoren, Pestizide und PAK quantifiziert. Bei den 2018 beprobten Kläranlagen (KA 8–15) wurden zusätzlich die Phthalate (aus Weichmachern) quantifiziert. Von den Kläranlagen, die erhöhte EEQ-Ablaufwerte aufwiesen (KA 1, 2, 4, 8, 12 und 14) wurden jeweils 3 bis 4 Zu- und Ablaufproben, von den unauffälligen Kläranlagen jeweils nur eine Zu- und eine Ablaufprobe analysiert.

Die Bestimmung der Nitrifikationsraten erfolgte am LfU in Wielenbach nach EN ISO 9509:2006 (D).

Die Mikrobiomanalysen (Next Generation Sequencing) wurden von Eurofins Genomics Germany GmbH durchgeführt. Untersucht wurden damit Belebtschlämme beziehungsweise bei Tropfkörperanlagen der Überschussschlamm. Bei der Kläranlage 4 wurden aufgrund von Auffälligkeiten zusätzlich der Tropfkörperbiofilm sowie der Kläranlagenzulauf untersucht. Außerdem wurden Belebtschlämme aus Laborkläranlagen der Mikrobiomanalyse unterzogen. Die Analysen erfolgten mit der Analysetechnik „InView - Microbiome Profiling 3.0 mit MiSeq“. Eurofins Genomics führte die DNA-Extraktion, die Sequenzierung mit einem Target (V1–V3) und die bioinformatische Auswertung der Proben durch. Die Mikrobiomanalyse ermöglicht die Beschreibung von Bakterienarten und -gattungen, die entsprechenden Teile einer Kläranlage besiedeln. Die Analyse liefert Aussagen über Artenreichtum, über die

quantitative Zusammensetzung des Mikrobioms (von der Phylum- bis zur Spezies-Ebene) und damit auch einen Vergleich der Mikrobiome der 14 beprobten Kläranlagen.

Die verfahrenstechnische Bewertung der vierzehn Kläranlagen erfolgte durch das Ingenieurbüro Dr. Schreff aus Miesbach. Es wurden die Betriebsdaten der Kläranlagen über ein Jahr ausgewertet, Steckbriefe zu den Anlagenkennwerten erarbeitet und die Verfahrenstechnik der Kläranlagen dokumentiert. Das Teilprojekt „Verfahrenstechnische Bewertung der Kläranlagen“ ist in einem eigenen Schlussbericht (Schreff, Juni 2019) zusammengefasst.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Kommunale Kläranlagen

#### 3.1.1 Estrogene Aktivität

Von den vierzehn beprobten Kläranlagen zeigten sechs Kläranlagen im Vergleich zu den anderen acht Kläranlagen mit niedrigen Ablaufkonzentrationen signifikant erhöhte Ablaufwerte estrogener Aktivität (KA 1, 2, 4, 8, 12 und 14). Im Mittel zeigten diese Kläranlagen EEQ-Ablaufwerte von 9,7 ng/L mit Spitzenwerten von bis zu 22,1 ng/L.

Während bei den Kläranlagen 1, 2, 4 und 12 alle sieben Ablaufproben signifikant erhöhte estrogene Aktivitäten aufwiesen, waren bei den Kläranlagen 8 und 14 nur zwei bzw. drei Tagesproben stark erhöht. Bei den acht unauffälligen Anlagen lagen die EEQ-Ablaufwerte zwischen 0,3 und 2,3 ng/l. Zwei Kläranlagen (KA 3 und 5) fielen durch konstant sehr niedrige EEQ-Ablaufwerte von 0,3 bis 1,1 ng/l in allen sieben Tagesproben auf. Die Untersuchungsergebnisse der YES-Tests sind in den Abbildungen 2 und 3 dargestellt.

Die Ergebnisse lassen deutlich erkennen, dass für hohe Ablaufkonzentrationen nicht notwendigerweise hohe Zulaufkonzentrationen verantwortlich sind. In den vier Kläranlagen (KA 1, 2, 4 und 14) mit den höchsten EEQ-Ablaufwerten von 16,3 bis 22,1 ng/l wurden maximale Zulaufkonzentrationen von 57,0 bis 94,6 ng/l EEQ gemessen. Hingegen wiesen beispielsweise die Kläranlagen 3 und 15, bei denen sehr geringe Ablaufwerte von maximal nur 0,8 ng/L (KA 3) bzw. 2,3 ng/l EEQ (KA 15) gemessen wurden, sehr hohe EEQ-Werte im Zulauf von bis zu 98 ng/L (KA 3) bzw. sogar 201 ng/l EEQ (KA 15) auf.

Zur Minimierung des im YES-Test störenden Bakterienwachstums werden die nativen Zulaufproben erst nach einer kurzen Absetzphase untersucht. Die im YES-Test ermittelten Werte entsprechen deshalb nur der estrogenen Aktivität in der wässrigen Phase. Da in den Zulaufproben der Anteil partikulärer Bestandteile jedoch hoch ist und die Estrogene aufgrund ihres lipophilen Charakters zum großen Teil partikelassoziiert vorliegen, ist die estrogene Aktivität in der Gesamtzulaufprobe höher als dargestellt. Zudem muss beachtet werden, dass der Partikelanteil je nach Kläranlage variiert und deshalb je nach Kläranlage individuelle Werte zu den YES-Messwerten zuaddiert werden müssten.

Die Messwerte der im YES-Test nativ eingesetzten Ablaufproben, die ebenfalls erst nach einer kurzen Absetzphase analysiert werden, entsprechen annähernd der estrogenen Aktivität in der Gesamtprobe. Der Ablauf ist weitestgehend partikelfrei. Es ist davon auszugehen, dass die abfiltrierbaren Schwebstoffe bei den nativ eingesetzten Ablaufproben im YES-Test miterfasst wurden.



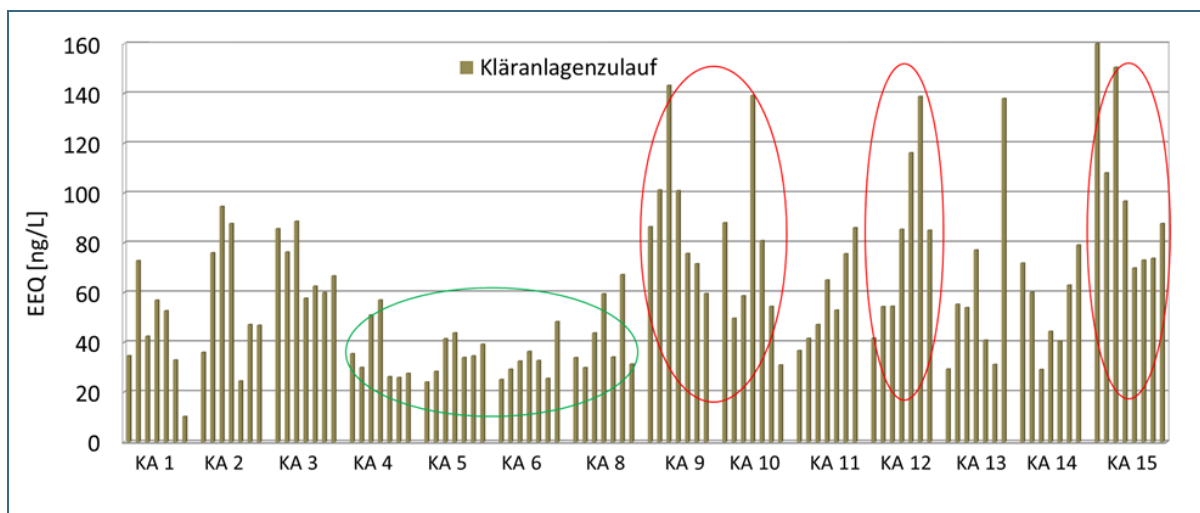


Abb. 2: Estrogene Aktivität im YES-Test (Estradioläquivalente (EEQ) in ng/L) der Zulaufe der im Herbst 2017 und Herbst 2018 beprobten 14 Kläranlagen. Grün markierte KA: vergleichsweise niedrige EEQ-Zulaufkonzentrationen, hohe Krankenhausbettenzahl und kein bzw. geringer Industrie- und Gewerbeanteil im Einzugsgebiet. Rot markierte KA: hohe EEQ-Zulaufkonzentrationen und hoher Gewerbe- und Industrieanteil bzw. Co-Substratverwertung im Einzugsgebiet.

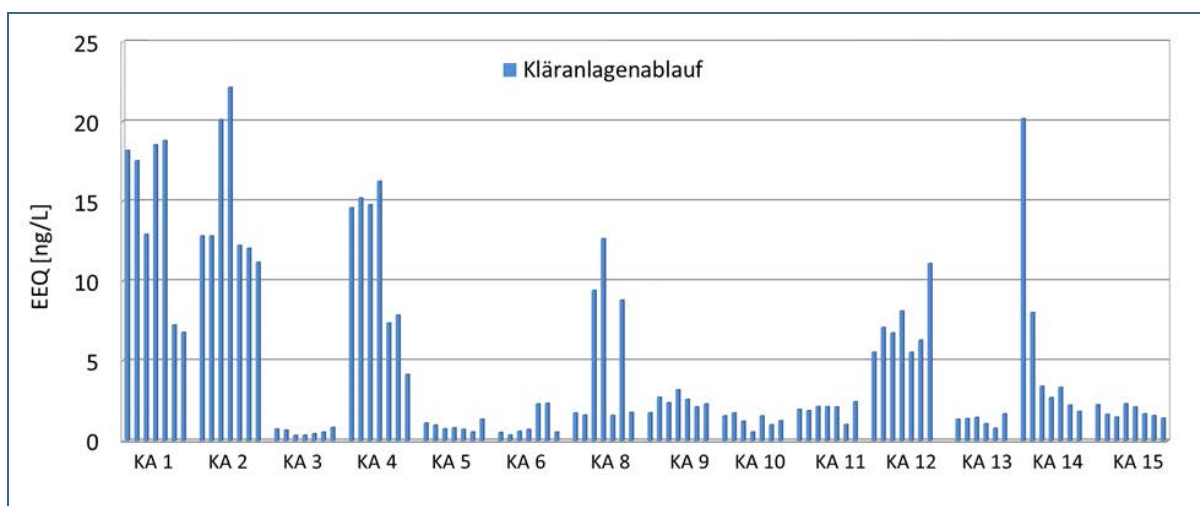


Abb. 3: Estrogene Aktivität im YES-Test (Estradioläquivalente (EEQ) in ng/L) der Abläufe der im Herbst 2017 und 2018 beprobten 14 Kläranlagen.

### 3.1.2 Einfluss von Einzugsgebiet und Cosubstratverwertung

Sehr hohe EEQ-Zulaufkonzentrationen zeigten die Kläranlagen 9, 10, 12 und 15 (in Abb. 2 rot markiert). Sie weisen alle einen hohen Industrie- und Gewerbeanteil und/oder Verwertung von Co-Substraten aus dem Bereich Gastronomie, Kosmetik, Tierverwertung oder Schlachtereie auf. Bei den Kläranlagen 9 und 12 werden in größerem Umfang Fette aus Fettabscheidern für die Faulung angenommen. Die Zulaufkonzentrationen schwanken aber im Wochenverlauf bei ein und derselben Kläranlage erheblich, so dass möglicherweise auch andere Einflussfaktoren eine Rolle spielen. Das Filtratwasser gelangt nach der Schlammfällflockung zurück in den Zulauf und wurde bei der Beprobung des Ablaufs Vorklärung miterfasst. Bei den Kläranlagen 9 und 15 befinden sich große Kosmetikbetriebe im Einzugsgebiet, die einen hohen Anteil des Abwassers ausmachen.

Auch die Kläranlagen 1 und 2 haben im Einzugsgebiet einen hohen Industrieanteil von 40 % (KA 1) bzw. 30 % (KA 2). Bei der Kläranlage 1 macht neben Metallveredlungsbetrieben eine Papierfabrik mit

25 % einen hohen Anteil aus. Diese Industriezweige verursachen anscheinend geringere Emissionen endokrin wirkender Substanzen.

Kliniken im Einzugsgebiet erwiesen sich nicht als Verursacher hoher estrogener Aktivitäten im Zulauf. In Kläranlagen mit hoher Krankenhausbettenanzahl und wenig bis keiner Industrie und Gewerbe im Einzugsgebiet (in Abb. 2 grün markiert) wurden geringere EEQ-Zulaufkonzentrationen gemessen. Kläranlage 4 nimmt externe organische Stoffe zur sog. Co-Fermentation aus einer benachbarten Biogasanlage an, was zu einem ungünstigen BSB<sub>5</sub>:N-Verhältnis führt.

### 3.1.3 Steroidhormone und Xenoestrogene

#### Steroidhormone

In allen Zu- und Ablaufproben konnten mittels der Steroidanalytik die natürlichen Estrogene 17- $\beta$ -Estradiol, Estron und Estriol nachgewiesen und quantifiziert werden. Das künstliche 17- $\alpha$ -Ethinylestradiol befand sich in allen Proben unterhalb der Nachweisgrenze von 0,4 ng/L (Zulaufproben) bzw. 0,1 ng/L (Ablaufproben).

In den Abbildungen 4 und 5 sind die Ergebnisse der Steroidanalytik der Zu- und Ablaufproben der 14 beprobten Kläranlagen dargestellt. Die Kläranlagen 1, 2, 4 und 12 zeigten erhöhte bis stark erhöhte Steroidhormonkonzentrationen im Ablauf. Das passt zu den Ergebnissen der YES-Tests, die ebenfalls bei diesen vier Kläranlagen konstant hohe bis sehr hohe estrogene Aktivitäten aufzeigen. Bei den Kläranlagen 8 und 14, die nur in zwei bzw. drei Tagesproben im YES-Test erhöhte EEQ-Ablaufwerte aufweisen, sind im Ablauf keine bzw. nur sehr geringe Steroidhormonkonzentrationen nachzuweisen. Während im Ablauf der Kläranlagen 1 und 2 hauptsächlich das Estron (Abbauprodukt von 17- $\beta$ -Estradiol) vorherrscht, sind in den Abläufen der Tropfkörperanlagen 4 und 12 noch alle drei natürlichen Estrogene messbar.

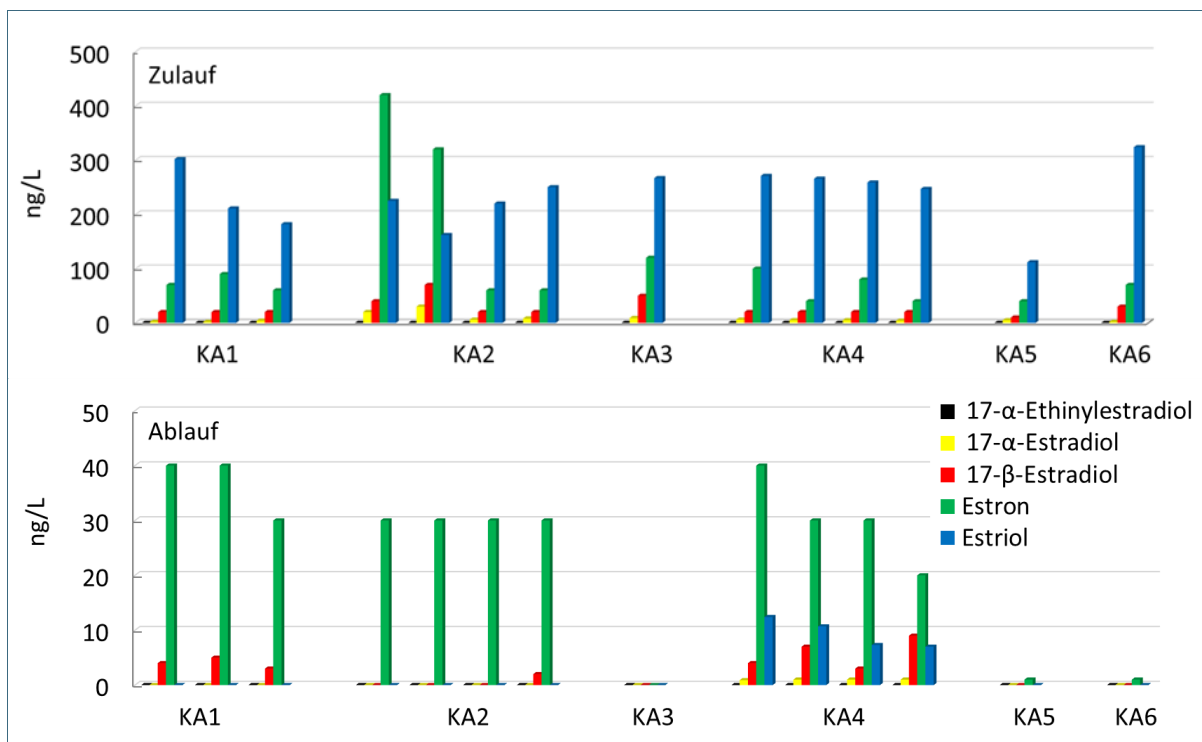


Abb. 4: Steroidhormonkonzentrationen (ng/L) in den Zu- und Abläufen der beprobten Kläranlagen (KA 1 bis 6).

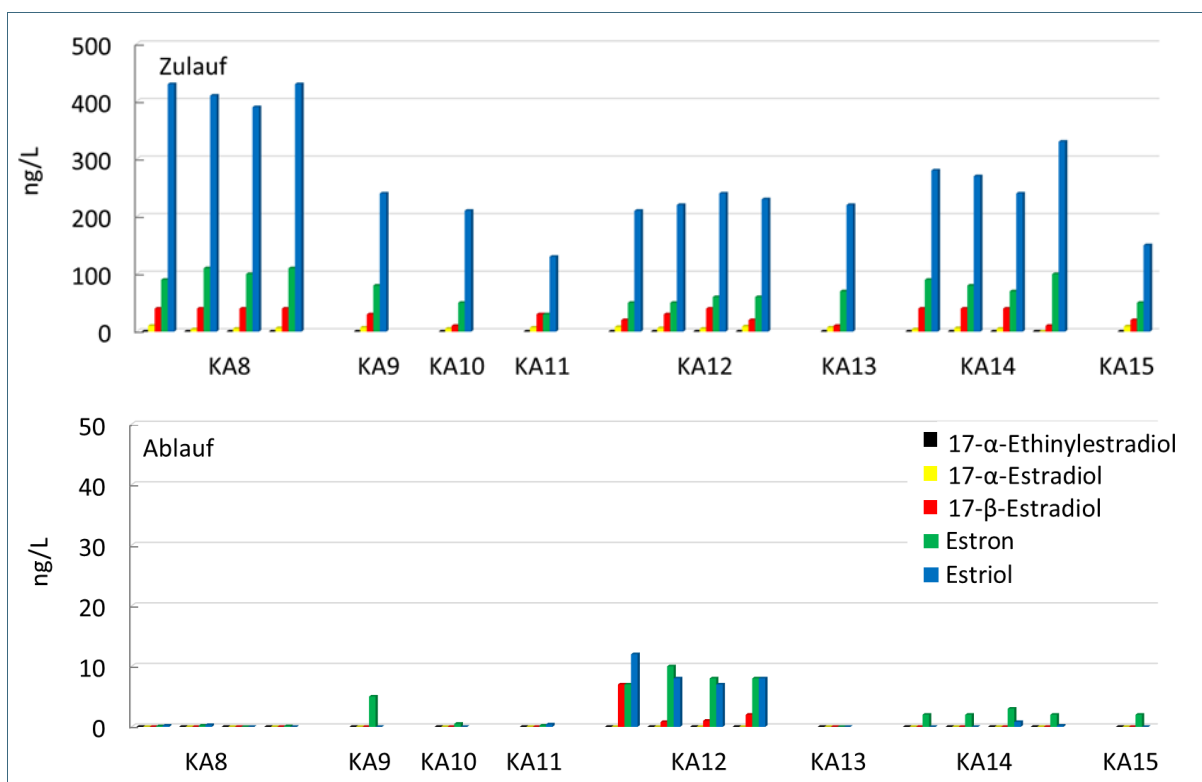


Abb. 5: Steroidhormonkonzentrationen (ng/L) in den Zu- und Abläufen der beprobten Kläranlagen (KA 8 bis 15).

### Anteil der Steroidhormone an der estrogenen Aktivität

Ein Vergleich der im YES-Test gemessenen Estradioläquivalente (EEQ [ng/L]) mit den aus den gemessenen Steroidkonzentrationen berechneten Estradioläquivalenten ermöglicht eine Abschätzung der Anteile an Steroidhormonen an der estrogenen Gesamtaktivität.

Die Berechnung der estrogenen Aktivität EEQ aus den Steroidkonzentrationen erfolgte unter Zuhilfenahme der in der Literatur beschriebenen relativen estrogenen Potenziale (RP). In der Literatur sind unterschiedlich hohe Werte für das estrogene Potenzial von Estron, Estriol und 17- $\alpha$ -Estradiol relativ zu 17- $\beta$ -Estradiol veröffentlicht, u. a. Jarosova et al. (2014). Die Höhe des verwendeten RP-Wertes beeinflusst sehr stark den daraus berechneten EEQ-Wert. Dies muss bei der Interpretation der berechneten EEQ-Werte, insbesondere beim Vergleich der Werte mit den gemessenen EEQ-YES-Test-Werten, beachtet werden. Die in dieser Arbeit verwendeten RP-Faktoren sind in der Tabelle 4 markiert.

Tab. 4: In der Literatur beschriebene estrogene Potenziale für 17- $\alpha$ -Estradiol, Estron und Estriol, Jarosova et al. (2014), <sup>1</sup>Coldham et al. (1997), \* in dieser Arbeit verwendete RP-Werte

Estrogene	Relatives estrogenes Potenzial zu 17- $\beta$ -Estradiol im YES-Test					
17- $\beta$ -Estradiol	1					
17- $\alpha$ -Estradiol	<b>0,0525<sup>1*</sup></b>					
Estron	0,096 <sup>1</sup>	0,19	0,25	<b>0,40*</b>	0,50	0,68
Estriol	<b>6,30E-3<sup>1*</sup></b>	2,40E-3	3,00E-3	3,50E-3	3,70E-3	6,31E-3

Im Zulauf der Kläranlagen 9, 10, 12 und 15 sind die gemessenen EEQ-Werte (YES-Test) signifikant höher als die aus den Steroidkonzentrationen berechneten EEQ-Werte (Abb. 6). Andere, ebenfalls endokrin wirkende Stoffe aus der Industrie und dem Gewerbe sind möglicherweise für diese Unterschiede verantwortlich.

Im Zulauf der Kläranlage 8 befanden sich höhere Steroidhormonkonzentrationen als in den Zuläufen der Kläranlagen 9–15 (Abb. 5). Die im YES-Test ermittelten Aktivitäten im Zulauf der Kläranlage 8 sind jedoch deutlich niedriger als die Zulaufwerte der Kläranlagen 9–15. Dies ist ein weiterer Hinweis darauf, dass bei den Kläranlagen 9–15 die estrogene Aktivität im Zulauf neben den Steroidhormonen in hohem Maße durch weitere endokrin wirksame Substanzen verursacht wird.

In den Abläufen der Kläranlagen 5–15 überschreiten in geringem Maße die im YES-Test gemessenen estrogenen Wirkungen die Wirkungen, die alleine durch die natürlichen Estrogene verursacht werden. Auch in diesen Abläufen wird die estrogene Aktivität möglicherweise durch andere endokrin wirkende Substanzen mitverursacht. Da die YES-Werte in diesem Konzentrationsbereich (0-5 ng/l) jedoch einer großen Schwankungsbreite unterliegen, kann in den Abläufen nicht von einem signifikanten Unterschied zwischen gemessener und aus den Steroidhormonen berechneter estrogenen Aktivität gesprochen werden.

In einigen Zuläufen (KA 1–8 und KA 14) und Abläufen (KA 1, 2 und 4) sind die aus den Steroidkonzentrationen berechneten EEQ-Werte höher als die YES-Testwerte (Abb. 6). Ursächlich für diese Unterschiede ist wahrscheinlich einerseits die Probenvorbereitung der Zulaufproben für den YES-Test, bei der durch die notwendige Absetzphase partikelgebundenen Estrogene abgetrennt wurden und somit nicht im YES-Test erfasst wurden. Andererseits muss aufgrund der bereits oben erwähnten Unsicherheit der Genauigkeit der verwendeten RP-Werte eine Ungenauigkeit der berechneten Werte bedacht werden.

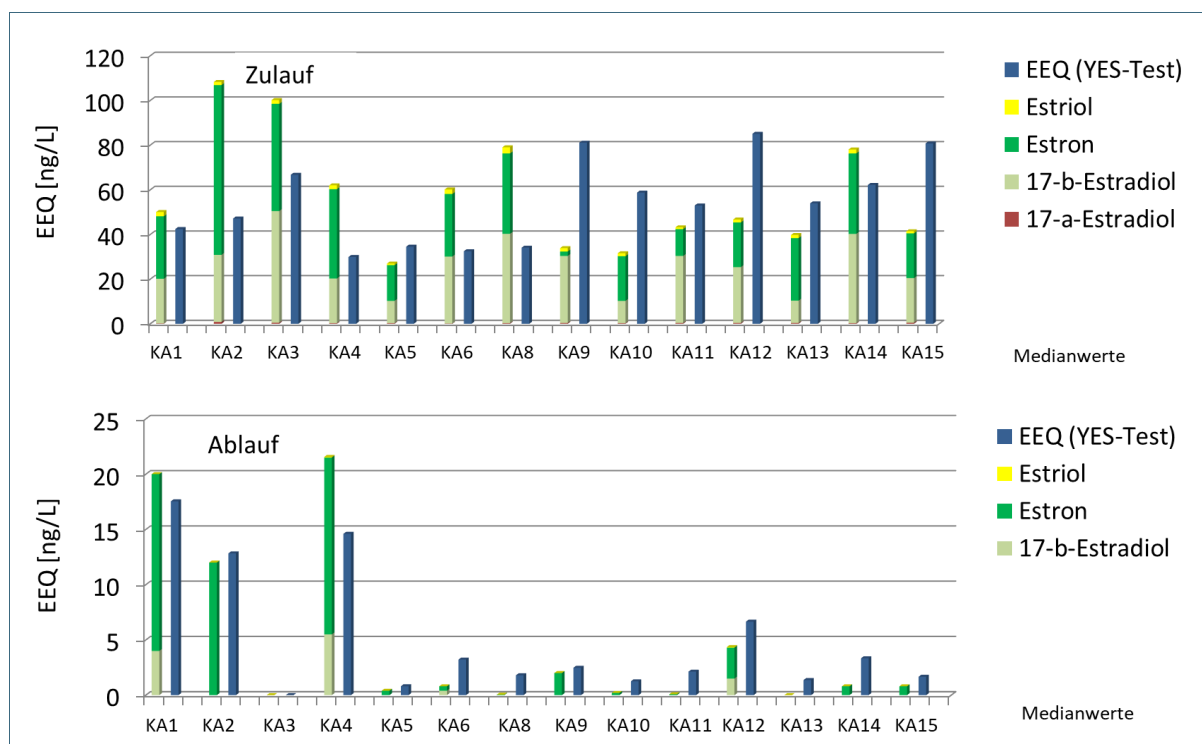


Abb. 6: Im YES-Test bestimmte Estradioläquivalente (EEQ) und die aus den Konzentrationen errechneten relativen estrogenen Aktivitäten (EEQ) der Estrogene 17- $\beta$ -Estradiol, 17- $\alpha$ -Estradiol, Estron und Estriol im Zu- und Ablauf der 14 beprobten Kläranlagen (KA 1 – KA 14)

Xenoestrogene besitzen im Vergleich zu 17- $\beta$ -Estradiol ein vielfach geringeres estrogenes Potenzial. Im Zulauf der Kläranlage 9 verursachen beispielsweise die im GC-MS-Screening bestimmten endokrinen Substanzen Bisphenol A, 4t-Octylphenol, 4-Nonylphenol und DEHP zusammen eine berechnete endokrine Wirkung von nur 1,6 ng/l EEQ (Relative estrogenische Potenziale aus Jarosova et al., 2014). Diese Substanzen können somit einzeln betrachtet keinen signifikanten Effekt auf die estrogenen Gesamtwirkung im Zulauf ausüben. Es ist jedoch möglich, dass Hormone und/oder hormonell wirksame Industriechemikalien sich in ihrer Wirkung verstärken können (Sumpter et al. 1995). Deshalb könnten Stoffgemische eine signifikante Wirkung entfalten, auch wenn die Konzentrationen der Einzelsubstanzen unterhalb der einzelnen Wirkschwellen liegen (Brian et al. 2005). Zudem muss beachtet werden, dass im GC-MS-Screening nur ein Bruchteil der im Abwasser möglicherweise vorhandenen endokrinen Substanzen quantifiziert wurde.

### Steroidhormone und estrogenen Aktivität im Vorfluter

Um die Situation in den Vorflutern bewerten zu können, wurden die erwarteten Umweltkonzentrationen aus den Konzentrationen in den Kläranlagenabläufen (7-Tage-Mittelwert) und den Wassermengen in den Vorflutern berechnet. Die Abbildungen 7 bis 9 stellen die resultierenden Konzentrationen der zwei im Kläranlagenablauf vorherrschenden Steroidhormone 17- $\beta$ -Estradiol (E2) und Estron (E1) sowie die estrogenen Aktivität EEQ (aus dem YES-Test) bei mittleren Abflussverhältnissen, dem  $Q_{50}$ , im Vorfluter dar. Die  $Q_{50}$ -Werte wurden dem Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch 2006 entnommen.

Die Konzentrationen an 17- $\beta$ -Estradiol und Estron liegen an allen untersuchten Standorten im Probenahmezeitraum wie auch bei  $Q_{50}$  (siehe Abb. 7 und 8) unterhalb der vom Ökotoxzentrum der schweizerischen EAWAG vorgeschlagenen Qualitätskriterium von 0,4 ng/L für 17- $\beta$ -Estradiol und 3,6 ng/L für

Estron. Bei mittlerem Niedrigwasserabfluss (MNQ) jedoch reicht der maximale Wert für die Konzentration an 17- $\beta$ -Estradiol im Vorfluter der Kläranlage 4 mit 0,34 ng/l bereits sehr nahe an den vorgeschlagenen Wert für 17- $\beta$ -Estradiol von 0,4 ng/l heran (nicht dargestellt).

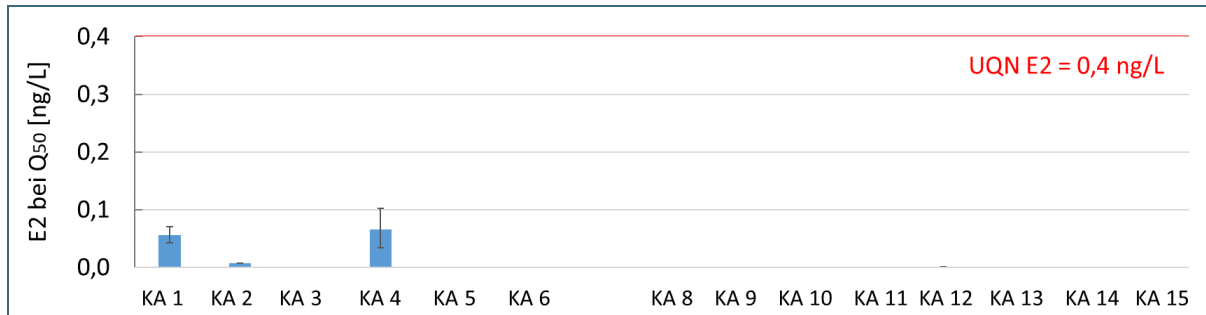


Abb. 7: Berechnete Konzentrationen an 17- $\beta$ -Estradiol (E2) in den Vorflutern bei mittleren Abflussverhältnissen ( $Q_{50}$ ). Die Schwankungsbreiten zeigen die Minimal- und Maximalwerte an.

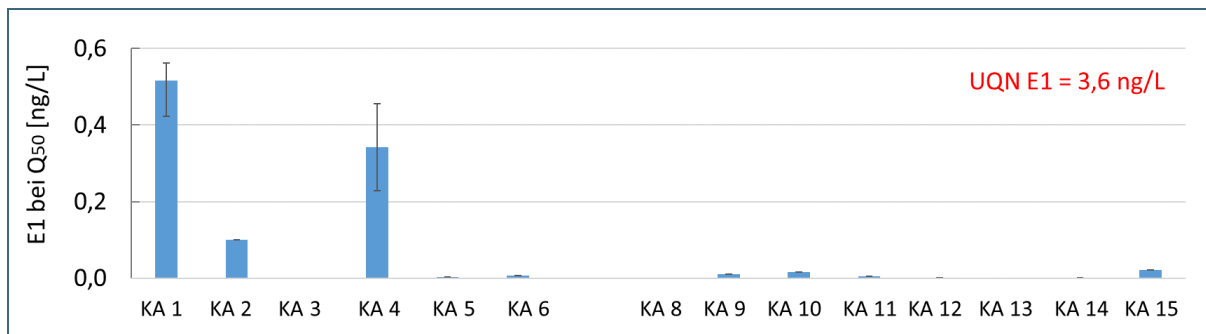


Abb. 8: Berechnete Konzentrationen an Estron (E1) in den Vorflutern bei mittlerem Abflussverhältnissen ( $Q_{50}$ ). Die Schwankungsbreiten zeigen die Minimal- und Maximalwerte an.

Für die estrogene Aktivität (EEQ) existiert bisher kein Richtwert für Gewässer. Abbildung 9 stellt die durch die Kläranlageneinleitungen erzeugten estrogenen Aktivitäten im Gewässer bei  $Q_{50}$  dar. In den Vorflutern der Kläranlagen 1 und 4 reicht die estrogene Aktivität nahe an die Wirkung heran, die durch die von der EAWAG vorgeschlagenen Umweltkonzentrationen von E2 und E1 im Gewässer ausgelöst werden würde. Bei mittlerem Niedrigwasserabfluss können die estrogenen Aktivitäten in den Vorflutern 1 und 4 diese Wirkungsschwellen überschreiten (nicht dargestellt).

(Erklärung zur Umrechnung der Konzentration in estrogene Aktivität: Das vorgeschlagene Qualitätskriterium von 17- $\beta$ -Estradiol (E2) von 0,4 ng/l entspricht einer estrogenen Wirkung im Gewässer von 0,4 ng/l EEQ. Das Qualitätskriterium von Estron (E1) von 3,6 ng/l löst aufgrund des geringeren estrogenen Potenzials (RP) von E1 eine estrogene Wirkung von 0,35 ng/l EEQ im Vorfluter aus.)

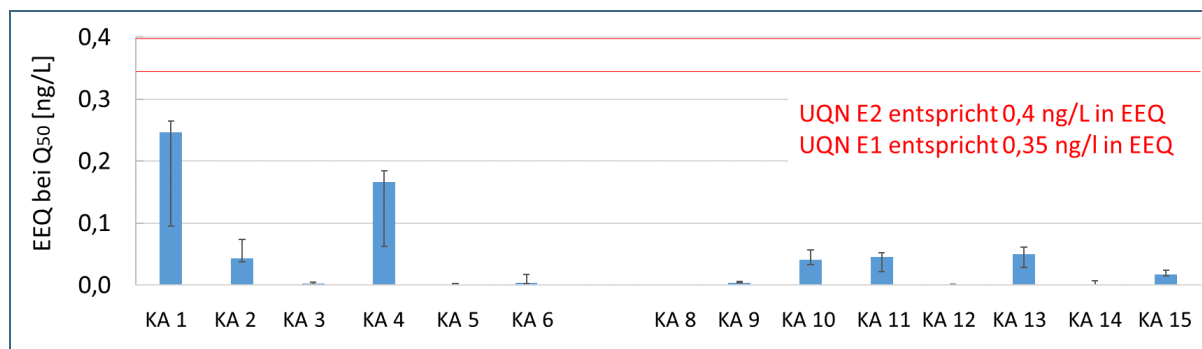


Abb. 9: Berechnete estrogene Aktivität (EEQ in ng/l) in den Vorflutern bei mittlerem Abflussverhältnissen ( $Q_{50}$ ). Die Schwankungsbreiten zeigen die Minimal- und Maximalwerte an.

## Xenoestrogene

In der Abbildung 10 sind die Konzentrationen der im GC-MS-Screening quantifizierten Xenoestrogene in den Zu- und Abläufen der Kläranlagen grafisch dargestellt.

Trotz ihrer im Vergleich zum 17- $\beta$ -Estradiol geringen estrogenen Potenziale tragen die Xenoestrogene mit zur estrogenen Aktivität in den Kläranlagenzu- und -abläufen bei. Im Zulauf der Kläranlage 9 verursachen beispielsweise die im GC-MS-Screening bestimmten endokrinen Substanzen Bisphenol A, 4t-Octylphenol, 4-Nonylphenol und DEHP zusammen eine berechnete endokrine Wirkung von 1,6 ng/l EEQ. Das entspricht einem Anteil von 1,9 % zur estrogenen Gesamtaktivität. Sie können sich jedoch in ihrer Wirkung aufsummieren oder verstärken (Thorpe et al. 2003). Neben den im GC-MS-Screening erfassten Xenoestrogenen existieren noch eine Vielzahl weiterer endokrin wirksamer Substanzen, wie beispielsweise Parabene, Siloxane und Phytoestrogene. Bei den 2018 beprobten Kläranlagen (KA 8–15) wurden zusätzlich die Phthalat-Weichmacher quantifiziert. Diese sind in der Abbildung 10 ebenfalls mit dargestellt.

In Tabelle 5 sind die durchschnittlichen Eliminationsraten als Medianwerte sowie die minimalen und maximalen Eliminationsraten der Xenoestrogene der vierzehn Kläranlagen zusammengestellt.

Tab. 5: Eliminationsraten der Xenoestrogene der vierzehn Kläranlagen, Medianwerte, Maximalwerte und Minimalwert in Prozent.

Xenoestrogen	Median [%]	Maximum [%]	Minimum [%]
DIETHYLPHTHALAT (DEP)	97,2	98,9	14,7
DI-(2-ETHYLHEXYL)-PHTHALAT (DEHP)	96,3	98,4	62,8
DI-i-NONYLPHTHALATE (DiNP)	99,6	99,9	98,2
BISPHENOL A	94,3	99,4	60,9
4t-OCTYLPHENOL	76,0	99,2	55,5
4-NONYLPHENOLE	90,2	95,7	13,9
OCTOCRYLEN	98,6	99,8	80,8
BENZOPHENON	88,7	99,1	71,8
BUTYLHYDROXYANISOL (BHA)	53,7	66,6	0,0

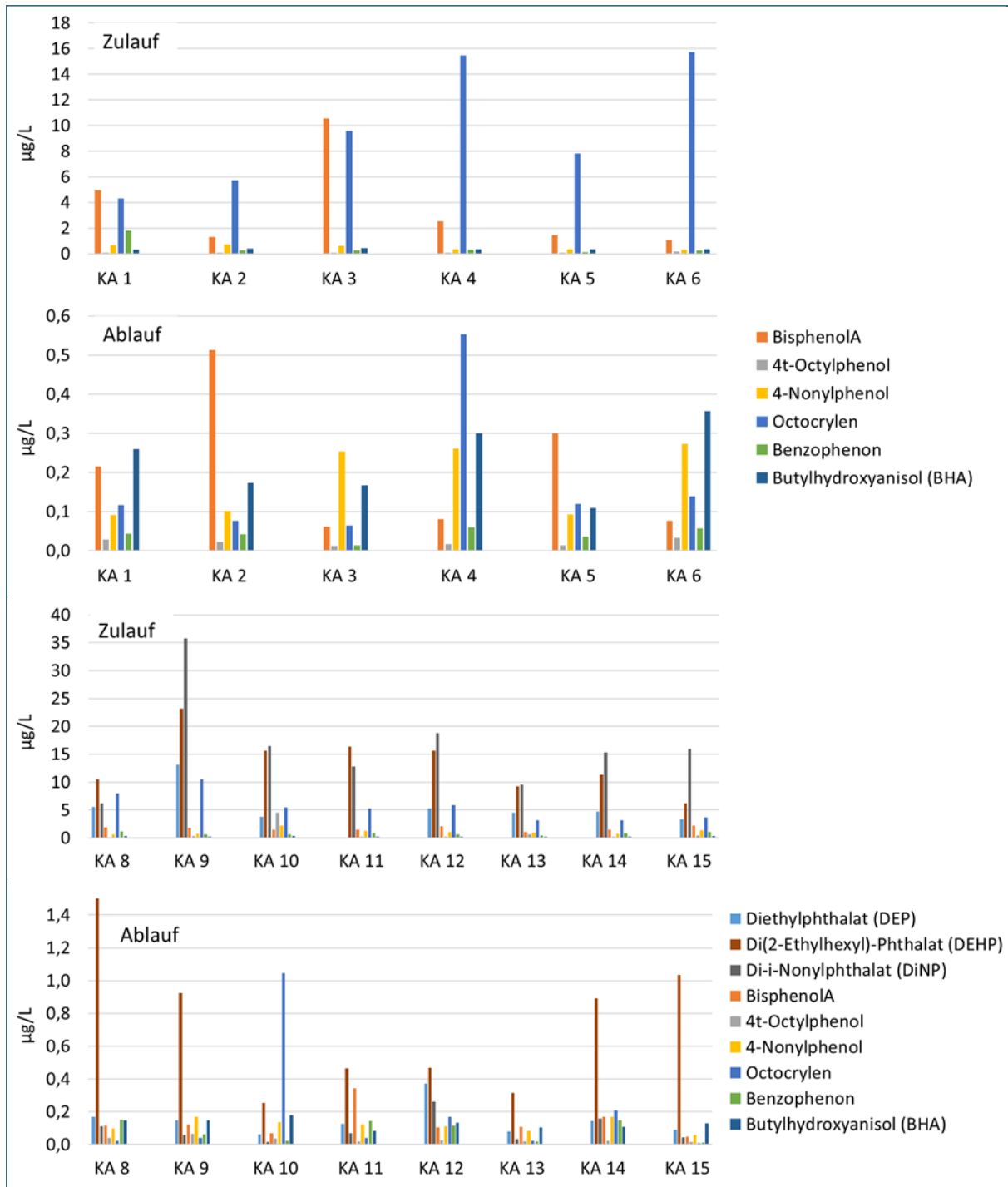


Abb. 10: Konzentrationen der im GC-MS-Screening gemessenen Xenoestrogene in den Zu- und Abläufen der Kläranlagen (KA 1 bis 14)



### 3.1.4 Desinfektionsmittel, Antibiotika und Industriechemikalien

Um mögliche Ursachen hoher Emissionen estrogener Aktivität aus Kläranlagen zu identifizieren, die durch Chemikalien verursacht sein können, wurden die Zu- und Abläufe der Kläranlagen mittels eines GC-MS-Screenings auf mögliche hemmende Substanzen untersucht. Im Rahmen der Risikobewertung für die Chemikalienzulassung unter REACH wird unter anderem auch eine PNEC für die Mikroorganismen in Kläranlagen abgeleitet<sup>4</sup>. Substanzen, die im Kläranlagenzulauf in Konzentrationen oberhalb dieses PNEC-Wertes für Kläranlagen auftraten, sowie Substanzen die aufgrund ihrer hohen Konzentration im Zulauf und ihrer Stoffeigenschaften möglicherweise die Prozesse in der Kläranlage negativ beeinflussen können, wurden in den Laborkläranlagen auf ihren Einfluss auf die Abbauleistung estrogener Aktivität und die Veränderung des Mikrobioms hin untersucht (siehe Kapitel 3.2).

#### **N,N-Dimethyl-tetradecanamin und N,N-Dimethyl-dodecanamin**

Hohe Konzentrationen der Desinfektionsmittel N,N-Dimethyl-tetradecanamin und N,N-Dimethyl-dodecanamin wurden im Zulauf der Kläranlage 4, die eine hohe estrogene Aktivität im Ablauf aufweist, gefunden. Die Konzentrationen überschritten deutlich die von der ECHA angegebene PNEC<sub>KA</sub> für Kläranlagen von jeweils 130 µg/L<sup>4</sup>. Neben der Kläranlage 4 wies ebenfalls die Kläranlage 15 vergleichbar hohe Zulaufkonzentrationen auf. Mögliche Ursachen für die hohen Desinfektionsmittelkonzentrationen im Zulauf sind die hohe Klinik- und Pflegeheimdichte im Einzugsgebiet der Kläranlage 4, die Verwendung von Desinfektionsmitteln in eine große Hähnchenschlachtereierei im Einzugsgebiet der Kläranlage 15 sowie die Behandlung der Abwässer mobiler Toiletten (Dixi-Klos) eines Musikfestivals (bei KA 15).

In Laborkläranlagenuntersuchungen wurde kein signifikanter Einfluss der Desinfektionsmittel auf die Eliminationsleistung hinsichtlich estrogener Aktivität und die Dominanz von Chryseobakterien festgestellt (siehe Kapitel 3.1.5 und 3.2).

---

<sup>4</sup> [https://echa.europa.eu/documents/10162/13632/information\\_requirements\\_r10\\_en.pdf](https://echa.europa.eu/documents/10162/13632/information_requirements_r10_en.pdf)

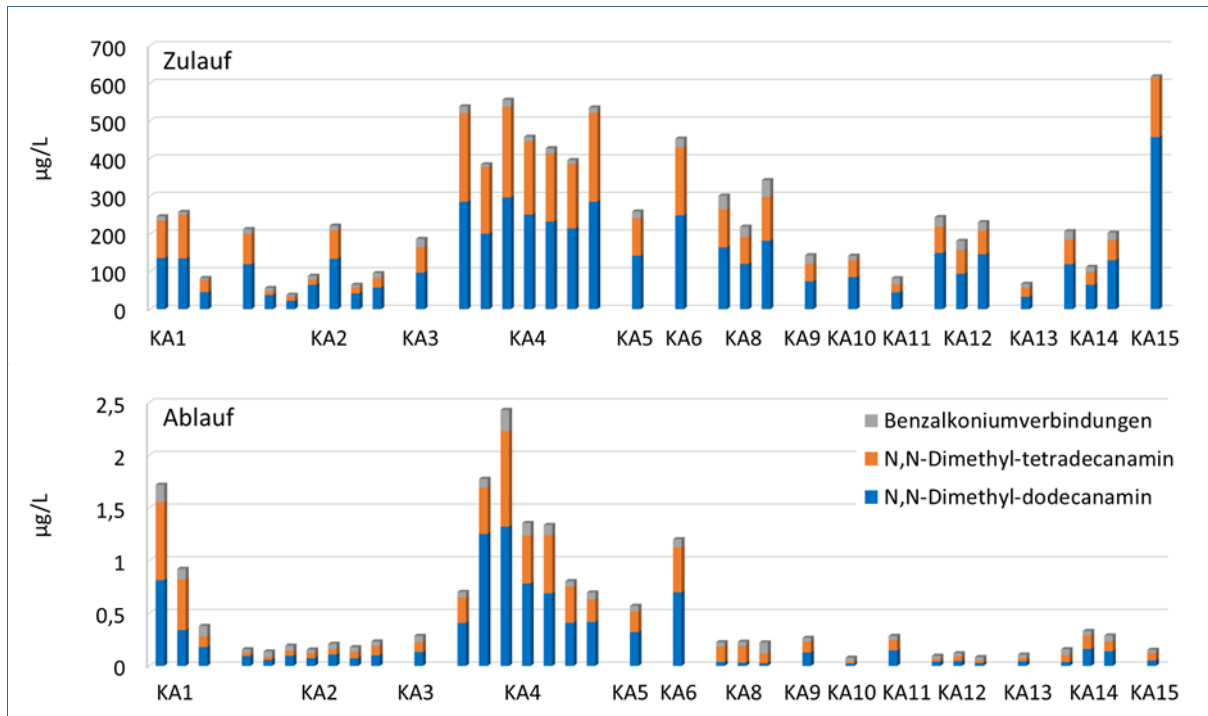


Abb. 11: Desinfektionsmittelkonzentrationen in den Zu- und Abläufen der 14 Kläranlagen (KA 1 bis 15), Eliminationsleistung der drei Desinfektionsmittel: 99,8 % (Median), 99,2 % (Minimum), 99,9 % (Maximum)

### Sulfamethoxazol

Die Zuläufe der Kläranlagen 4 und 15 wiesen hohe Konzentrationen des Antibiotikums Sulfamethoxazol auf. In Laborkläranlagen wurde ein verstärktes Wachstum von Chryseobakterien im Belebtschlamm in Gegenwart von Sulfamethoxazol festgestellt (siehe Kapitel 3.2).

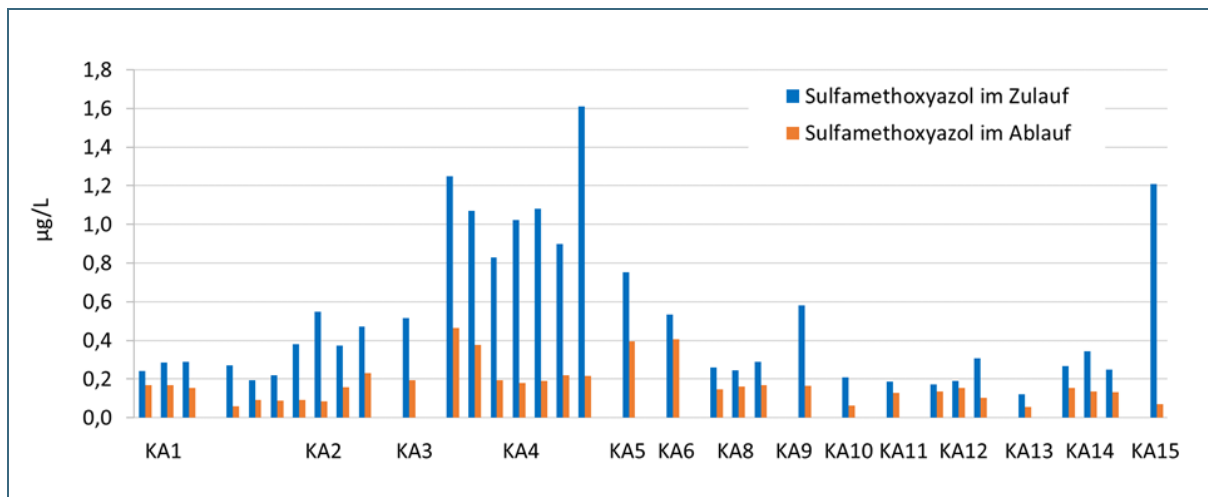


Abb. 12: Konzentrationen des Antibiotikums Sulfamethoxyazol in den Zu- und Abläufen der 14 beprobten Kläranlagen (KA 1 bis 15), Eliminationsleistung: 58,9 % (Median), 94,1 % (Maximum), 18,9 % (Minimum)

## 1-Dodecanol

Bei den Kläranlagen 2 und 15 lagen die Zulaufkonzentrationen von 1-Dodecanol weit über der  $PNEC_{KA}$  für Kläranlagen von 21  $\mu\text{g/L}$ . In Laborkläranlagenuntersuchungen konnte jedoch kein hemmender Einfluss des 1-Dodecanols auf die Eliminationsleistung estrogener Aktivität nachgewiesen werden.

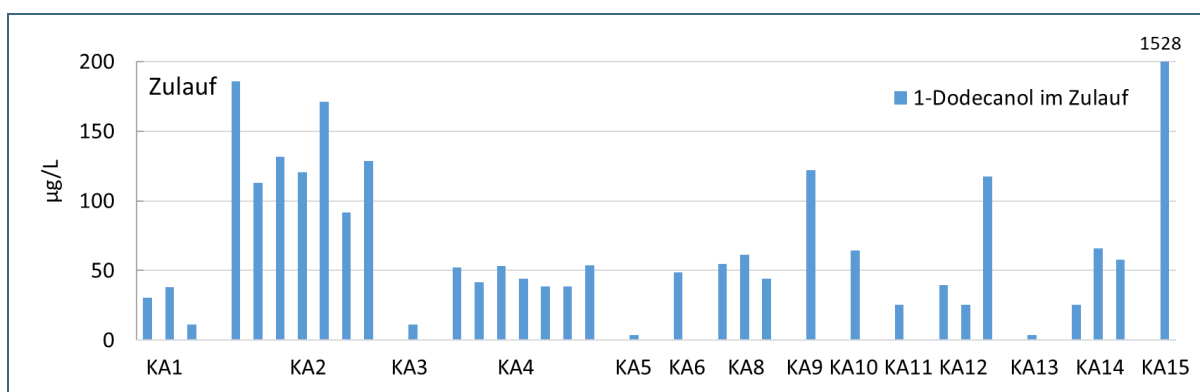


Abb. 13: Konzentrationen des 1-Dodecanols in den Zu- und Abläufen der 14 Kläranlagen (KA 1 bis 15), Eliminationsleistung: 99,8 % (Median), 99,9% (Maximum), 98,8 % (Minimum)

## Propylenglycole

Das Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Universität Stuttgart (ISWA) wies daraufhin, dass die Kläranlage 2, die eine hohe estrogene Aktivität im Ablauf aufweist, möglicherweise ein Problem mit Glykol-Derivaten (Propylenglycol-ethoxylat-ethern) hat, die nur bedingt abbaubar sind. Zu erwarten ist, dass die Elimination der Propylenglycole hauptsächlich über den Schlammweg abläuft. Mögliche Effekte der Substanzen sind, dass sie als Emulgatoren wirken und den Sauerstoffeintrag verringern. Es wurden im GC-MS-Screening fünf Glykolderivate quantifiziert, vier konnten einem eindeutigen Molekulargewicht zugeordnet werden.

Neben der Kläranlage 2 mit sehr hohen EEQ-Ablaufwerten wiesen die im darauffolgenden Jahr 2018 beprobten Kläranlagen 11 und 15 ebenfalls sehr hohe Konzentrationen dieser Substanzen auf. Die Kläranlagen 11 und 15 zeigten im Gegensatz zur Kläranlage 2 jedoch geringe EEQ-Ablaufwerte. In Laborkläranlagenuntersuchungen im Frühjahr 2018 konnte kein negativer Effekt auf die Eliminationsleistung estrogener Aktivität festgestellt werden.

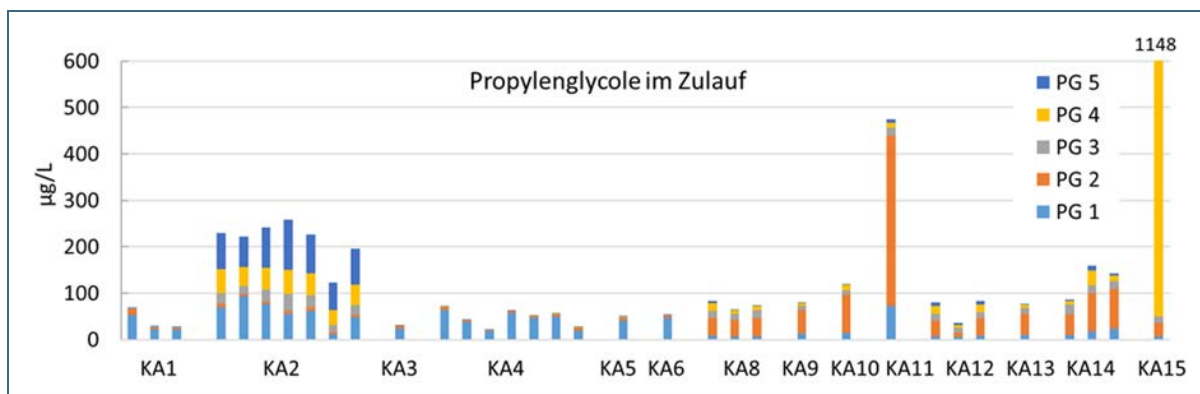


Abb. 14: Konzentrationen unterschiedlicher Propylenglycole in den Zu- und Abläufen der 14 Kläranlagen (KA 1 bis 15)

### 3.1.5 Biologische Abbauprozesse und Mikrobiome

Neben chemischen Substanzen im Kläranlagenzulauf wurde ebenfalls die biologischen Abbauprozesse in den Belebungsbecken und Tropfkörpern untersucht. Diese Prozesse sind möglicherweise für hohe Emissionen estrogen wirksamer Substanzen mitverantwortlich. Neben Nitrifikationsraten wurden mikroskopische Bilder und Mikrobiomanalysen der Belebtschlämme und Tropfkörperbiofilme erstellt.

Es wird in der Literatur berichtet (Roh et al., 2010; Hashimoto et al, 2010; Yu et al., 2013 und Chen et al., 2018), dass estrogenabbauende Bakterienarten in den nitrifizierenden Gattungen *Nitrospira*, *Nitrosomonas* und *Sphingomonas* auftreten. Zwischen den Nitrifikationsraten der Belebtschlämme und den Abbauleistungen estrogen Aktivität der vierzehn Kläranlagen zeigte sich kein eindeutiger Zusammenhang. Für den Abbau der Estrogene sind damit vermutlich nicht nur nitrifizierende Bakterien verantwortlich. Vielmehr dürfte es sich um einen co-metabolischen Abbau durch nitrifizierende und heterotrophe Bakterien handeln (Song et al., 2017). Auch die Ergebnisse der mikroskopischen Bilder lassen keine eindeutigen Rückschlüsse zu.

#### Mikrobiomanalyse

Im Gegensatz dazu erwiesen sich die Mikrobiomanalysen als ein wertvolles Werkzeug, um die Kläranlagen hinsichtlich ihrer taxonomischen Biodiversität zu charakterisieren und zu bewerten. Die Mikrobiomanalysen identifizierten die Bakteriengattungen und einige der Bakterienarten, die die Belebtschlämme und Biofilme der Kläranlagen besiedeln. Sie ermöglichten einen Vergleich der Mikrobiome der 14 beprobten Kläranlagen.

Die Mikrobiomanalysen der Belebtschlämme und Tropfkörper offenbaren sehr individuelle Bakteriengemeinschaften in den 14 Kläranlagen. In Abbildung 16 sind die Ergebnisse der Mikrobiomanalysen der vierzehn Kläranlagen grafisch dargestellt. Jedes Bandenmuster repräsentiert die mikrobielle Vielfalt des Belebtschlamm bzw. des Tropfkörperbiofilms einer Kläranlage.

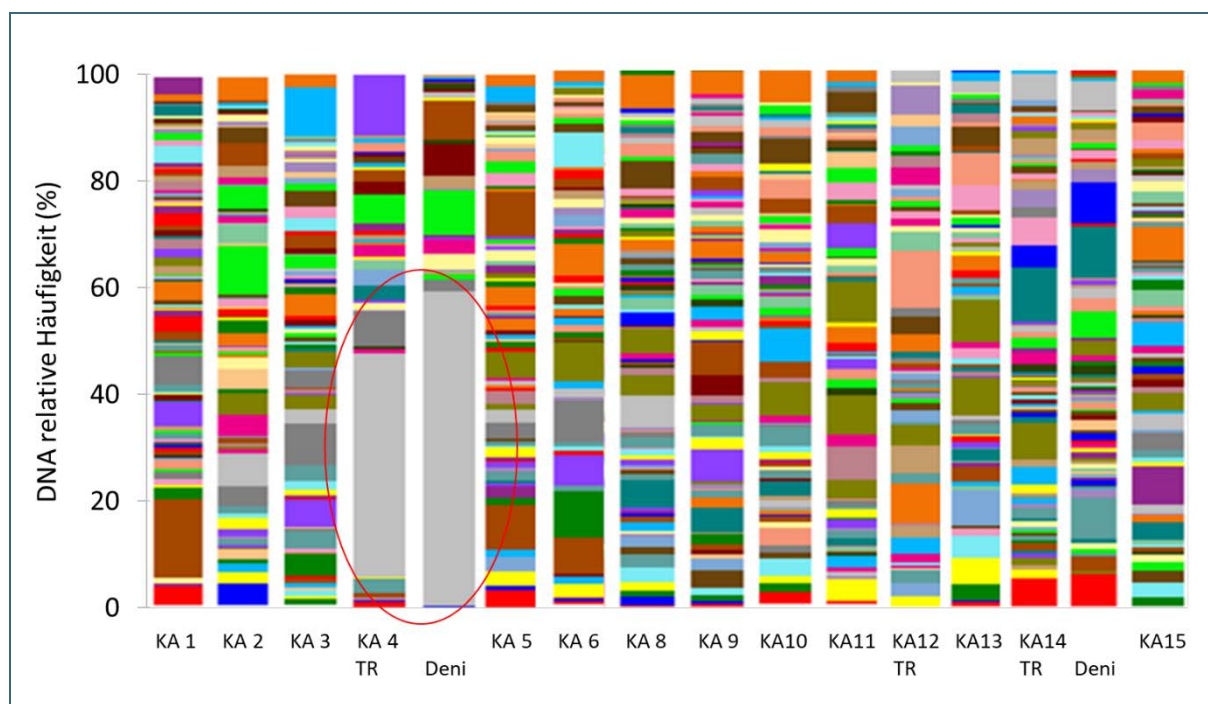


Abb. 15: Mikrobiomanalysen der Belebtschlämme bzw. Tropfkörperabläufe der 14 Kläranlagen im November/Dezember 2018. Dargestellt ist das Bandenmuster der verschiedenen Proben (KA 1 bis K 15); jede farbige Bande repräsentiert den prozentualen Anteil einer taxonomischen Einheit (Bakteriengattung).

TR = Ablauf Tropfkörper; Deni = Belebtschlamm aus der Denitrifikation; Rot markiert (KA 4): große hellgraue Banden repräsentieren den Anteile der Gattung *Chryseobacterium* (41,9 bzw. 58,7 %)

Mit einer Ausnahme wiesen alle Anlagen in den Proben vom November und Dezember 2018 eine hohe taxonomische Biodiversität auf. Es zeigt sich in den Bandenmustern kein offensichtlicher Zusammenhang zwischen den Mikrobiomen und den Eliminationsleistungen bezüglich Estrogene der Kläranlagen. Lediglich in der Tropfkörperanlage 4 dominierte eine Bakteriengattung, *Chryseobacterium*. Im Ablauf des Tropfkörpers (TR) lag der Anteil bei 41,9 % und im Belebtschlamm des Denitrifikationsbeckens bei 58,7 %. In wiederholten Mikrobiomanalysen im Juni 2019 (Abb. 17) wurden geringere Anteile der Gattung *Chryseobacterium* von 21,5 % (Belebtschlamm des Denitrifikationsbeckens) und 12,7 % (Ablauf Tropfkörper) identifiziert. In einer Biofimpobe, die direkt vom Tropfkörper entnommen wurde, lag der Anteil der Gattung *Chryseobacterium* bei 6,4 %. Im Februar und März 2020 (Abb. 17) lagen die Anteile der Gattung *Chryseobacterium* im Belebtschlamm des Denitrifikationsbeckens nur noch bei 14,9 % und 8,5 %. Im Tropfkörperbiofilm wurden im Februar 2020 nur 1,7 % identifiziert. Von November 2018 bis März 2020 sind somit die Anteile der Gattung *Chryseobacterium* in der Kläranlage 4 von einer starken Dominanz auf einen geringer dominanten Anteil gesunken. Allerdings waren alle Anteile der Gattung *Chryseobacterium* stets auffällig, da diese Gattung ansonsten nur in einer einzigen der untersuchten Kläranlagen nachgewiesen wurde (Kläranlage 15 mit einem Anteil von 1,6 %, Probenahme im November 2018). Da die Gattung *Chryseobacterium* kältetolerant ist (Halpern et al, 2008), kann man davon ausgehen, dass Schwankungen der Anteile auch saisonal bedingt sind. Effekte auf die Abbauleistung können im Zeitraum hoher Anteile der Gattung *Chryseobacterium* nicht ausgeschlossen werden.

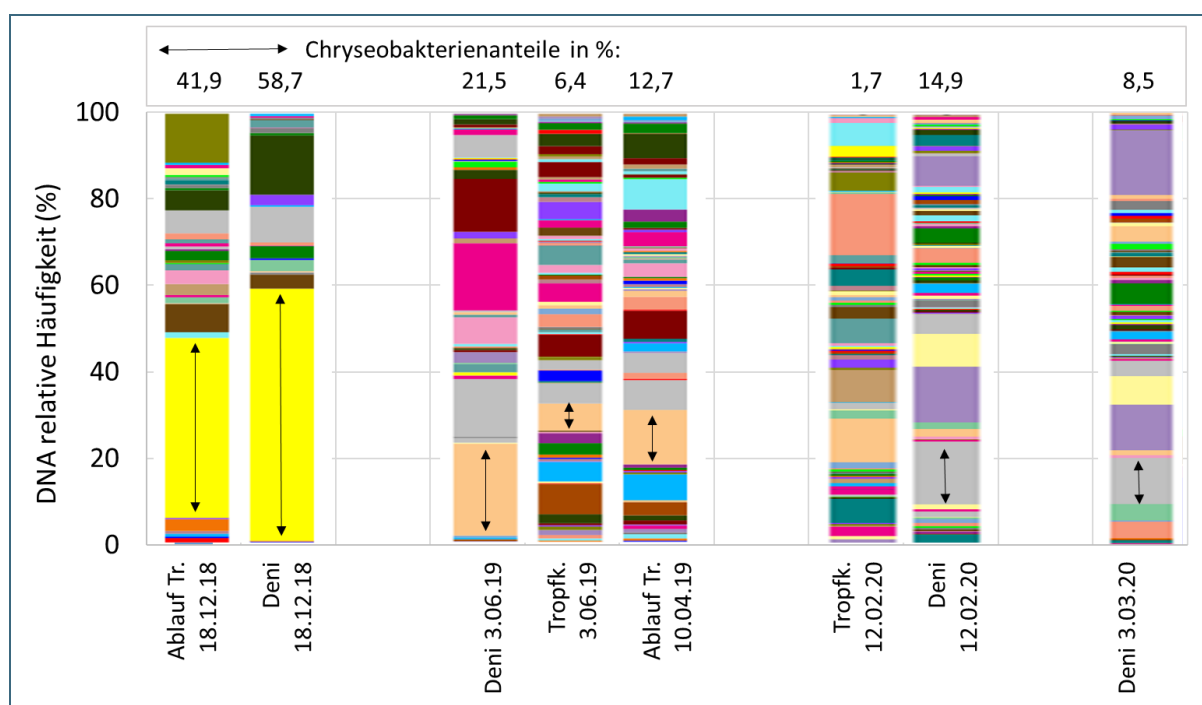


Abb. 16: Mikrobiomanalysen der Kläranlage 4 vom Ablauf Tropfkörper (Tr), Belebtschlamm des Denitrifikationsbeckens (Deni) und Tropfkörperbiofilm von Dezember 2018 bis März 2020

In einer von drei Zulaufproben zur Tropfkörperanlage 4 konnte die Gattung *Chryseobacterium* nachgewiesen werden (zusätzliche Proben, nicht in Abb. 17 dargestellt). Es kann damit davon ausgegangen werden, dass immer wieder Bakterien der Gattung *Chryseobacterium* in die Kläranlage 4 gespült werden und die Bedingungen in der Kläranlage deren Wachstum begünstigen.

In den Kläranlagen 11 und 14, die wie die Kläranlage 4 ebenfalls Tropfkörperanlagen sind, wurden im Belebtschlamm und Tropfkörperbiofilm keine *Chryseobacterium* identifiziert. In den Zulaufproben der

Kläranlagen 12 und 14 wurden ebenfalls keine Chryseobakterien gefunden. Da im Rahmen des Projekts nur Mikrobiomanalysen von zwei Zulaufproben pro Kläranlage 11 und 14 möglich waren, kann nicht ausgeschlossen werden, dass an anderen Tagen Chryseobakterien in die Kläranlagen gelangen. Ob Tropfkörperanlagen im Vergleich zu Anlagen mit Belebungsbecken anfälliger für die Ausbildung von Chryseobakteriendominanzen sind, kann im Rahmen dieses Projekts nicht geklärt werden.

Chryseobakterien kommen ubiquitär in der Umwelt vor, in der Literatur werden jedoch hauptsächlich die pathogenen Arten dieser Gattung erwähnt. Die Kolonien der Chryseobakterien können, je nach Art, Farben von schwachem bis zu ausgeprägtem Gelb aufweisen, was an Flexirubin-ähnlichen Pigmenten liegt. Der Ablauf der Kläranlage 4 zeigte wiederholt (auch bei Probenahmen anderer Projekte) eine deutliche gelbliche Färbung, die mit hoher Plausibilität durch Chryseobakterien verursacht wurde.

Um die Leistung der einzelnen Belebtschlämme hinsichtlich ihres Abbaupotenzials für Estrogene zu charakterisieren, wurden aus der Vielfalt der in der Mikrobiomanalyse beschriebenen Bakterien die Klassen und Gattungen herausgefiltert, die in der Literatur als Estrogene abbauend beschrieben werden. In der Literatur werden neben den Bakterienklassen der  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Proteobakterien (Song et al., 2017; Kurisu et al., 2015) hauptsächlich einzelne Arten der Gattungen Nitrospira, Nitrosomonas, Sphingomonas und Novosphingobium erwähnt (Roh et al., 2010; Hashimoto et al., 2010; Yu et al., 2013 und Chen et al., 2018). In den Abbildungen 18 und 19 sind die Anteile dieser Bakterienklassen und Bakteriengattungen, die im Belebtschlamm bzw. im Tropfkörperbiofilm den vierzehn beprobten Kläranlagen mit Hilfe der Mikrobiomanalyse nachgewiesen wurden, vergleichend zusammengestellt.

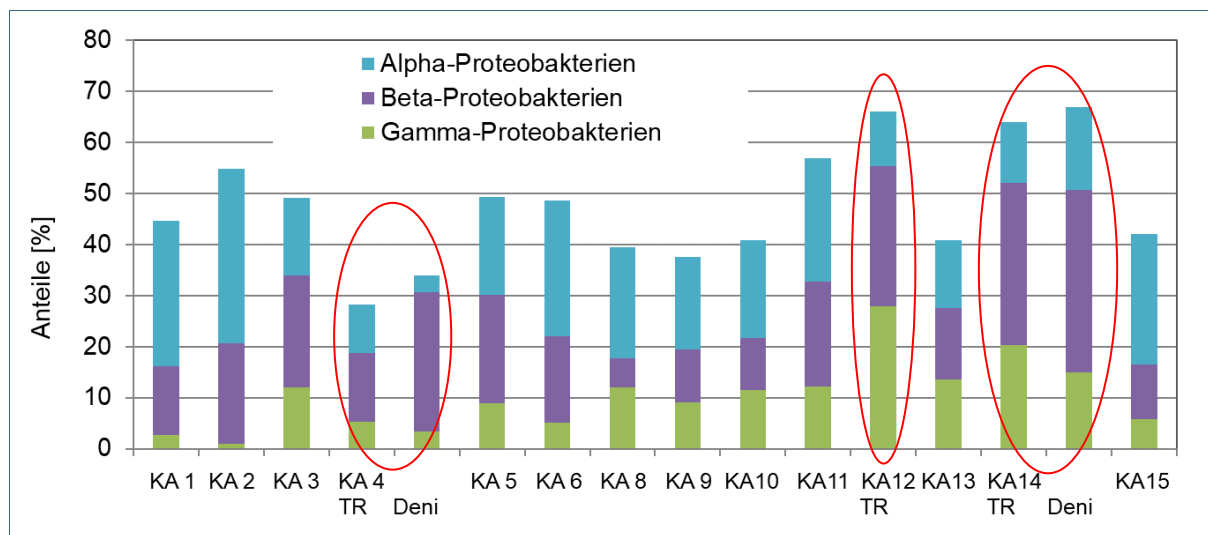


Abb. 17: Anteile der Bakterienklassen im Belebtschlamm des Belebungsbeckens, Tropfkörperablauf (TR) und Belebtschlamm des Denitrifikationsbeckens (Deni), die laut Literatur am Abbau der Estrogene beteiligt sind. Rot markiert: Tropfkörperablauf (TR) und Denitrifikationsbecken (Deni) der Kläranlagen 4, 12 und 14 (Proben vom November/Dezember 2018)

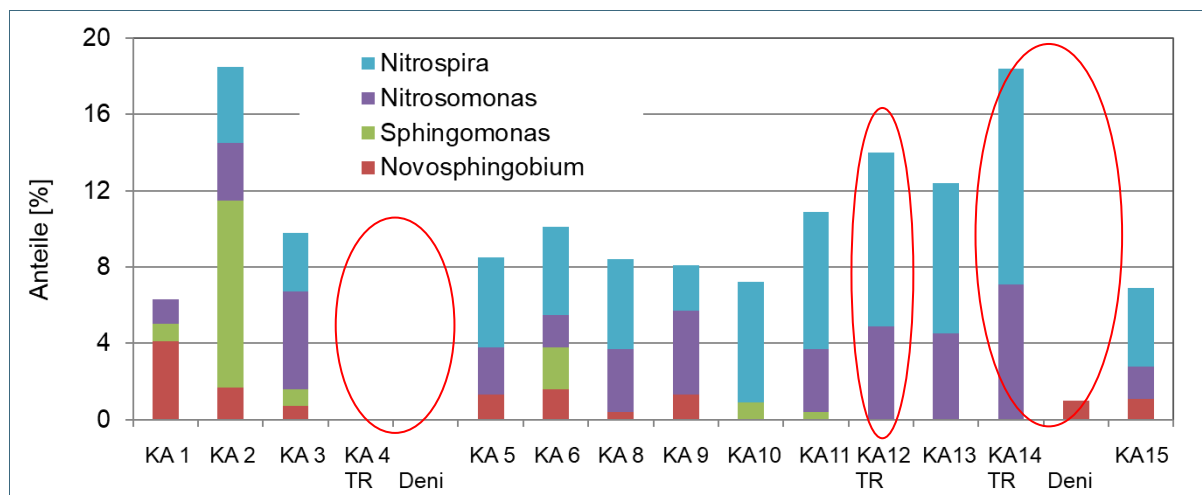


Abb. 18: Anteile der Bakteriengattungen im Belebtschlamm des Belebungsbeckens, Tropfkörperablauf (TR) und Belebtschlamm des Denitrifikationsbeckens (Deni), von denen einzelne Arten in der Literatur als Estrogene abbauend beschrieben werden. Rot markiert: Tropfkörperablauf (TR) und Denitrifikationsbecken (Deni) der Kläranlagen 4, 12 und 14 (Proben vom November/Dezember 2018)

Ein Vergleich der Anteile an  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Proteobakterien aller vierzehn Kläranlagen zeigt, dass die Tropfkörperanlage 4, die sehr hohe estrogene Aktivitäten im Ablauf aufwies, die geringsten Anteile der o. g. Proteobakterien im Tropfkörper wie auch im Denitrifikationsbecken aufweist. Die mit der Kläranlage 4 verfahrenstechnisch vergleichbare Tropfkörperanlage 14 besitzt hingegen einen sehr großen Anteil der relevanten Bakterienklassen. Im Gegensatz zu den Tropfkörperanlagen 12 und 14 fehlen in der Tropfkörperanlage 4 in den Proben von Mitte Dezember 2018 die relevanten Gattungen *Nitrospira*, *Nitrosomonas*, *Sphingomonas* und *Novosphingobium* ganz. Wiederholte Mikrobiomanalysen mit Proben vom April und Juni 2019 identifizierten geringe Anteile an *Nitrospira* (2 %) und *Nitrosomonas* (3 %) im Tropfkörperablauf. Im Denitrifikationsbecken wurden jedoch im Juni 2019 wie auch im Februar und März 2020 wieder keine der relevanten Estrogen abbauenden Arten nachgewiesen (nicht abgebildet). Da Tropfkörper und Denitrifikationsbecken der Kläranlage 4 zudem im Dezember 2018 als einzige Anlage sehr hohe Anteile einer einzigen Bakteriengattung – *Chryseobacterium* – aufwies, besteht der Verdacht, dass für diese Kläranlage die Biozönose für den schlechten Abbau der Estrogene mitverantwortlich war.

Die Kläranlage 2 mit ebenfalls stark erhöhter estrogener Aktivität in Ablauf besitzt hingegen einen hohen Anteil der für den Estrogenabbau relevanten Bakterienklassen und -arten. Bei dieser Anlage ist daher davon auszugehen, dass nicht die Biozönose für die schlechte Elimination estrogener Substanzen verantwortlich ist.

### 3.1.6 Verfahrenstechnische Einflussfaktoren

Die Korrelation der Ergebnisse zur estrogenen Aktivität der Kläranlagenbeprobungen mit den verfahrenstechnischen Bewertungen der Kläranlagen, die vom Ing.-Büro Dr. Schreff durchgeführt wurden (Schreff und Hilliges, 2019), ergab die folgenden vier maßgebliche Faktoren, die sich auf die Höhe der estrogenen Aktivität im Ablauf von Kläranlagen auswirken:

- Kurze hydraulische Aufenthaltszeit (z. B. bei Tropfkörperanlagen)
- Spezifisches Beckenvolumen (l/EW)
- Gesamtschlammalter und aerobes Schlammalter
- Membran- und Sandfiltration

Alle drei im Projekt beprobten **Tropfkörperanlagen** (KA 4, 12 und 14) zeigten erhöhte bis stark erhöhte estrogene Aktivitäten im Ablauf. Die mehrstufige Tropfkörperanlage 4 mit Hochlastbelebung wies in allen sieben Tagesmischproben hohe estrogene Aktivitäten auf, der höchste EEQ-Ablaufwert lag bei 17 ng/l EEQ. Die ebenfalls mehrstufige Tropfkörperanlage 14, die verfahrenstechnisch mit der Kläranlage 4 direkt vergleichbar ist, wies zwei sehr stark erhöhte Ablaufproben auf, die anderen fünf Tagesmischproben waren leicht erhöht. Die Tropfkörperanlage 12, bei der die Nitrifikation wie auch die Denitrifikation in Tropfkörpern ablaufen, fiel in allen sieben Tagesablaufproben durch erhöhte estrogene Aktivität auf.

Das **spezifische Volumen des Belebungsbeckens** in (l/EW) bestimmt im Wesentlichen die Aufenthaltszeit und das Schlammalter. Diese beiden Faktoren bestimmen wiederum offenbar maßgeblich die Fähigkeit, die für die estrogene Wirkung verantwortlichen Verbindungen zu eliminieren und zwar weitgehend unabhängig von ihrer Zulaufkonzentration.

Beim spezifischen Belebungsbeckenvolumen handelt sich um einen Rechenwert basierend auf der Ausbaugröße bzw. auf der IST-Belastung (50 %-Wert CSB-Fracht im Zulauf). Entsprechend der geringen Aufenthaltszeit in der Belebung der Anlagen 1 und 2 sind hier sehr geringe Beckenvolumen vorhanden. Bei den Tropfkörperanlagen 4 und 12 ist die Hochlastbelebung aufgrund des zu klein bemessenen Beckenvolumens als kritisch zu betrachten. Die Anlagen 3, 6, 8, 9, 10, 11 und 13 und 15 weisen hingegen große Beckenvolumina auf. In Abbildung 20 sind die Ablaufkonzentrationen (Medianwerte) estrogener Aktivität in Abhängigkeit des spezifischen Beckenvolumens dargestellt.

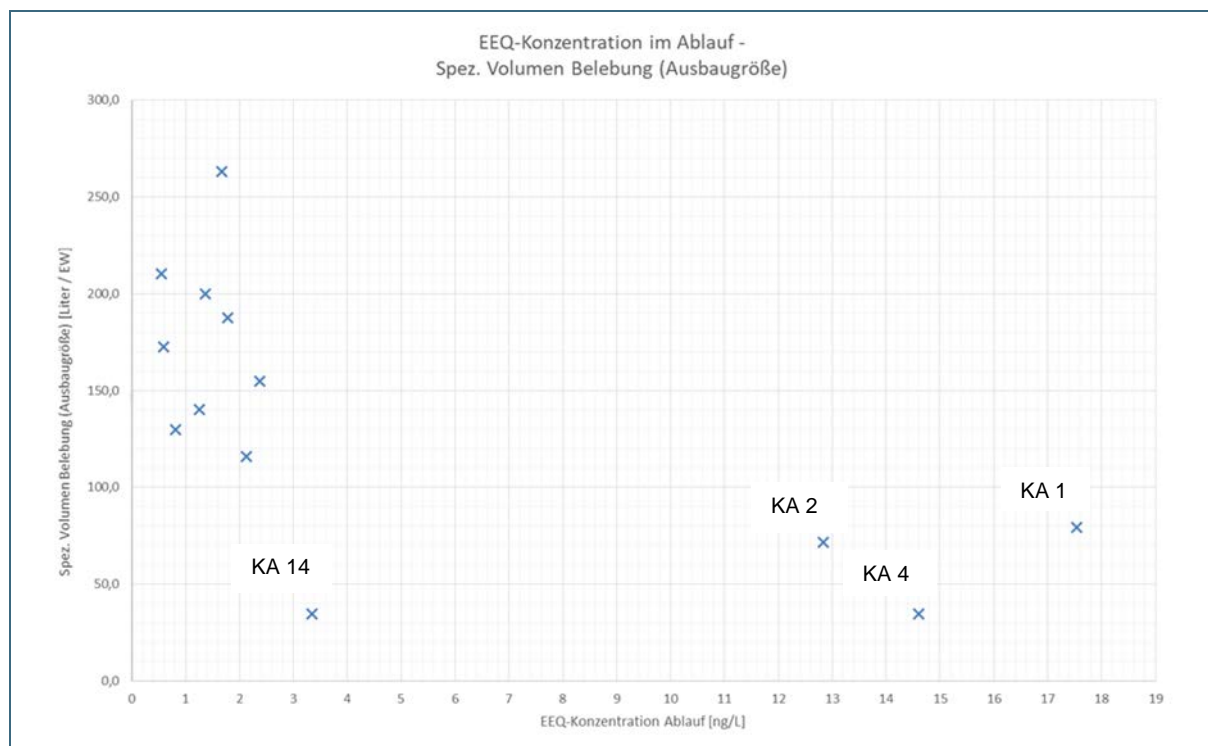


Abb. 19: Darstellung der EEQ-Konzentrationen im Ablauf der KA (Medianwerte) in Abhängigkeit des spezifischen Beckenvolumens (l/EW) auf Basis der Ausbaugröße, Quelle: Abschlussbericht, Ing.-Büro Dr. Schreff, 2019

Ein hohes **Gesamtschlammalter** und **aerobes Schlammalter** wirkt sich positiv auf die Eliminationsleistung estrogener Aktivität aus. Wie in Abbildung 21 ersichtlich, sinkt bei einem Gesamtschlammalter größer zehn Tagen die estrogene Aktivität im Kläranlagenablauf unter 2,5 ng/L EEQ.



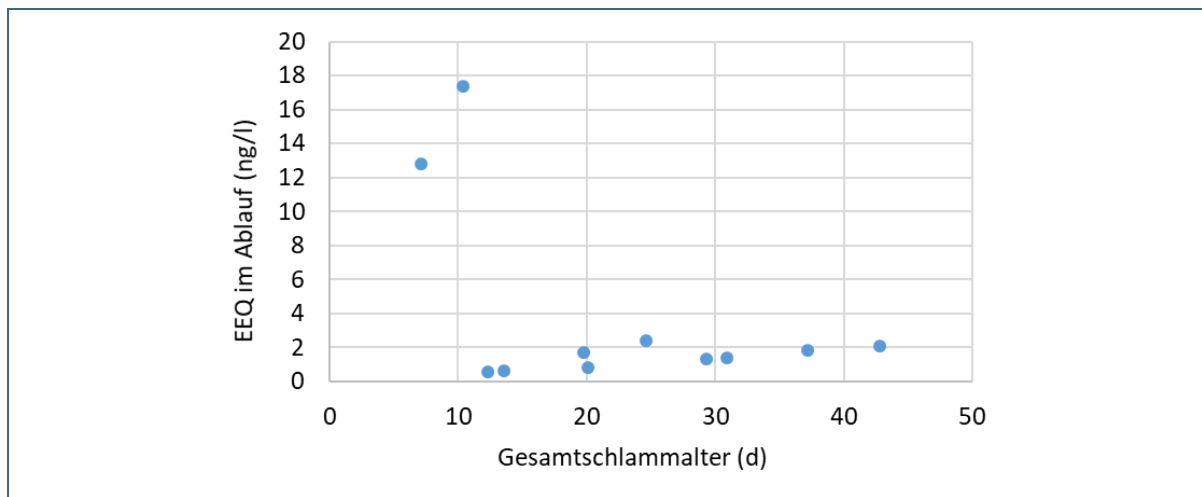


Abb. 20: Gesamtschlammalter der Belebungsanlagen (KA 1, 2, 3, 5-11, 13 und 15) aufgetragen gegen die estrogene Aktivität im Kläranlagenablauf

In Abbildung 22 ist das Gesamtschlammalter der Kläranlagen vergleichend dargestellt. Besonders Kläranlage 2 ist hier auffällig, da das aus den Betriebsdaten berechnete Gesamtschlammalter unterhalb des Bemessungsschlammalters der A-131-Berechnung liegt. Die Kläranlagen 8, 9, 10, 11 und 13 weisen jeweils sehr hohe Gesamtschlammalter im Betrieb, durch vergleichsweise geringe Auslastung und große Beckenvolumina, auf. Diese Anlagen wiesen auch hohe Eliminationsraten hinsichtlich der EEQ-Konzentrationen von über 95 % auf.

**Membranfiltration und Sandfilter** bewirkten eine sehr geringe estrogene Aktivität im Kläranlagenablauf. Die Kläranlage 10 besitzt eine Membranfiltration und die Kläranlagen 3 und 6 Sandfiltrationen. Diese Filtrationen erzeugen einen weitgehend feststofffreien Ablauf. Da davon auszugehen ist, dass gerade die Estrogene aufgrund ihrer lipophilen Eigenschaften größtenteils partikelassoziiert vorliegen, werden mit Hilfe dieser Filtrationstechniken die Schwebstoffe im Ablauf und damit auch die Estrogene herausgefiltert.

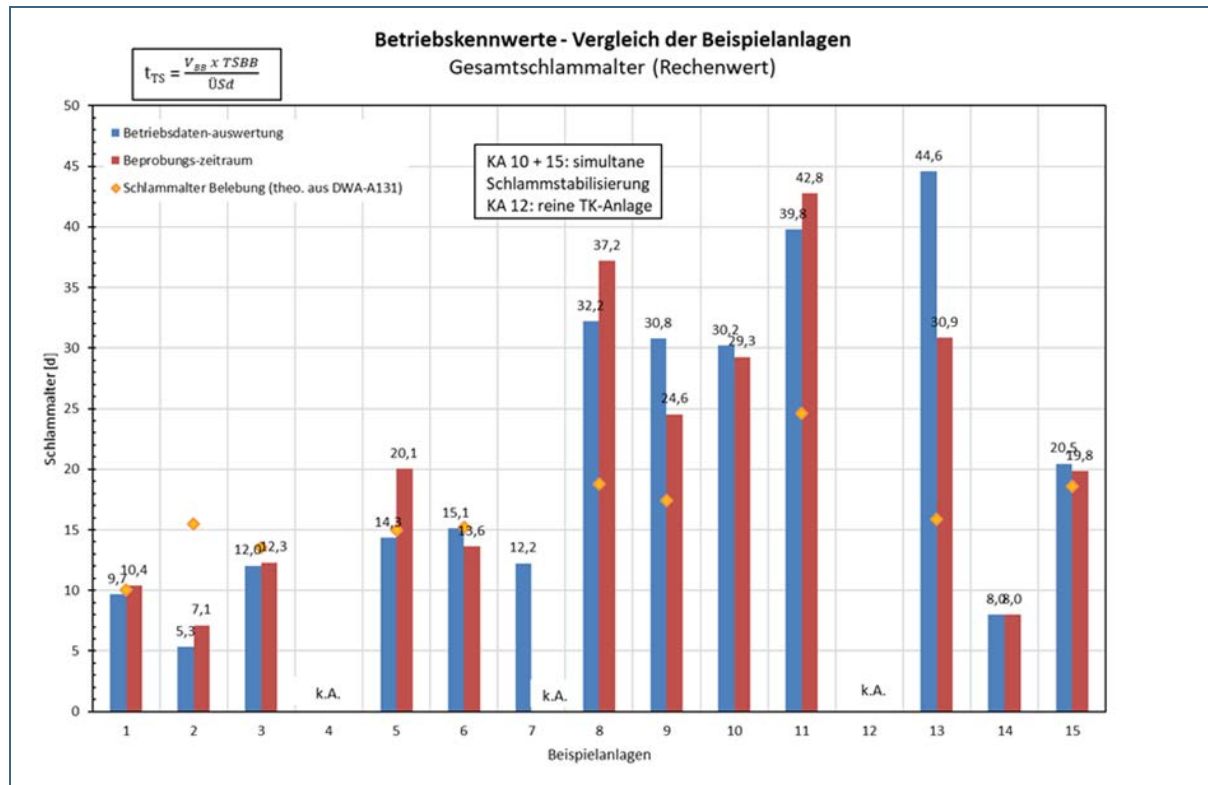


Abb. 21: Gesamtschlammalter der 15 Kläranlagen, Quelle: Abschlussbericht, Ing.-Büro Dr. Schreff, 2019

### 3.2 Laborkläranlagen

In Laborkläranlagen wurden die möglichen chemische und biologische Ursachen, die neben verfahrenstechnischen Aspekten für die schlechten Eliminationsleistungen der auffälligen Kläranlagen verantwortlich sein können, überprüft. Einerseits wurden chemische Substanzen, die im Zulauf der kommunalen Kläranlagen als potenziell störende Substanzen auffielen (siehe Kapitel 3.1.4, auf ihren negativen Effekt auf die Reinigungsleistung untersucht. Andererseits wurden die Abbauleistungen verschiedener Belebtschlämme vergleichend analysiert. Dazu wurden in den Laborkläranlagen Belebtschlämme von Kläranlagen in ihrer Abbauleistung verglichen, die in den Beprobungen sehr unterschiedlich hohe Emissionen estrogener Aktivität aufwiesen. Durch den Einsatz in den identisch aufgebauten LKA konnte der Faktor „Verfahrenstechnik“ als Einflussfaktor ausgeschlossen werden und alleine die Chemie im Zulauf beziehungsweise die Biologie des Belebtschlammes als Einflussfaktor untersucht werden. In einer weiteren Versuchsreihe wurde der Belebtschlamm der Kläranlage 4, der durch eine hohe Chryseobakteriendominanz auffiel, auf die Auswirkungen der veränderten Bedingungen einer LKA und unter dem Einfluss von Desinfektionsmitteln und einem Antibiotikum untersucht.

#### Auswirkung chemischer Substanzen im Kläranlagenzulauf

In den Laborkläranlagen wurden die Substanzen 1-Dodecanol, Di-(Propylenglycol)-methylether (als Isomergemisch), N,N-Dimethyl-tetradecanamin und N,N-Dimethyl-dodecanamin auf ihren Effekt auf die Abbauleistung der Laborkläranlagen überprüft. Die Chemikalien wurden einzeln, als Mix und bis zu der 10-fachen Konzentration eingesetzt, die im Zulauf der auffälligen Kläranlagen 2 und 4 im GC-MS-Screening gemessen wurden. Es konnte jedoch bei keiner der untersuchten Substanzen ein Effekt auf die Parameter CSB,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  und die estrogene Aktivität im Ablauf der Laborkläranlagen nachgewiesen werden.

### Einfluss der Mikrobiologie auf die Abbauleistung estrogener Aktivität

Um den Einfluss der Mikrobiologie des Belebtschlammes auf die Abbauleistung estrogener Aktivität in Kläranlagen zu untersuchen, wurde die Reinigungsleistung unterschiedliche Belebtschlämme, unabhängig von der individuellen Verfahrenstechnik der kommunalen Kläranlage, in den parallel laufenden identisch aufgebauten Laborkläranlagen verglichen. Es wurden dazu drei Belebtschlämme aus unterschiedlich gut Estrogene abbauenden Kläranlagen (KA 1, KA 2 und KA 5) in den Laborkläranlagen eingesetzt. Es wurden die Belebtschlämme zweier Kläranlagen mit schlechten EEQ-Ablaufwerten (KA 1 und 2) und der Belebtschlamm einer Kläranlage (KA 5) mit sehr guten EEQ-Ablaufwerten eingesetzt. Über den Zulauf der Laborkläranlagen wurde 100 ng/L 17- $\beta$ -Estradiol zugegeben.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass der Belebtschlamm aus der gut Estrogene abbauenden Kläranlage 5 tatsächlich auch in den Laborkläranlagen bessere EEQ-Ablaufwerte erzeugte als der Belebtschlamm der auffälligen Kläranlage 1 (siehe Abb. 23). Die bakterielle Zusammensetzung des Belebtschlammes der Kläranlage 5 war im Vergleich zu der der Kläranlage 1 besser dazu geeignet das zudosierte 17- $\beta$ -Estradiol abzubauen. Der Belebtschlamm der Kläranlage 2 verhielt sich in der Doppelbestimmung hingegen nicht eindeutig.

Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Ausbildung einer geeigneten Biozönose in einer Kläranlage ein wichtiger Faktor ist, der die Eliminationsleistung einer Kläranlage hinsichtlich der Estrogene mit beeinflusst.

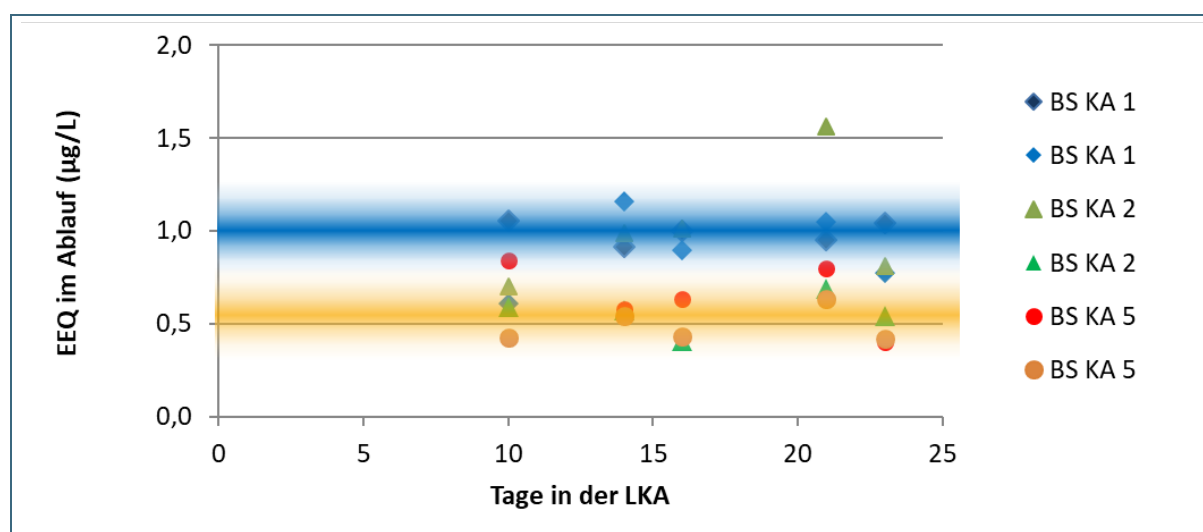


Abb. 22: Estrogene Aktivität EEQ im Ablauf der Laborkläranlagen, betrieben mit den Belebtschlammern der Kläranlagen 1, 2 und 5, jeweils Doppelbestimmungen

### Untersuchung möglicher Ursachen hoher Chryseobakterienanteile

Der Tropfkörperbiofilm und auch der Belebtschlamm des Denitrifikationsbeckens der Kläranlage 4 wiesen im Dezember 2018 sehr hohe Chryseobakteriendominanzen auf. Um mögliche Gründe für diese hohe Dominanz zu finden, wurde der Belebtschlamm der Hochlastbelebung der Kläranlage 4 in die Laborkläranlagen eingesetzt und die zeitlichen Veränderungen der Zusammensetzung des Mikrobioms unter unterschiedlichen Bedingungen untersucht.

Neben Temperatureffekten wurden der Einfluss der Desinfektionsmittel N,N-Dimethyl-tetradecanamin und N,N-Dimethyl-dodecanamin sowie der Einfluss des Antibiotikums Sulfamethoxazol auf das Wachstum der Chryseobakterien im Belebtschlamm untersucht. Diese Substanzen waren im Zulauf der Kläranlage 4 auffällig. Die Desinfektionsmittel N,N-Dimethyl-tetradecanamin und N,N-Dimethyl-

dodecanamin lagen im Zulauf der Kläranlage 4 weit über dem PNEC-Wert für Kläranlagen. Die Konzentration des Sulfamethoxazols lag im Zulauf der Kläranlage 4 mit bis zu 1,6 µg/L weit über den Werten in anderen Kläranlagen.

Die Laborkläranlagen wurden zu 100 % mit Belebtschlamm der Kläranlage 4 befüllt bzw. mit 50 % Belebtschlamm der Kläranlage 4 angeimpft und über zwei Wochen anfangs täglich, dann alle 2 bis 3 Tage beprobt.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die Temperatur einen Einfluss auf die Ausbreitung der Chryseobakterien im Belebtschlamm ausübt. Bei standardmäßigem Betrieb der Laborkläranlagen bei 20°C sanken die Anteile nach 100% Befüllung von anfänglich 16,8 % innerhalb von drei Tagen auf 3,3 %, am 12. Tag waren keine Chryseobakterien mehr nachweisbar. Die Chryseobakterien wurden von anderen Bakteriengattungen verdrängt. Im Gegensatz dazu kam es bei einem Betrieb der Laborkläranlagen bei 11°C nach dem Animpfen mit 50% Belebtschlamm zu einem Anwachsen der Anteile von anfänglich 8,4 % innerhalb von zwei Tagen auf 21,4 %. Ab dem 6. Tag nach Animpfen kam es zu einem Absinken der Anteile, am 17. Tag waren noch Anteile von bis zu 4,1 % nachweisbar.

Aus der Literatur ist bekannt, dass sich Chryseobakterien in Rohmilch auch bei Temperaturen von einigen wenigen Grad Celsius noch teilen und so allmählich zur dominanten Bakteriengattung in der Milch heranwachsen (Elionora Hantsis-Zacharov et al., 2008). Die Chryseobakterien sind sehr kältetolerant und können sich möglicherweise u. a. deshalb in der Kläranlage 4 stark vermehren, da die Tropfkörperanlage deutlich stärker von den Lufttemperaturen der Umgebung beeinflusst wird, als Belebtschlammbecken. Aufgrund ihrer Höhenlage ist die Kläranlage 4 den niedrigsten durchschnittlichen Lufttemperaturen aller untersuchten Kläranlagen ausgesetzt.

In Abbildung 24 sind die Ergebnisse der Laborkläranlagenversuche dargestellt. Am 2. Tag nach dem Animpfen mit 50 % Belebtschlamm der Kläranlage 4 stieg der Anteil an Chryseobakterien im Belebtschlamm in Gegenwart von 1,6 µg/L Sulfamethoxazol im Zulauf (entspricht der Zulaufkonzentration der Kläranlage 4) im Vergleich zu den Referenzanlagen (LKA 2 und 3) deutlich stärker an. Am Tag 6 und 8 ergaben sich vergleichbare Anteile an Chryseobakterien in allen Laborkläranlagen und im weiteren Verlauf nahmen die Anteile an Chryseobakterien gleichermaßen ab.

Bei den Laborkläranlagenläufen mit Desinfektionsmitteln, die in Form von Stoßbelastungen ins Nitrifikations- und Denitrifikationsbecken gegeben wurden (entspricht den Zulaufkonzentrationen der Kläranlage 4), ist hingegen kein signifikanter Unterschied der Chryseobakterienanteile zu den Referenzlaborkläranlagen 2 und 3 ohne Desinfektionsmittelzugabe zu erkennen. Dennoch nehmen auch hier die Anteile der Chryseobakterien im Verlauf des Experiments ab, was dafürspricht, dass sich diese Bakteriengattung unter den Bedingungen der Laborkläranlagen nicht als dominante Gattung etablieren könnte.

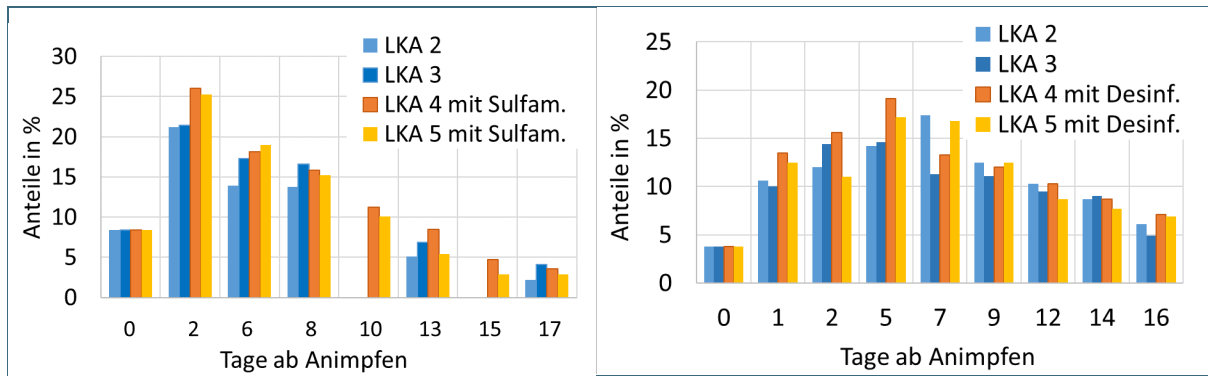


Abb. 23: Anteile der Chryseobakterien in % im Belebtschlamm der Laborkläranlagen bei 11°C, LKA 2 und 3: Referenzläufe, Doppelbestimmung, LKA 4 und 5, Doppelbestimmung: mit 1,6 µg/l Sulfamethoxazol im Zulauf bzw. mit den Desinfektionsmitteln N,N-Dimethyl-tetradecanamin und N,N-Dimethyl-dodecanamin (Zugabe als Stoßbelastung in die Belebung);

## 4 Diskussion möglicher Ursachen erhöhter Emissionen endokrin wirksamer Substanzen

Die Probenahmen an den vierzehn Kläranlagen haben gezeigt, dass für hohe estrogene Aktivitäten im Kläranlagenablauf nicht hohe estrogene Aktivitäten im Zulauf ursächlich sind, sondern vielmehr die Prozesse in der Kläranlage. Biologische Prozesse wie die Biotransformation, der biologischer Abbau und die Adsorption spielen bei der Elimination estrogener Aktivität in Kläranlagen eine zentrale Rolle. Die Effizienz dieser Prozesse ist maßgeblich von Parametern wie der hydraulischen Aufenthaltszeit, dem Schlammalter, der Auslastung der Kläranlage und der Ausbildung einer geeigneten Biozönose abhängig (Koh et al., 2008). Diese in der Literatur beschriebenen Parameter wurden auch im Rahmen des Projekts bei der individuellen Bewertung der 14 Kläranlagen als die Maßgeblichen identifiziert.

Von den 14 im Rahmen des Projekts beprobten Kläranlagen wiesen vier in allen sieben Tagesmischproben erhöhte bis stark erhöhte estrogene Aktivitäten im Ablauf auf (KA 1, 2, 4 und 12). Die Kläranlagen 8 und 14 zeigten in zwei bzw. drei Tagesproben erhöhte endokrine Wirkungen. In Tabelle 5 sind die im Projekt erarbeiteten individuellen möglichen Ursachen für die schlechten Eliminationsleistungen der einzelnen Kläranlagen zusammenfassend aufgeführt. Vergleichend dazu sind zwei weitere im Rahmen des Projekts beprobte Kläranlagen in der Tabelle enthalten, die sehr geringe estrogene Wirkungen im Ablauf aufwiesen (KA 11 und 15).

### Kläranlagen 1 und 2

Bei den Kläranlagen 1 und 2 handelt es sich um einstufige Belebungsanlagen. Kläranlage 1 ist die größte der im Projekt ausgewählten Anlagen. Bedingt durch die Größe der Anlage und die Abwasserzusammensetzung liegt das **Gesamtschlammalter** im Betrieb<sup>5</sup> bei nur 9,7 Tagen, im Beprobungszeitraum lag es bei 10,4 Tagen. In der Kläranlage 2 ist das Gesamtschlammalter<sup>6</sup> mit 5,3 Tagen (im Beprobungszeitraum 7,1 Tagen) noch niedriger. Ein niedriges Schlammalter wirkt sich ungünstig auf die Anteile langsam wachsender Bakterien und damit auf die Artenvielfalt des Belebtschlammes und die Abbauleistung von Spurenstoffen aus (Kreuzinger et al., 2004). Nach McAdams et al. (2010) und Koh et al. (2009) ist ein Bioabbau größer 70 % erst bei einem Schlammalter größer 10 Tagen und ein Bio-

<sup>5</sup> Auswertung der Daten von 2015 bis 2017

<sup>6</sup> Auswertung der Daten von 2015 bis 2017

abbau größer 80 % bei einem Schlammalter von mehr als 20 Tagen möglich. Clara et al. (2005) beschreibt ein kritisches Schlammalter von 10 Tagen bei 10°C, unter dem geringe Ablaufkonzentrationen an endokrin wirksamen Substanzen nicht erreicht werden können. Das Gesamtschlammalter der Kläranlagen 1 und 2 ist als ungünstig (KA 1) bzw. kritisch (KA 2) bezüglich der Eliminationsleistung von Spurenstoffen zu betrachten. Im Vergleich dazu liegt das Gesamtschlammalter der Kläranlagen 11 und 15, die sehr geringe Emissionen estrogener Aktivität aufwiesen, bei 42,8 bzw. 19,8 Tagen.

Bei Kläranlage 2 ist neben dem Gesamtschlammalter ebenfalls das **aerobe Schlammalter** mit 2,7 Tagen (Auswertung der Daten von 2015 bis 2017) beziehungsweise von 3,6 Tagen im Beprobungszeitraum als kritisch anzusehen. Hinzu kommt, dass die Kläranlage 2 über eine veraltete Oberflächenbelüftungstechnik verfügt, die den Belebtschlamm nicht optimal mit Sauerstoff versorgt.

Ein weiterer Faktor bei beiden Kläranlagen ist das im Vergleich geringe **spezifische Belebungsbeckenvolumen** von 119 l/EW. Ein geringes Belebungsbeckenvolumen bedeutet eine kurze Aufenthaltszeit des Abwassers in der Belebung und damit eine verminderte Reinigungsleistung der Anlage. Eine kurze Aufenthaltszeit wie auch geringes Schlammalter verursachen schlechtere Eliminationsraten für Estrogene (Kreuzinger et al., 2004, Servos et al., 2005, Hashimoto et al., 2007).

Tab. 6: Mögliche Ursachen erhöhter Emissionen endokrin wirksamer Substanzen bei den Kläranlagen 1, 2, 4, 12, 8 und 14 im Vergleich zu den Kläranlagen 11 und 15 mit sehr geringen Emissionen endokrin wirksamer Substanzen. grün: „gut“, gelb: „neutral“, rot: „auffällig“, n.n.: nicht nachweisbar;

Kläranlage	KA 1	KA 2	KA 8	KA 4	KA 12	KA 14	KA 11	KA 15
Tropfkörper	nein	nein	nein	Nitrifikation	Nitri, Denitri	Nitrifikation	nein	nein
Gesamtschlammalter	10,4	7,1	37,2	-	-	-	42,8	19,8
Aerobes Schlammalter	5,2	3,6	18,6	-	-	-	21,4	9,9
Spez. Volumen Belebung (l/EW)	119	119	240	71 (Hochlastbelebung)	-	116 (Hochlastbelebung)	217	363
Dimethyldithiocarbamat	10 µg/l	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
N,N-Dimethyltetradecanamin und -dodecanamin	< PNEC	< PNEC	< PNEC	550 µg/l	< PNEC	< PNEC	< PNEC	600 µg/l
Sulfamethoxazol	< 0,6µg/l	< 0,6µg/l	< 0,6µg/l	1,6 µg/l	< 0,6µg/l	< 0,6µg/l	< 0,6µg/l	1,2 µg/l
Mikrobiom	0% Chryseob.	0% Chryseob.	0% Chryseob.	20 – 60 % Chryseob.	0% Chryseob.	0% Chryseob.	0% Chryseob.	2 % Chryseob.
Sonstiges				Biogasanlage				

### Kläranlage 8

Die Kläranlage 8 ist ebenfalls eine einstufige Belebungsanlage mit zweistraßiger Vorklärung und Belebung. Bei der Kläranlage wiesen drei Tagesmischproben hohe estrogene Aktivitäten im Ablauf auf (EEQ-Maximalwert: 13 ng/L). In der Steroidanalytik wurden im Ablauf allerdings nur sehr geringe Steroidhormonkonzentrationen (Maximalwert-Estron: 0,2 ng/L) nachgewiesen.

Der Kläranlage konnten keine der identifizierten Risikofaktoren zugeordnet werden. Die Anlage musste ein Jahr vor der Probenahme zweimal, im Mai und Juni des Jahres 2018, neu mit Impfschlamm angefahren werden, da die Nitrifikation gestört war. Als Ursache werden Indirekteinleitungen

der benachbarten Therme während der jährliche Wartung vermutet. Es gab keine wiederholten Ausfälle bei der Nitrifikation.

### Kläranlagen 4, 12 und 14

Bei den drei Kläranlagen 4, 12 und 14 handelt es sich um **Tropfkörperanlagen**. Die Korrelation der Ergebnisse der Probennahmen mit der verfahrenstechnischen Bewertung der Kläranlagen ergab, dass Tropfkörperanlagen ein gewisses Risiko für erhöhte bis hohe Emissionen estrogener Aktivität aufweisen. Die drei im Projekt beprobten Tropfkörperanlagen wiesen unterschiedlich hohe Emissionen auf. Während die Kläranlage 4 die höchsten Emissionswerte (EEQ-Median-Wert: 14,6 ng/l) zeigte, wurden bei der Kläranlage 12 konstant etwas niedrigere Werte (EEQ-Medianwert: 6,8 ng/l) gemessen. Bei der Kläranlage 14 waren zwei der sieben Tagesmischproben stark erhöht (EEQ-Maximalwert: 20 ng/l). In der Literatur werden Tropfkörper im Vergleich zu Belebungsbecken ebenfalls als weniger effektiv beschrieben. Weniger als ein Drittel der estrogenen Aktivität wurde in schwedischen Tropfkörperanlagen entfernt (Svenson et al., 2003). Auch in einer Untersuchung von achtzehn kanadischen Kläranlagen wurden in Tropfkörperanlagen sehr schlechte Eliminationsraten für Estrogene gemessen (Servos et al, 2005).

Die Tropfkörperanlagen 4 und 14 sind verfahrenstechnisch miteinander vergleichbar, in beiden Anlagen erfolgt die Nitrifikation in Tropfkörpern während die Denitrifikationsstufe in einer vorgeschalteten Hochlastbelebungsanlage durchgeführt wird. Im Unterschied zur Tropfkörperanlage 4 weist die vorgeschaltete Hochlastbelebungsanlage der Anlage 14 jedoch ein aerob betriebenes Belebungsbecken zum gezielten Kohlenstoffabbau auf. Die vorgeschaltete Denitrifikationsstufe der Anlagen 4 wird dagegen nur kurz nachbelüftet. Die Hochlastbelebungen beider Anlagen besitzen mit 71 l/EW bzw. 116 l/EW sehr kleine Beckenvolumina, die als ungünstig im Hinblick auf den Abbau endokriner Stoffe zu betrachten sind. Diese kleinen **spezifischen Beckenvolumina** haben möglicherweise einen nicht unerheblichen Anteil an der verminderten Reinigungsleistung im Hinblick auf endokrine Stoffe.

Im Gegensatz zu den Kläranlagen 4 und 14 erfolgt bei der Kläranlage 12 die Nitrifikation und ebenfalls die Denitrifikation in Tropfkörpern. Vor allem weil der Auslastungsgrad der Kläranlage bei nur 30 % liegt, läuft die Kläranlage trotz der sehr einfachen und veralteten Verfahrenstechnik bescheidsgemäß und die Emissionen estrogener Aktivität liegen nur im mittleren Bereich. Hinzu kommen Verdünnungseffekte aufgrund eines überdurchschnittlich hohen Fremdwasseranteils.

In der Kläranlage 4 wurden im Dezember 2018 sehr **hohe Anteile an Chryseobakterien** im Tropfkörper und im Denitrifikationsbecken gefunden. Die geringe Biodiversität in der Kläranlage ist möglicherweise mit für den verminderten Abbau der Estrogene in der Kläranlage verantwortlich.

In der Kläranlage 4 überschreiten die Konzentrationen der Desinfektionsmittel **N,N-Dimethyl-tetradecanamin** und **N,N-Dimethyl-dodecanamin** die PNEC-Werte für Kläranlagen stark. Ebenfalls sind die Zulaufkonzentrationen des Antibiotikums **Sulfamethoxazol** mit 1,6 µg/L sehr hoch. Nur die Belebungsanlage 15 wies vergleichbar hohe Zulaufkonzentrationen der Desinfektionsmittel und des Antibiotikums auf. Interessanterweise ist die Kläranlage 15 neben der Kläranlage 4 die einzige im Projekt beprobte Kläranlage, in der ebenfalls Chryseobakterien nachgewiesen wurden (1,6 % Chryseobakterienanteil). Möglicherweise begünstigen hohe Konzentrationen an Desinfektionsmitteln und Sulfamethoxazol das Wachstum dieser Bakteriengattung in Kläranlagen.

## 5 Bewertung

Wie auch andere Spurenstoffe können endokrin wirksame Substanzen für die aquatischen Organismen im Gewässer potenziell ein Gefährdungspotenzial darstellen. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass sechs Kläranlagen im Vergleich zu den anderen acht beprobten Kläranlagen signifikant erhöhte Emissionen estrogener Aktivität in die Fließgewässer einleiten. In den Vorflutern aller betrachteten Kläranlagen befinden sich die Konzentrationen der Estrogene 17- $\beta$ -Estradiol und Estron bei mittleren Abflussverhältnissen ( $Q_{50}$ ) unterhalb den von der EAWAG vorgeschlagenen Qualitätskriterien. Grundsätzlich kann man also davon ausgehen, dass bei Belebungsanlagen, die nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik bemessen und betrieben werden, ein effizienter Abbau von Estrogenen stattfindet, so dass die estrogene Aktivität im Kläranlagenablauf nur bei extremen Mischungsverhältnissen an der Einleitungsstelle zu Werten oberhalb derzeit verfügbarer Qualitätskriterien führen kann. So reicht z.B. bei mittlerem Niedrigwasserabfluss (MNQ) der maximale Wert für die Konzentration an 17- $\beta$ -Estradiol im Vorfluter der Kläranlage 4 mit 0,34 ng/l bereits sehr nahe an das vorgeschlagene Qualitätskriterium für 17- $\beta$ -Estradiol von 0,4 ng/l heran. Bei mittlerem Niedrigwasserabfluss überschreiten außerdem die estrogenen Aktivitäten in den Vorflutern der Kläranlagen 1 und 4 die Wirkungen, die durch die vorgeschlagenen Umweltkonzentrationen von E2 und E1 im Gewässer ausgelöst werden würden. Eine Mischung aus unterschiedlichen bekannten und bisher unbekanntem endokrinen Substanzen kann zu einer Verstärkung der Wirkung führen.

Um Kläranlagen mit stark erhöhten Ablaufwerten zu identifizieren, können die Messdaten des zurzeit laufenden sechsjährigen MOSAIC-Projekts genutzt werden. An 90 Messstellen pro Jahr werden im jährlichen Wechsel viermal im Jahr Spurenstoffe im Fließgewässer quantifiziert. Zusätzlich könnten durch die Quantifizierung einiger Metabolite von pharmazeutischen Wirkstoffen Aussagen zu Hotspots im Gewässer gemacht werden und so die verursachenden Kläranlagen identifiziert werden. Einen weiteren Anhaltspunkt zu Kläranlagen mit hohen Spurenstoffablaufkonzentrationen liefert eine Auswertung der Betriebsdaten auf erhöhte Ammoniumkonzentrationen im Kläranlagenablauf.

Die Kläranlagen 2 und 4 sind, wie bereits in vorherigen Untersuchungen festgestellt, mit hohen estrogenen Aktivitäten im Ablauf aufgefallen. Bei beiden Kläranlagen ist das spezifische Volumen der Belebung zu klein und müsste vergrößert werden. Die Kläranlage 2 verfügt zudem über ein veraltetes Oberflächenbelüftungssystem, sodass der Sauerstoffeintrag in die Belebung möglicherweise unzureichend ist. Es ist naheliegend, dass bei einem ausreichend großen Volumen und einer zeitgemäßen Belüftungstechnik auch der Abbau an endokrinen Stoffen deutlich verbessert wäre. Bei der Kläranlage 4 ist vermutlich der Tropfkörper, in dem die Nitrifikationsstufe erfolgt und die vergleichsweise kleine Hochlastbelebung die ausschließlich als Denitrifikationsstufe betrieben wird, ursächlich für auffällige estrogene Emissionen.



## 6 Literatur

- Bahlinger A., T. Fricke, B. Kuch, R. Kurschat, F. Schmid, und H. Schönberger; Viel zu lange unterschätzt - Die organische Mikroverunreinigung DMDTC gefährdet Kläranlagen und Gewässer, *Resource* 28 (3): 37-44 (2015).
- Brian, J.V., Harris, C.A., Scholze, M., Backhaus, T., Booy, P., Lamoree, M., Pojana, G., Jonkers, N., Runnalls, T., Bonfà, A., Marcomini, A., Sumpter, J.P.. Accurate Prediction of the Response of Freshwater Fish to a Mixture of Estrogenic Chemicals. *Environ. Health Perspect.* 2005, 113(6), 721–728.
- Chen, Y-L, Fu, H-Y, Lee, T-H, Shih, C-J, Huang, L, Wang, Y-S, Ismail, W., Chiang, Y-R. Estrogen Degradation Pathway Identified in an Activated Sludge. *Applied and Environmental Microbiology* 2018, Volume 84, Issue 10, 1-18.
- Clara, M., Kreuzinger, N., Strenn, B., Gans, O., Kroiss, H. The solids retention time – a suitable design parameter to evaluate the capacity of waste water treatment plants to remove micropollutants. *Water Research* 39 (1), 2005, 97-106.
- Coldham N., Dave, M., Sivapathasundaram, S., McDonnell, D., Connor, C., Sauer, M., Evaluation of a Recombinant Yeast Cell Estrogen Screening Assay. *Environmental Health Perspectives*, 1997, Volume 105, Number 7, 734-742.
- Echa, 2019. Registration dossier N,N-Dimethyl-tetradecanamin und N,N-Dimethyl-dodecanamin, Download: [www.echa.europa.eu](http://www.echa.europa.eu).
- Echa, 2019. Registration dossier 1-Dodecanol, Download: [www.echa.europa.eu](http://www.echa.europa.eu).
- Hantsis-Zacharov E., Tamar Shakéd, Yigal Senderovich, Malka Halpern, *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, Vol. 58, pp 2635-9, DOI 10.1099/ijs.0.65819-0.
- Hashimoto, T., Onda, K., Nakamura, Y., Tada, K., Miya, A., Murakami, T. Comparison of natural estrogen removal efficiency in the conventional activated sludge process and the oxidation ditch process. *Water Research*, 41 (10), 2007, 2117-2126.
- Hashimoto, T., Onda, K., Morit, T., Luxmy, B., Tada, K., Miya, A., Murakami, T. Contribution of the Estrogen-degrading Bacterium *Novoshingobium* sp. Strain JEM-1 to Estrogen Removal in Wastewater Treatment. *J. Environ. Eng.*, 2010, 136(9), 890-896.
- Jarosova, B., Blaha, L., Giesy, J., Hilscherova, K. Review: What level of estrogenic activity determined by in vitro assays in municipal waste waters can be considered as safe? *Environmental International* 64, 2014, 98-109.
- Koh, Y., Chiu, T., Boobis, A., Cartmell, E., Scrimshaw, M., Lester, J. Treatment and removal strategies for estrogens from wastewater. *Environmental Technology*, 2008, Vol. 29, 245-267.
- Kreuzinger, N., Clara, M., Strenn, B., Kroiss, H. Relevance of the sludge retention time (SRT) as design criteria for wastewater treatment plants for the removal of endocrine disruptors and pharmaceuticals from wastewater. *Water Science and Technology* 50 (5), 2004, 149-156.
- Kurusu, F., Zang, K., Kasuga, I., Furumai, H., Yagi, O. Identification of estrogen-degrading Betaproteobacteria in activated sludge by microautoradiography fluorescent in situ hybridization. *Letters in Applied Microbiology* 61, 2015, 28-35.
- McAdam, E., Bagnall, J., Koh, Y., Chiu, T., Pollard, S., Scrimshaw, M., Lester, J., Cartmell, E. Removal of steroid estrogens in carbonaceous and nitrifying activated sludge processes. *Chemosphere* 81 (1), 2010, 1-6.
- Roh, H., Chu, K-H. A 17 $\beta$ -Estradiol-utilizing Bacterium, *Sphingomonas* Strain KC8: Part I – Characterization and Abundance in Wastewater Treatment Plants. *Environ. Sci. Technol.* 2010, 44, 4943-4950.
- Servos, MR., Bennie, D., Burnison, B., Jurkovic, A., McInnis, R., Neheli, T., Ternes, TA. Distribution of estrogens, 17 $\beta$ -estradiol and estrone in Canadian municipal wastewater treatment plants. *Sci. Total Environ.* 336, 2005, 155-170.

Svenson, A., Allard, A., Ek, M. Removal of estrogenicity in Swedish municipal sewage treatment plants. *Water Research* 37, 2003, 4433-4443.

Song, H.L., Yang, X.L., Xia, M.Q., Chen, M. Co-metabolic degradation of steroid estrogens by heterotrophic bacteria and nitrifying bacteria in MBRs. *Journal of environmental science and health, Part A*, 2017, Vol. 52, No. 8, 778-784.

Sumpter, J.P. & Jobling, S. Vitellogenesis as a Biomarker for Estrogenic Contamination of Aquatic Environment. *Environ. Health Perspect.* 1995, 103 (7), 173-178.

Schreff, Hilliges R., Schlussbericht zum Teilprojekt „Verfahrenstechnische Bewertung der Kläranlagen“, Juni 2019

Thorpe, K.L., Cummings, R.I., Hutchinson, T.H., Scholze, M., Brighty, G., Sumpter, J.P., Tyler, Ch.R. Relative Potencies and Combination Effects of Steroidal Estrogens in Fish. *Environ. Sci. Technol.*, 2003, 37 (6), pp 1142–1149.

Yu, C-P., Deep, R., Chu, K-H. Microbial degradation of steroidal estrogens. *Chemosphere* 91, 2013, 1225-1235.

## **7 Anhang**

### **Ergebnisse der GC-MS-Screenings der Zu- und Abläufe der 14 Kläranlagen**

Tab. 7: GC-MS Screening I der Kläranlage 4, ZU: Zulauf, ABL: Ablauf;

			Kläranlage 4													
ORGANISCHE MIKROVERUNREINIGUNGEN - ABWASSER LFU BAYERN - 11/2 17 - 12/2017			ZU 2	ABL 2	ZU 3	ABL 3	ZU 4	ABL 4	ZU 5	ABL 5	ZU 6	ABL 6	ZU 7	ABL 7	ZU 8	ABL 8
Alle Proben wurden unfiltriert untersucht!			14.10.17	14.10.17	15.10.17	15.10.17	16.10.17	16.10.17	17.10.17	17.10.17	18.10.17	18.10.17	19.10.17	19.10.17	20.10.17	20.10.17
			Z2	A2	Z3	A3	Z4	A4	Z5	A5	Z6	A6	Z7	A7	Z8	A8
	LEITFÄHIGKEIT [µS/cm]		1060	773	1051	786	1096	793	1071	774	1079	743	1101	776	1103	803
	TRÜBUNG [NTU]		160	6	111	7	162	12	116	16	108	21	129	8	166	8
	SAK (254 nm)		64,20	15,30	57,00	15,30	67,10	15,40	57,40	15,60	57,40	16,50	55,40	17,10	68,00	17,00
SUBSTANZGRUPPE	EINZELSUBSTANZ	ANMERKUNGEN	Alle Konzentrationen in µg/L													
PHARMAZEUTISCHE WIRKSTOFFE UND METABOLITE	CANDESARTAN		1,003	1,007	0,981	1,046	1,062	1,061	1,025	1,074	0,988	1,055	1,218	1,293	1,149	1,310
	CARBAMAZEPIN		1,330	1,430	3,370	1,540	4,210	0,765	3,130	0,790	3,260	0,769	3,220	0,801	3,380	0,784
	CLOFIBRINSÄURE		< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005
	DICLOFENAC		1,973	1,924	1,927	1,999	2,087	2,051	2,032	1,897	2,057	1,915	2,030	1,954	2,099	2,026
	2,6-DICHLORANILIN	Abbau von Diclofenac	< 0,005	0,033	< 0,005	0,039	< 0,005	0,026	< 0,005	0,029	< 0,005	0,032	< 0,005	0,030	< 0,005	0,028
	DIPHENHYDRAMIN		0,508	0,272	0,443	0,336	0,414	0,304	0,484	0,321	0,507	0,346	0,472	0,300	0,537	0,250
	GABAPENTIN		9,310	6,670	8,349	7,116	9,360	3,360	10,030	3,590	9,910	3,560	9,920	3,640	10,090	3,650
	HYDROCHLOROTHIAZID		4,997	4,885	4,806	4,857	5,637	4,810	5,706	4,861	5,244	4,972	5,151	4,914	5,040	5,420
	IBUPROFEN		24,5	0,458	22,8	0,583	23,7	0,560	24,3	0,544	22,7	0,522	23,2	0,528	21,9	0,518
	IBUPROFEN-OH	Transformation von Ibuprofen	37,5	1,372	36,8	1,582	37,8	1,540	37,6	1,561	36,2	1,327	36,8	1,448	36,4	1,419
	IBUPROFEN-COOH	Transformation von Ibuprofen	86,8	0,088	90,3	0,198	90,5	0,194	89,7	0,119	89,8	0,094	90,0	0,098	90,7	0,084
	IRBESARTAN		0,818	0,811	0,782	0,878	0,789	0,889	0,887	0,899	0,911	0,962	0,846	1,006	1,342	1,011
	LIDOCAIN		0,352	0,317	0,333	0,332	0,329	0,293	0,310	0,283	0,299	0,279	0,314	0,301	0,345	0,308
	METAMIZOL - ACETAMIDOANTIPYRIN	Transformation von Metamizol	6,387	0,707	5,910	0,573	6,409	0,528	5,733	0,446	5,466	0,594	5,769	0,582	5,431	0,507
	METAMIZOL-RO	Transformation von Metamizol	8,990	0,562	8,389	0,678	6,396	0,728	7,355	0,646	6,238	0,756	6,175	0,782	5,928	0,924
	<b>METAMIZOL - METHYL-PHENYL-HYDRAZIN</b>	<b>Transformation von Metamizol</b>	<b>0,080</b>	<b>0,094</b>	<b>0,120</b>	<b>0,088</b>	<b>0,120</b>	<b>0,092</b>	<b>0,121</b>	<b>0,095</b>	<b>0,115</b>	<b>0,088</b>	<b>0,117</b>	<b>0,090</b>	<b>0,112</b>	<b>0,094</b>
	METOPROLOL		2,040	1,360	1,930	1,570	1,990	0,813	2,210	0,801	1,970	0,820	2,000	0,820	2,090	0,842
	MIRTAZAPIN		0,202	0,193	0,220	0,207	0,208	0,208	0,215	0,196	0,185	0,208	0,216	0,217	0,240	0,206
	NAPROXEN		5,30	0,926	5,39	1,078	5,53	1,110	5,61	1,078	5,64	1,086	5,58	1,113	5,52	1,053
	PROPYPHENAZON		< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005
SULFAMETHOXAZOL		1,25	0,463	1,07	0,376	0,83	0,193	1,02	0,180	1,08	0,190	0,90	0,220	1,61	0,216	
TRAMADOL		0,779	0,550	0,767	0,506	0,771	0,480	0,795	0,522	0,748	0,536	0,759	0,578	0,791	0,594	
<b>O-DESMETHYLTRAMADOL</b>		<b>0,323</b>	<b>0,040</b>	<b>0,410</b>	<b>0,042</b>	<b>0,320</b>	<b>0,053</b>	<b>0,377</b>	<b>0,044</b>	<b>0,369</b>	<b>0,048</b>	<b>0,442</b>	<b>0,031</b>	<b>0,363</b>	<b>0,033</b>	
VENLAFAXIN		1,033	0,784	1,081	0,742	1,029	0,659	1,042	0,745	0,986	0,736	1,052	0,719	1,108	0,712	
<b>NORVENLAFAXIN</b>		<b>1,126</b>	<b>0,392</b>	<b>1,150</b>	<b>0,365</b>	<b>1,239</b>	<b>0,409</b>	<b>1,236</b>	<b>0,437</b>	<b>1,151</b>	<b>0,429</b>	<b>1,157</b>	<b>0,379</b>	<b>1,159</b>	<b>0,370</b>	
SYNTH. DUFTSTOFFE	AHTN (Tonalid)		0,616	0,092	0,538	0,103	0,589	0,100	0,456	0,109	0,478	0,105	0,537	0,102	0,668	0,094
	HHCb (Galaxolid)		3,737	0,436	3,412	0,457	3,939	0,480	3,224	0,464	3,033	0,471	3,268	0,446	3,881	0,427
	HHCb-Lacton I (Galaxolidon I)	Transformation von HHCb	1,475	1,793	1,499	1,842	1,487	1,954	1,397	1,726	1,536	1,759	1,377	1,784	1,466	1,693
	HHCb-Lacton II (Galaxolidon II)	Transformation von HHCb	0,161	0,227	0,166	0,227	0,158	0,259	0,176	0,235	0,223	0,243	0,185	0,241	0,219	0,232
	OTNE (ISO E Super, Patchouli-Ethanon)		15,4	1,081	14,7	1,350	16,8	1,227	14,2	1,295	13,9	1,277	14,3	1,170	17,2	1,156
	OTNE-OX	Abbau von OTNE	8,399	0,477	4,782	0,579	5,858	0,593	7,552	0,584	4,721	0,571	7,176	0,579	7,218	0,606
	METHYLDIHYDROJASMONAT (DHJ)		17,2	0,097	18,7	0,162	18,8	0,138	17,1	0,135	17,2	0,132	17,4	0,164	14,7	0,183
2,6-DIMETHYL-OCT-7-EN-2-OL (DIHYDROMYRCENOL)		40,9	0,060	42,4	0,294	27,7	0,217	41,4	0,207	39,3	0,207	40,7	0,172	25,3	0,108	
DESINFIZIERUNGSMITTEL	TRICLOSAN		0,612	0,025	0,616	0,029	0,620	0,028	0,620	0,028	0,575	0,028	0,573	0,028	0,618	0,035
	DODECYL-TRIMETHYLAMMONIUM HALOGENID		285	0,408	200	1,253	297	1,322	251	0,782	233	0,689	215	0,410	285	0,417
	TETRADECYL-TRIMETHYLAMMONIUM HALOGENID		235	0,241	178	0,441	241	0,908	195	0,457	181	0,553	171	0,341	236	0,215
	BENZYL-TRIMETHYLAMMONIUM HALOGENID		18,12	0,053	6,72	0,081	18,23	0,200	11,97	0,117	13,50	0,096	9,97	0,053	14,32	0,065
	PHENOXYETHANOL		66,43	0,22	53,03	0,13	45,95	0,13	52,56	0,13	50,25	0,13	49,50	0,12	49,50	0,11
	PHENOXYPROPANOL		17,11	0,36	11,17	0,31	8,46	0,30	10,90	0,16	11,27	0,13	11,68	0,15	11,68	0,18
	n-HEXYLSALICYLAT		6,27	0,025	6,26	0,029	6,19	0,032	5,27	0,031	5,32	0,023	4,99	0,025	4,79	0,027
	2-ETHYLHEXALSALICYLAT		3,95	0,041	3,58	0,068	3,85	0,062	3,54	0,102	3,12	0,072	3,04	0,071	3,29	0,057
LINEARE ARYLALKYL-SULFONATE	ARYLALKYLSULFONATE (C10)		2,866	0,042	2,783	0,051	2,985	0,062	2,625	0,066	2,820	0,085	2,731	0,067	2,530	0,061
	ARYLALKYLSULFONATE (C11)		18,365	0,175	15,417	0,223	16,690	0,261	15,630	0,323	15,773	0,417	15,697	0,365	16,523	0,277
	ARYLALKYLSULFONATE (C12)		20,469	0,194	19,591	0,273	22,667	0,343	21,171	0,387	20,801	0,496	19,109	0,446	21,741	0,383
	ARYLALKYLSULFONATE (C13)		19,810	0,103	20,851	0,290	24,440	0,302	20,040	0,319	19,493	0,444	18,741	0,422	19,818	0,324

Tab. 8: GC-MS Screening II der Kläranlage 4, ZU: Zulauf, ABL: Ablauf

			Kläranlage 4													
ORGANISCHE MIKROVERUNREINIGUNGEN - ABWASSER LFU BAYERN - 11/2 17 - 12/2017			ZU 2	ABL 2	ZU 3	ABL 3	ZU 4	ABL 4	ZU 5	ABL 5	ZU 6	ABL 6	ZU 7	ABL 7	ZU 8	ABL 8
Alle Proben wurden unfiltriert untersucht!			14.10.17	14.10.17	15.10.17	15.10.17	16.10.17	16.10.17	17.10.17	17.10.17	18.10.17	18.10.17	19.10.17	19.10.17	20.10.17	20.10.17
			Z2	A2	Z3	A3	Z4	A4	Z5	A5	Z6	A6	Z7	A7	Z8	A8
SUBSTANZGRUPPE	EINZELSUBSTANZ	ANMERKUNGEN	Alle Konzentrationen in µg/L													
GLYCOL-DERIVATE	BUTOXYETHANOL	nicht in den Zulaufen gemessen	x	0,864	x	0,802	x	0,378	x	0,381	x	0,461	x	0,531	x	0,436
	PROPYLENGLYCOL-1		63,130	1,481	37,624	4,399	17,516	2,312	58,010	2,558	46,344	2,694	50,465	2,406	19,653	1,930
	PROPYLENGLYCOL-2		6,649	0,507	3,502	0,468	2,527	0,022	3,594	0,211	3,624	0,223	3,986	0,217	5,810	0,239
	PROPYLENGLYCOL-3		0,556	0,018	0,398	0,015	0,153	0,005	0,062	0,003	0,090	0,005	0,081	0,009	0,088	0,006
	PROPYLENGLYCOL-4		0,92	0,078	0,73	0,083	0,97	0,065	0,76	0,069	0,91	0,094	0,72	0,057	1,09	0,078
	PROPYLENGLYCOL-5		0,14	0,006	0,17	0,008	0,22	0,008	0,18	0,005	0,06	0,006	0,08	0,005	0,10	0,005
ALKANOL	DODECANOL-1		52,13	0,066	41,45	0,081	53,21	0,062	44,00	0,059	38,33	0,070	38,36	0,084	53,79	0,048
KORROSIONSSCHUTZMITTEL	1H-BENZOTRIAZOL		14,650	8,710	13,360	8,760	13,390	8,460	14,250	8,630	15,040	8,920	15,230	8,800	14,880	8,610
	TOLYLTRIAZOLE		2,130	1,140	1,390	1,110	1,350	0,520	2,650	0,530	2,040	0,670	2,010	0,630	1,890	0,600
PHOSPHOR-ORGANISCHE FLAMMSCHUTZMITTEL UND WEICHMACHER	TRIETHYLPHOSPHAT (TEP)		1,220	0,927	0,919	0,750	0,596	0,509	0,854	0,402	0,649	0,440	0,914	0,451	0,595	0,431
	TRIS-i-BUTYL-PHOSPHAT (TiBP)		0,534	0,376	0,371	0,341	0,703	0,237	0,510	0,211	0,642	0,216	0,567	0,214	0,687	0,212
	TRIS-n-BUTYL-PHOSPHAT (TBP)		0,796	0,119	0,897	0,144	0,909	0,133	0,915	0,114	1,081	0,114	0,889	0,148	1,067	0,132
	TRIS-(BUTOXYTEHOXY)-PHOSPHAT (TEBP)		4,873	1,576	4,523	2,221	3,334	2,012	3,333	1,190	3,800	1,303	5,234	2,301	3,865	2,245
	TRIPHENYLPHOSPHAT (TPP)		0,095	0,025	0,094	0,030	0,089	0,027	0,082	0,025	0,083	0,029	0,126	0,028	0,094	0,025
	TRIPHENYLPHOSPHINOXID (TPPO)	kein FM	0,069	0,050	0,082	0,041	0,046	0,029	0,067	0,029	0,068	0,027	0,062	0,038	0,069	0,028
	TRIS-(CHLORETHYL)-PHOSPHAT (TCEP)		0,927	0,439	1,127	0,430	1,146	0,340	1,144	0,457	1,050	0,481	1,085	0,499	1,052	0,449
	TRIS-(CHLOROPROPYL)-PHOSPHAT (TCPP)		1,521	1,169	1,485	1,368	1,504	1,438	1,557	1,455	1,617	1,463	1,586	1,410	1,681	1,301
	TRIS-(DICHLORPROPYL)-PHOSPHAT (TDCPP)		0,374	0,236	0,368	0,294	0,281	0,281	0,336	0,240	0,371	0,244	0,303	0,252	0,360	0,255
UV-STABILISATOREN	OCTOCRYLEN		15,465	0,426	14,781	0,413	16,963	0,521	15,834	0,558	14,457	0,763	14,491	0,691	15,293	0,554
	1,1-DIPHENYLACRYLNITRIL	Abbau von Octocrylen	0,061	0,071	0,080	0,079	0,083	0,093	0,067	0,082	0,065	0,113	0,114	0,134	0,091	0,107
	BENZOPHENON		0,308	0,047	0,254	0,065	0,283	0,053	0,210	0,047	0,198	0,063	0,175	0,071	0,167	0,060
	OXYBENZON		0,548	0,042	0,584	0,032	0,594	0,023	0,545	0,038	0,556	0,017	0,565	0,017	0,608	0,024
	DI-3,5-DI-t-BUTYL-4-HYDROXYZIMTSÄURE-OCTYLESTER		2,788	0,060	2,270	0,051	2,795	0,062	2,097	0,053	2,216	0,064	2,703	0,068	2,239	0,053
	DI-3,5-DI-t-BUTYL-4-HYDROXYZIMTSÄURE-OCTADECYLESTER		2,782	0,028	2,830	0,021	2,928	0,030	2,499	0,023	2,043	0,036	2,547	0,037	2,714	0,038
	7,9-DI-t-BUTYL-1-OXASPIRO(4,5)DECA-6,9-DIEN-2,8-DION	Abbau von Hydroxyzimtsäureestern	0,573	0,279	0,629	0,265	0,728	0,278	0,672	0,276	0,621	0,271	0,610	0,316	0,600	0,286
ANTIOXIDANTIEN	BUTYLHYDROXYANISOL (BHA)		0,358	0,273	0,362	0,329	0,416	0,307	0,355	0,316	0,358	0,286	0,336	0,287	0,361	0,300
	BUTYLHYDROXYTOLUOL (BHT)		1,507	0,068	1,380	0,077	1,592	0,075	1,307	0,074	1,167	0,079	1,372	0,072	1,711	0,655
	2,6-DI-TERT-BUTYL-P-CHINON	Abbau von 2,6-di-t-BUTYLPHENOL	0,087	0,066	0,102	0,067	0,110	0,051	0,098	0,057	0,104	0,114	0,108	0,061	0,110	0,053
ALKYLPHENOLE	BISPHENOL A		2,700	0,076	2,385	0,075	2,586	0,072	2,401	0,076	2,580	0,073	2,461	0,074	2,554	0,081
	4t-OCTYLPHENOL		0,064	0,009	0,062	0,015	0,068	0,014	0,090	0,011	0,081	0,012	0,098	0,016	0,094	0,016
	4-NONYLPHENOLE		0,345	0,058	0,353	0,106	0,425	0,131	0,465	0,131	0,352	0,197	0,476	0,208	0,623	0,261
BENZOTHIAZOLE	BENZOTHIAZOL (BT)		1,684	0,178	1,223	0,148	1,863	0,099	1,324	0,109	1,061	0,111	1,530	0,105	1,465	0,082
	METHYLTHIOBENZOTHIAZOL (MTBT)		1,382	0,856	1,373	0,566	1,314	0,415	1,550	0,428	0,893	0,411	0,660	0,491	0,923	0,414
PHENOL UND CRESOLE	PHENOL		x	0,025	x	0,028	x	0,020	x	0,016	x	0,013	x	0,010	x	0,014
	o-CRESOL		1,553	0,024	1,133	0,051	1,095	0,049	0,794	0,035	0,778	0,046	1,222	0,082	0,685	0,108
	p-CRESOL		51,703	0,042	42,509	0,030	53,613	0,033	46,854	0,019	41,633	0,034	33,485	0,038	27,423	0,030
HALOGENPHENOLE	2,4,6-TRICHLORPHENOL		0,046	0,004	0,027	0,005	0,032	0,004	0,045	0,006	0,048	0,004	0,027	0,002	0,022	0,004
	2,4,6-TRIBROMPHENOL		0,058	0,022	0,055	0,021	0,041	0,018	0,084	0,031	0,042	0,022	0,085	0,024	0,048	0,024
	PENTACHLORPHENOL		0,031	0,008	0,027	0,006	0,025	0,006	0,027	0,005	0,032	0,007	0,029	0,006	0,029	0,006
DMDTC	N,N'-DIMETHYLDITHIOCARBAMAT (DMDTC)	NITRIFIKATIONSHEMMER !	< 0,02	< 0,005	< 0,02	< 0,005	< 0,02	< 0,005	< 0,02	< 0,005	< 0,02	< 0,005	< 0,02	< 0,005	< 0,02	< 0,005

Tab. 9: GC-MS Screening III der Kläranlage 4, ZU: Zulauf, ABL: Ablauf;

			Kläranlage 4													
ORGANISCHE MIKROVERUNREINIGUNGEN - ABWASSER LFU BAYERN - 11/2 17 - 12/2017			ZU 2	ABL 2	ZU 3	ABL 3	ZU 4	ABL 4	ZU 5	ABL 5	ZU 6	ABL 6	ZU 7	ABL 7	ZU 8	ABL 8
Alle Proben wurden unfiltriert untersucht!			14.10.17	14.10.17	15.10.17	15.10.17	16.10.17	16.10.17	17.10.17	17.10.17	18.10.17	18.10.17	19.10.17	19.10.17	20.10.17	20.10.17
			Z2	A2	Z3	A3	Z4	A4	Z5	A5	Z6	A6	Z7	A7	Z8	A8
SUBSTANZGRUPPE	EINZELSUBSTANZ	ANMERKUNGEN	Alle Konzentrationen in µg/L													
SONSTIGE	TETRAACETYLDIAMIN (TAED)		18,584	0,800	21,451	1,275	20,070	1,158	18,455	1,110	19,429	1,033	18,403	1,060	15,969	0,879
	COFFEIN		206	2,052	183	2,544	189	2,496	182	2,431	181	2,190	161	2,054	158	1,944
	NICOTIN		20,6	0,259	22,7	0,261	19,9	0,184	20,9	0,221	18,6	0,280	17,3	0,185	18,8	0,165
	COTININ		6,861	0,299	6,559	0,320	6,613	0,297	6,013	0,276	5,605	0,300	6,582	0,281	6,362	0,206
	CHOLESTANON		498	4,65	419	5,05	564	6,32	452	6,33	487	11,55	439	8,37	601	5,31
	CHOLESTANOL		365	2,60	289	3,06	379	3,97	315	3,81	339	7,24	302	4,87	450	2,89
	TRIETHYLCITRAT		14,18	2,57	18,19	3,60	16,19	3,43	15,75	3,34	15,78	3,12	14,91	3,22	15,97	3,16
PESTIZIDE	ATRAZIN		0,025	0,007	0,025	0,006	0,021	0,003	0,044	0,002	0,039	0,003	0,022	0,006	0,020	0,004
	ATRAZIN, DESETHYL-		0,022	0,014	0,019	0,012	0,021	0,011	0,058	0,007	0,031	0,009	0,036	0,010	0,033	0,009
	BOSCALID		< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005
	DEET		0,367	0,218	0,466	0,227	0,345	0,195	0,340	0,203	0,402	0,175	0,374	0,197	0,328	0,196
	2,4-DICHLORPHENOXYESSIGSÄURE		< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005
	DICHLORPROP		< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005
	ETHOFUMESAT		< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005
	2-HYDROXYBIPHENYL		1,117	0,058	1,157	0,069	1,243	0,064	1,239	0,082	1,177	0,086	1,373	0,079	1,238	0,088
	MCPA		0,013	0,005	0,017	0,004	0,020	0,004	0,018	0,006	0,018	0,006	0,015	0,004	0,015	0,005
	MECOPROP		0,310	0,008	0,296	0,011	0,288	0,011	0,311	0,008	0,294	0,009	0,299	0,010	0,303	0,009
	METAZACHLOR		< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005
	METOLACHLOR		< 0,01	0,003	< 0,01	0,004	< 0,01	0,005	< 0,01	0,003	< 0,01	0,005	< 0,01	0,004	< 0,01	0,004
	PENCONAZOL		< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005
	PENDIMETHALIN		< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005
	PROPICONAZOL		< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005
	PROPYZAMID		< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005
TEBUCONAZOL		< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	
TERBUTRYN		0,117	0,053	0,109	0,057	0,106	0,058	0,090	0,050	0,107	0,054	0,099	0,056	0,106	0,058	
PAK	NAPHTHALIN		0,108	0,015	0,100	0,017	0,110	0,016	0,112	0,015	0,107	0,015	0,088	0,017	0,101	0,013
	PHENANTHREN		0,122	0,019	0,106	0,021	0,171	0,018	0,087	0,011	0,101	0,019	0,127	0,015	0,106	0,015
	FLUORANTHEN		0,151	0,006	0,168	0,006	0,130	0,006	0,143	0,004	0,055	0,006	0,083	0,007	0,139	0,008
	PYREN		0,234	0,008	0,204	0,007	0,135	0,007	0,184	0,005	0,063	0,007	0,084	0,006	0,139	0,007

Tab. 10: GC-MS Screening IV der Kläranlagen 1, 3, 5 und 6; ZU: Zulauf, ABL: Ablauf

			Kläranlage 6		Kläranlage 5		Kläranlage 3		Kläranlage 1					
			ZU 9	ABL 5	ZU 2	ABL 3	ZU 2	ABL 3	ZU 2	ABL 3	ZU 4	ABL 5	ZU 5	ABL 6
ORGANISCHE MIKROVERUNREINIGUNGEN - ABWASSER LFU BAYERN - 11/217 - 12/2017			17.10.17	18.10.17	26.10.2017	27.10.17	26.10.17	27.10.17	17.11.17	18.11.17	19.11.17	20.11.17	20.11.17	21.11.17
Alle Proben wurden unfiltriert untersucht!			Z9	A9	Z10	A10	Z11	A11	Z20	A20	Z21	A21	Z12	A12
LEITFÄHIGKEIT [µS/cm]			1345	840	1212	960	1263	860	1290	982	1150	837	1150	862
TRÜBUNG [NTU]			64	25	58	15	111	14	77	36	87	47	58	19
SAK (254 nm)			70,6	15,5	56,8	17,5	79,6	13,5	67,6	21,8	67,7	20,4	78,8	22,1
SUBSTANZGRUPPE	EINZELSUBSTANZ	ANMERKUNGEN	Alle Konzentrationen in µg/L											
PHARMAZEUTISCHE WIRKSTOFFE UND METABOLITE	CANDESARTAN		1,926	1,843	1,314	1,366	0,882	0,664	1,005	0,973	0,960	0,917	0,845	0,889
	CARBAMAZEPIN		0,727	0,643	0,651	0,421	0,859	0,741	0,632	0,590	0,658	0,549	0,669	0,631
	CLOFIBRINSÄURE		< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005
	DICLOFENAC		2,203	2,193	2,782	2,445	2,230	1,123	1,887	1,715	2,296	1,704	1,668	1,642
	2,6-DICHLORANILIN	Abbau von Diclofenac	< 0,005	0,015	< 0,005	0,003	< 0,005	0,047	< 0,005	0,016	< 0,005	0,014	< 0,005	0,003
	DIPHENHYDRAMIN		0,524	0,131	0,456	0,038	0,316	0,057	0,435	0,094	0,441	0,091	0,439	0,093
	GABAPENTIN		7,560	5,960	7,050	5,610	13,550	0,680	7,360	7,010	8,450	8,220	7,380	6,010
	HYDROCHLOROTHIAZID		4,905	4,648	3,535	3,585	3,228	2,385	2,921	2,786	2,794	2,580	2,410	2,514
	IBUPROFEN		19,590	0,237	18,490	0,079	19,224	0,206	10,976	0,097	11,748	0,074	10,432	0,076
	IBUPROFEN-OH	Transformation von Ibuprofen	31,486	0,194	29,376	0,061	27,634	0,011	18,808	0,056	19,197	0,055	16,466	0,049
	IBUPROFEN-COOH	Transformation von Ibuprofen	76,985	0,187	71,726	0,156	51,406	0,136	45,857	0,114	46,957	0,123	34,582	0,218
	IRBESARTAN		0,856	0,726	1,208	1,088	0,540	0,411	0,399	0,432	0,423	0,382	0,403	0,390
	LIDOCAIN		0,563	0,311	0,162	0,133	0,432	0,285	0,376	0,293	0,273	0,264	0,289	0,173
	METAMIZOL - ACETAMIDOANTIPYRIN	Transformation von Metamizol	3,675	0,065	3,299	0,031	3,305	0,015	1,841	0,075	1,917	0,077	1,937	0,134
	METAMIZOL-RO	Transformation von Metamizol	6,065	2,362	2,973	0,336	4,003	0,110	1,860	0,385	1,857	0,290	3,476	0,089
	METAMIZOL - METHYL-PHENYL-HYDRAZIN	Transformation von Metamizol	0,092	0,041	0,075	0,020	0,081	0,059	0,226	0,070	0,162	0,054	0,065	0,017
	METOPROLOL		1,450	0,928	0,854	0,734	1,236	0,676	1,177	0,910	1,079	0,920	0,913	0,875
	MIRTAZAPIN		0,413	0,230	0,135	0,105	0,207	0,124	0,196	0,134	0,208	0,127	0,180	0,118
	NAPROXEN		4,476	1,060	1,824	0,609	1,566	0,144	1,508	0,412	1,436	0,348	1,202	0,429
	PROPYPHENAZON		< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005
SULFAMETHOXAZOL		0,534	0,405	0,754	0,396	0,517	0,193	0,241	0,168	0,285	0,170	0,288	0,154	
TRAMADOL		0,464	0,313	0,302	0,189	0,539	0,252	0,371	0,294	0,356	0,297	0,332	0,254	
O-DESMETHYLTRAMADOL		0,295	0,122	0,111	0,013	0,582	0,066	0,116	0,023	0,124	0,012	0,521	0,071	
VENLAFAXIN		0,811	0,515	0,385	0,182	0,311	0,136	0,343	0,320	0,329	0,303	0,346	0,194	
NORVENLAFAXIN		0,848	0,177	0,441	0,020	0,965	0,075	0,384	0,060	0,380	0,073	0,561	0,277	
SYNTH. DUFTSTOFFE	AHTN (Tonalid)		0,412	0,091	0,330	0,073	0,373	0,064	0,349	0,086	0,425	0,085	0,315	0,083
	HHCB (Galaxolid)		2,875	0,617	2,117	0,480	2,672	0,433	2,083	0,526	2,941	0,521	2,219	0,505
	HHCB-Lacton I (Galaxolidon I)	Transformation von HHCB	1,799	1,055	1,222	1,319	1,612	1,301	0,963	0,867	1,251	0,864	1,067	1,080
	HHCB-Lacton II (Galaxolidon II)	Transformation von HHCB	0,215	0,148	0,272	0,159	0,145	0,161	0,055	0,118	0,068	0,124	0,139	0,165
	OTNE (ISO E Super, Patchouli-Ethanon)		15,702	3,893	5,043	1,138	3,521	1,021	5,388	0,854	6,926	0,947	3,311	0,673
	OTNE-OX	Abbau von OTNE	2,611	1,293	0,535	1,336	0,912	1,597	1,359	2,651	1,513	2,681	0,503	2,190
	METHYLDIHYDROJASMONAT (DHJ)		20,538	0,096	14,675	0,069	16,942	0,069	11,676	0,084	14,795	0,116	14,240	0,054
2,6-DIMETHYL-OCT-7-EN-2-OL (DIHYDROMYRCENOL)		42,16	0,020	34,26	0,005	36,14	0,020	25,67	0,022	35,78	0,012	26,57	0,001	
DESINFIZIERMITTEL	TRICLOSAN		0,320	0,056	0,228	0,051	0,419	0,040	0,210	0,026	0,206	0,028	0,180	0,028
	DODECYL-TRIMETHYLAMMONIUM HALOGENID		249,066	0,699	141,899	0,322	96,986	0,133	136,041	0,814	134,602	0,340	45,264	0,179
	TETRADECYL-TRIMETHYLAMMONIUM HALOGENID		180,727	0,428	100,606	0,194	67,917	0,094	98,793	0,742	116,136	0,480	32,160	0,099
	BENZYL-TRIMETHYLAMMONIUM HALOGENID		22,890	0,076	16,747	0,055	21,354	0,058	11,695	0,163	7,497	0,101	5,261	0,101
	PHENOXYETHANOL		53,306	0,052	56,076	0,105	57,414	0,065	101,624	0,019	50,169	0,012	38,244	0,005
	PHENOXYPROPANOL		23,014	0,015	90,310	0,015	16,121	0,011	7,691	0,013	5,171	0,015	2,830	0,003
	n-HEXYLSALICYLAT		7,413	0,085	3,689	0,027	2,723	0,028	3,777	0,034	6,244	0,040	3,355	0,046
	2-ETHYLHEXALSALICYLAT		2,999	0,037	1,794	0,009	1,658	0,015	1,253	0,034	1,735	0,027	1,237	0,065
LINEARE ARYLALKYLSULFONATE	ARYLALKYLSULFONATE (C10)		19,53	0,051	1,58	0,014	1,56	0,015	1,46	0,060	2,20	0,036	1,46	0,021
	ARYLALKYLSULFONATE (C11)		149,81	0,197	9,53	0,184	9,79	0,102	8,17	0,226	14,83	0,201	7,97	0,126
	ARYLALKYLSULFONATE (C12)		170,46	0,303	12,24	0,162	12,79	0,066	9,71	0,249	16,49	0,227	10,65	0,278
	ARYLALKYLSULFONATE (C13)		183,45	0,302	12,17	0,193	13,60	0,066	9,38	0,279	14,21	0,250	10,80	0,438

Tab. 11: GC-MS Screening V der Kläranlagen 1, 3, 5 und 6; ZU: Zulauf, ABL: Ablauf

			Kläranlage 6		Kläranlage 5		Kläranlage 3		Kläranlage 1					
ORGANISCHE MIKROVERUNREINIGUNGEN - ABWASSER LFU BAYERN - 11/2 17 - 12/2017			ZU 9	ABL 5	ZU 2	ABL 3	ZU 2	ABL 3	ZU 2	ABL 3	ZU 4	ABL 5	ZU 5	ABL 6
Alle Proben wurden unfiltriert untersucht!			17.10.17	18.10.17	26.10.2017	27.10.17	26.10.17	27.10.17	17.11.17	18.11.17	19.11.17	20.11.17	20.11.17	21.11.17
			Z9	A9	Z10	A10	Z11	A11	Z20	A20	Z21	A21	Z12	A12
SUBSTANZGRUPPE	EINZELSUBSTANZ	ANMERKUNGEN	Alle Konzentrationen in µg/L											
GLYCOL-DERIVATE	BUTOXYETHANOL		16,38	0,044	32,35	0,021	11,04	0,106	12,81	0,046	7,59	0,040	4,11	0,073
	PROPYLENGLYCOL-1		46,98	0,185	41,27	0,002	24,50	0,178	52,14	0,505	21,96	0,198	22,15	0,003
	PROPYLENGLYCOL-2		5,09	0,028	6,22	0,003	4,78	0,019	15,03	0,107	5,71	0,060	4,04	0,007
	PROPYLENGLYCOL-3		0,19	0,005	0,29	0,001	0,18	0,002	0,59	0,000	0,52	0,000	0,19	0,006
	PROPYLENGLYCOL-4		1,15	0,061	1,36	0,004	1,01	0,076	0,83	0,024	0,55	0,021	0,60	0,009
	PROPYLENGLYCOL-5		0,11	0,007	0,64	0,002	0,06	0,002	0,31	0,000	0,28	0,000	0,15	0,004
ALKANOL	DODECANOL-1		48,90	0,080	3,44	0,036	11,33	0,081	30,61	0,052	37,95	0,062	11,31	0,027
KORROSIONSSCHUTZMITTEL	1H-BENZOTRIAZOL		13,110	6,260	10,570	4,990	16,580	7,640	14,020	5,070	7,320	2,890	8,290	3,600
	TOLYLTRIAZOLE		2,970	2,260	2,490	1,710	3,130	1,860	7,780	4,370	6,880	3,360	3,490	2,820
PHOSPHORORGANISCHE FLAMMSCHUTZMITTEL UND WEICHMACHER	TRIETHYLPHOSPHAT (TEP)		0,411	0,365	1,383	0,037	1,072	0,492	2,750	0,293	0,604	0,281	0,530	0,011
	TRIS-t-BUTYL-PHOSPHAT (TtBP)		0,680	0,376	0,334	0,162	0,392	0,140	2,374	1,846	0,913	0,799	0,469	0,720
	TRIS-n-BUTYL-PHOSPHAT (TBP)		1,469	0,074	0,757	0,070	0,498	0,053	0,567	0,091	0,732	0,085	0,609	0,073
	TRIS-(BUTOXYTEHOXY)-PHOSPHAT (TEBP)		3,078	0,049	2,577	0,067	1,846	0,014	2,884	0,090	1,469	0,100	1,268	0,190
	TRIPHENYLPHOSPHAT (TPP)		0,098	0,018	0,075	0,019	0,122	0,006	0,047	0,007	0,056	0,012	0,040	0,022
	TRIPHENYLPHOSPHINOXID (TPPO)	kein FM	0,237	0,060	0,080	0,038	0,075	0,045	0,152	0,143	0,049	0,050	0,078	0,017
	TRIS-(CHLORETHYL)-PHOSPHAT (TCEP)		1,320	0,479	0,966	0,368	0,874	0,362	0,683	0,284	0,917	0,381	0,641	0,365
	TRIS-(CHLOROPROPYL)-PHOSPHAT (TCPP)		2,349	2,374	1,537	1,629	1,796	1,514	1,373	1,312	1,320	1,345	1,285	1,134
	TRIS-(DICHLOROPROPYL)-PHOSPHAT (TDCPP)		0,376	0,300	0,230	0,143	0,293	0,230	0,356	0,217	0,197	0,170	0,139	0,105
UV-STABILISATOREN	OCTOCRYLEN		15,751	0,139	7,833	0,119	9,574	0,064	4,283	0,116	6,697	0,088	5,271	0,128
	1,1-DIPHENYLACRYLNITRIL	Abbau von Octocrylen	0,147	0,106	0,031	0,110	0,049	0,108	0,015	0,220	0,029	0,165	0,022	0,202
	BENZOPHENON		0,259	0,056	0,128	0,036	0,238	0,013	1,820	0,043	1,932	0,051	2,025	0,058
	OXYBENZON		0,447	0,016	0,295	0,044	0,380	0,015	1,796	0,113	1,521	0,067	1,342	0,052
	DI-3,5-DI-t-BUTYL-4-HYDROXYZIMTSÄURE-OCTYLESTER		2,099	0,021	0,644	0,013	1,175	0,012	1,172	0,024	1,159	0,018	0,434	0,020
	DI-3,5-DI-t-BUTYL-4-HYDROXYZIMTSÄURE-OCTADECYLESTER		2,843	0,008	1,769	0,018	1,604	0,010	2,220	0,016	2,285	0,017	1,303	0,017
	7,9-DI-t-BUTYL-1-OXASPIRO(4,5)DECA-6,9-DIEN-2,8-DION	Abbau von Hydroxyzimtsäurester	0,764	0,243	0,999	0,703	1,971	0,610	0,787	0,841	0,790	0,699	1,315	0,336
ANTIOXIDANTIEN	BUTYLHYDROXYANISOL (BHA)		0,327	0,357	0,327	0,109	0,434	0,168	0,295	0,260	0,345	0,267	0,433	0,211
	BUTYLHYDROXYTOLUOL (BHT)		1,571	0,228	0,055	0,037	0,158	0,055	0,192	0,049	0,204	0,047	0,131	0,051
	2,6-DI-TERT-BUTYL-P-CHINON	Abbau von 2,6-di-t-BUTYLPHENO	0,187	0,052	0,665	0,173	1,225	0,265	0,404	0,215	0,504	0,200	0,815	0,130
ALKYLPHENOLE	BISPHENOLA		1,09	0,076	1,44	0,300	10,56	0,061	4,93	0,215	6,38	0,309	6,82	0,286
	4t-OCTYLPHENOL		0,146	0,033	0,051	0,013	0,075	0,012	0,065	0,029	0,085	0,022	0,055	0,058
	4-NONYLPHENOLE		0,317	0,273	0,344	0,092	0,611	0,254	0,656	0,091	0,681	0,091	0,560	2,087
BENZOTHIAZOLE	BENZOTHIAZOL (BT)		1,458	0,173	0,345	0,016	0,434	0,131	0,801	0,109	0,924	0,113	0,350	0,011
	METHYLTHIOBENZOTHIAZOL (MTBT)		0,875	0,927	0,443	0,357	0,305	0,148	0,573	0,298	0,501	0,265	0,276	0,139
PHENOL UND CRESOLE	PHENOL		9,400	0,014	2,951	0,002	4,488	0,017	75,931	0,034	12,338	0,022	4,076	0,004
	o-CRESOL		1,753	0,033	0,885	0,006	6,613	0,138	2,431	0,363	1,590	0,263	4,476	0,029
	p-CRESOL		19,585	0,008	2,658	0,004	21,814	0,050	31,311	0,270	24,343	0,183	21,133	0,016
HALOGENPHENOLE	2,4,6-TRICHLORPHENOL		0,022	0,017	0,031	0,008	0,023	0,015	0,096	0,050	0,122	0,071	0,114	0,057
	2,4,6-TRIBROMPHENOL		0,104	0,058	0,062	0,035	0,018	0,044	0,028	0,047	0,044	0,048	0,033	0,033
	PENTACHLORPHENOL		0,037	0,011	0,046	0,015	0,033	0,007	0,056	0,025	0,061	0,027	0,062	0,019
DMDTC	N,N'-DIMETHYLDITHIOCARBAMAT (DMDTC)	NITRIFIKATIONSHEMMER !	< 0,02	< 0,005	99,43	68,80	4,617	0,434	10,680	3,989	2,833	4,625	1,483	28,61



Tab. 12: GC-MS Screening VI der Kläranlagen 1, 3, 5 und 6; ZU: Zulauf, ABL: Ablauf;

			Kläranlage 6		Kläranlage 5		Kläranlage 3		Kläranlage 1					
ORGANISCHE MIKROVERUNREINIGUNGEN - ABWASSER LFU BAYERN - 11/2 17 - 12/2017			ZU 9	ABL 5	ZU 2	ABL 3	ZU 2	ABL 3	ZU 2	ABL 3	ZU 4	ABL 5	ZU 5	ABL 6
Alle Proben wurden unfiltriert untersucht!			17.10.17	18.10.17	26.10.2017	27.10.17	26.10.17	27.10.17	17.11.17	18.11.17	19.11.17	20.11.17	20.11.17	21.11.17
			Z9	A9	Z10	A10	Z11	A11	Z20	A20	Z21	A21	Z12	A12
SUBSTANZGRUPPE	EINZELSUBSTANZ	ANMERKUNGEN	Alle Konzentrationen in µg/L											
SONSTIGE	TETRAACETYLDIAMIN (TAED)		38,206	0,121	17,762	0,007	7,501	0,020	8,671	0,023	11,270	0,015	13,064	0,024
	COFFEIN		124,347	0,189	107	0,071	127	0,066	89,7	0,140	88,7	0,073	70,3	0,055
	NICOTIN		14,998	0,261	1,118	0,025	1,590	0,038	4,133	0,055	3,147	0,055	1,788	0,018
	COTININ		4,807	0,037	3,768	0,041	5,044	0,031	3,192	0,039	3,818	0,040	3,194	0,036
	CHOLESTANON		477	1,38	268	1,49	298	0,28	215	1,15	242	1,06	215	0,89
	CHOLESTANOL		337	1,05	195	0,49	225	0,15	165	0,89	182	0,84	162	0,66
	TRIETHYL CITRAT		20,156	1,830	12,405	0,350	9,693	0,484	9,704	1,248	12,575	1,475	12,627	1,235
PESTIZIDE	ATRAZIN		0,021	0,004	0,028	0,002	0,040	0,002	0,030	0,008	0,027	0,008	0,013	0,012
	ATRAZIN, DESETHYL-		0,036	0,008	0,020	0,004	0,034	0,006	0,027	0,013	0,024	0,012	0,031	0,013
	BOSCALID		< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005
	DEET		0,739	0,304	0,568	0,129	0,308	0,207	0,152	0,088	0,415	0,102	0,480	0,042
	2,4-DICHLORPHENOXYESSIGSÄURE		< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005
	DICHLORPROP		< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005
	ETHOFUMESAT		< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005
	2-HYDROXYBIPHENYL		1,124	0,066	0,536	0,012	0,181	0,051	1,430	0,064	0,592	0,024	0,554	0,030
	MCPA		0,009	0,008	0,012	0,008	0,008	0,006	0,005	0,005	0,006	0,005	0,008	0,005
	MECOPROP		0,035	0,018	0,040	0,038	0,040	0,038	0,015	0,015	0,024	0,026	0,022	0,021
	METAZACHLOR		< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005
	METOLACHLOR		< 0,01	0,002	< 0,01	0,002	< 0,01	0,005	< 0,01	0,009	< 0,01	0,009	< 0,01	0,004
	PENCONAZOL		< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005
	PENDIMETHALIN		< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005
	PROPICONAZOL		< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005
PROPYZAMID		< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	
TEBUCONAZOL		< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	
TERBUTRYN		0,415	0,253	0,378	0,230	0,138	0,047	0,085	0,073	0,074	0,044	0,119	0,035	
PAK	NAPHTHALIN		0,136	0,018	0,070	0,021	0,067	0,015	0,164	0,023	0,120	0,019	0,110	0,085
	PHENANTHREN		0,079	0,008	0,062	0,012	0,082	0,005	0,077	0,023	0,056	0,016	0,074	0,036
	FLUORANTHEN		0,081	0,004	0,099	0,003	0,045	0,004	0,035	0,009	0,039	0,008	0,049	0,016
	PYREN		0,091	0,002	0,064	0,003	0,072	0,004	0,064	0,008	0,052	0,006	0,076	0,008

Tab. 13: GC-MS Screening VII der Kläranlage 2; ZU: Zulauf, ABL: Ablauf;

			Kläranlage 2													
ORGANISCHE MIKROVERUNREINIGUNGEN - ABWASSER LFU BAYERN - 11/2 17 - 12/2017			ZU 1	ABL 1	ZU 2	ABL 2	ZU 3	ABL 3	ZU 4	ABL 4	ZU 5	ABL 5	ZU 6	ABL 6	ZU 7	ABL 7
Alle Proben wurden unfiltriert untersucht!			17.11.17	15.11.17	21.11.17	16.11.17	22.11.17	17.11.17	23.11.17	21.11.17	24.11.17	22.11.17	26.11.17	23.11.17	27.11.17	24.11.17
			Z13	A13	Z14	A14	Z15	A15	Z16	A16	Z17	A17	Z18	A18	Z19	A19
		LEITFÄHIGKEIT [µS/cm]	1200	680	1130	716	1145	842	1214	782	1378	857	1110	810	1184	888
		TRÜBUNG (NTU)	126	5	87	7	84	4	123	21	151	5	88	18	105	16
		SAK (254 nm)	51,8	10,9	47,0	11,8	50,9	12,7	50,8	13,6	73,7	13,5	52,6	13,9	49,9	14,4
SUBSTANZGRUPPE	EINZELSUBSTANZ	ANMERKUNGEN	Alle Konzentrationen in µg/L													
PHARMAZEUTISCHE WIRKSTOFFE UND METABOLITE	CANDESARTAN		1,542	1,025	1,338	1,195	1,537	1,362	1,748	1,418	1,867	1,433	1,437	1,471	1,593	1,566
	CARBAMAZEPIN		0,498	0,337	0,765	0,367	0,853	0,423	0,674	0,486	0,925	0,602	0,652	0,531	0,562	0,577
	CLOFIBRINSÄURE		< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005
	DICLOFENAC		2,798	1,749	2,361	2,103	2,556	2,221	3,107	2,846	3,794	2,180	3,006	2,415	3,388	2,568
	2,6-DICHLORANILIN	Abbau von Diclofenac	< 0,005	0,004	< 0,005	0,004	< 0,005	0,005	< 0,005	0,004	< 0,005	0,005	< 0,005	0,005	< 0,005	0,005
	DIPHENHYDRAMIN		0,405	0,061	0,374	0,046	0,253	0,085	0,422	0,102	0,299	0,095	0,244	0,083	0,255	0,097
	GABAPENTIN		6,850	4,250	7,380	5,560	10,870	5,740	9,000	5,570	8,920	6,160	7,340	6,260	6,520	6,200
	HYDROCHLOROTHIAZID		4,169	2,658	3,754	3,078	3,303	3,412	4,458	3,518	4,564	2,716	4,160	3,869	4,282	3,965
	IBUPROFEN		16,396	1,390	14,252	1,346	15,832	1,688	17,011	1,013	21,434	1,423	15,190	1,331	13,761	1,243
	IBUPROFEN-OH	Transformation von Ibuprofen	21,684	0,304	20,527	0,646	21,021	0,700	23,452	0,628	24,573	0,766	22,975	0,738	21,125	0,652
	IBUPROFEN-COOH	Transformation von Ibuprofen	54,751	0,030	50,470	0,030	30,941	0,054	36,915	0,030	41,520	0,037	46,294	0,048	50,155	0,031
	IRBESARTAN		0,471	0,249	0,483	0,293	0,394	0,353	0,402	0,374	0,426	0,412	0,439	0,386	0,320	0,409
	LIDOCAIN		0,308	0,131	0,262	0,145	0,273	0,193	0,515	0,760	11,599	0,592	0,369	0,442	0,369	0,327
	METAMIZOL - ACETAMIDOANTIPYRIN	Transformation von Metamizol	4,722	0,060	4,261	0,080	4,499	0,061	5,994	0,070	5,746	0,054	4,461	0,073	5,021	0,102
	METAMIZOL-RO	Transformation von Metamizol	2,215	0,564	2,335	1,068	2,709	0,837	3,764	0,957	3,591	0,418	2,538	1,624	3,142	1,098
	METAMIZOL - METHYL-PHENYL-HYDRAZIN	Transformation von Metamizol	0,071	0,072	0,074	0,065	0,177	0,069	0,122	0,109	0,300	0,075	0,120	0,112	0,138	0,110
	METOPROLOL		1,340	0,720	1,160	0,620	1,348	0,799	1,507	1,006	1,657	0,821	1,460	0,978	1,173	0,768
	MIRTAZAPIN		0,150	0,063	0,087	0,049	0,092	0,063	0,096	0,076	0,137	0,064	0,117	0,085	0,154	0,100
	NAPROXEN		2,061	0,818	1,725	0,805	1,081	0,827	1,875	0,871	1,513	0,706	1,704	0,807	1,826	0,877
	PROPPHENAZON		< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005
SULFAMETHOXAZOL		0,269	0,058	0,195	0,091	0,220	0,088	0,380	0,091	0,548	0,083	0,372	0,157	0,470	0,231	
TRAMADOL		0,571	0,164	0,407	0,167	0,547	0,243	0,508	0,201	0,391	0,198	0,454	0,219	0,537	0,221	
O-DESMETHYLTRAMADOL		0,312	0,034	0,260	0,065	0,344	0,054	0,549	0,053	0,351	0,031	0,228	0,103	0,411	0,065	
VENLAFAXIN		0,458	0,141	0,489	0,126	0,690	0,157	0,590	0,141	0,600	0,151	0,392	0,182	0,507	0,143	
NORVENLAFAXIN		0,359	0,048	0,315	0,079	0,457	0,086	0,750	0,110	0,633	0,115	0,496	0,229	0,924	0,193	
SYNTH. DUFTSTOFFE	AHTN (Tonolid)		0,452	0,083	0,286	0,068	0,260	0,072	0,341	0,077	0,394	0,076	0,265	0,084	0,343	0,085
	HHCB (Galaxolid)		2,411	0,598	1,544	0,597	1,573	0,678	2,091	0,684	2,707	0,709	2,025	0,711	2,520	0,721
	HHCB-Lacton I (Galaxolidon I)	Transformation von HHCB	1,698	0,783	1,080	0,802	1,420	0,803	1,622	0,881	1,832	0,957	1,168	0,777	1,689	0,877
	HHCB-Lacton II (Galaxolidon II)	Transformation von HHCB	0,210	0,097	0,083	0,099	0,173	0,101	0,116	0,110	0,142	0,112	0,138	0,124	0,160	0,104
	OTNE (ISO E Super, Patchouli-Ethanon)		3,659	2,201	2,433	1,980	2,263	2,035	2,824	2,071	4,212	2,078	2,991	1,988	3,057	2,634
	OTNE-OX	Abbau von OTNE	0,903	0,570	0,830	0,625	0,923	0,559	0,566	0,597	1,021	0,566	0,836	0,589	0,907	0,636
	METHYLDIHYDROJASMONAT (DHJ)		19,267	0,140	11,915	0,152	8,870	0,172	13,425	0,134	20,550	0,136	14,862	0,153	14,322	0,151
2,6-DIMETHYL-OCT-7-EN-2-OL (DIHYDROMYRCENOL)		31,87	0,032	29,58	0,022	31,69	0,049	30,19	0,015	39,60	0,038	35,36	0,024	27,61	0,023	
DESINFIZIENSMITTEL	TRICLOSAN		0,281	0,021	0,244	0,022	0,221	0,034	0,281	0,025	0,301	0,020	0,295	0,022	0,212	0,022
	DODECYL-TRIMETHYLAMMONIUM HALOGENID		119,403	0,094	37,836	0,058	22,355	0,097	64,816	0,074	133,712	0,110	42,045	0,072	57,517	0,101
	TETRADECYL-TRIMETHYLAMMONIUM HALOGENID		81,147	0,030	9,314	0,028	11,179	0,047	13,286	0,052	75,202	0,050	16,435	0,064	25,498	0,090
	BENZYL-TRIMETHYLAMMONIUM HALOGENID		12,016	0,034	8,801	0,051	4,559	0,048	10,445	0,030	12,819	0,050	6,068	0,042	12,472	0,041
	PHENOXYETHANOL		29,543	0,042	20,783	0,027	7,465	0,045	37,252	0,024	90,623	0,042	16,382	0,040	15,456	0,030
	PHENOXYPROPANOL		17,796	0,114	3,543	0,093	3,644	0,428	7,378	0,198	13,128	0,179	1,719	0,126	6,954	0,243
	n-HEXYLSALICYLAT		4,858	0,054	1,845	0,065	0,954	0,047	2,600	0,044	4,502	0,055	2,663	0,048	2,937	0,070
2-ETHYLHEXALISALICYLAT		1,505	0,027	1,396	0,018	0,901	0,017	1,156	0,021	2,017	0,021	1,111	0,029	1,225	0,023	
LINEARE ARYLALKYLSULFONATE	ARYLALKYLSULFONATE (C10)		1,88	0,028	1,17	0,018	1,41	0,049	1,55	0,039	2,22	0,045	1,54	0,045	1,82	0,095
	ARYLALKYLSULFONATE (C11)		10,88	0,132	5,79	0,122	7,54	0,163	8,90	0,149	12,41	0,135	9,68	0,162	10,54	0,212
	ARYLALKYLSULFONATE (C12)		13,98	0,145	7,56	0,156	8,86	0,169	10,52	0,195	16,36	0,181	9,73	0,226	13,07	0,266
	ARYLALKYLSULFONATE (C13)		13,93	0,150	8,34	0,196	9,84	0,218	12,01	0,270	16,75	0,229	11,37	0,245	13,69	0,288

Tab. 14: GC-MS Screening VIII der Kläranlage 2; ZU: Zulauf, ABL: Ablauf

			Kläranlage 2													
ORGANISCHE MIKROVERUNREINIGUNGEN - ABWASSER LFU BAYERN - 11/2 17 - 12/2017			ZU 1	ABL 1	ZU 2	ABL 2	ZU 3	ABL 3	ZU 4	ABL 4	ZU 5	ABL 5	ZU 6	ABL 6	ZU 7	ABL 7
Alle Proben wurden unfiltriert untersucht!			17.11.17	15.11.17	21.11.17	16.11.17	22.11.17	17.11.17	23.11.17	21.11.17	24.11.17	22.11.17	26.11.17	23.11.17	27.11.17	24.11.17
			Z13	A13	Z14	A14	Z15	A15	Z16	A16	Z17	A17	Z18	A18	Z19	A19
SUBSTANZGRUPPE	EINZELSUBSTANZ	ANMERKUNGEN	Alle Konzentrationen in µg/L													
GLYCOL-DERIVATE	BUTOXYETHANOL		5,41	0,131	6,50	0,034	7,52	0,109	9,09	0,080	41,12	0,124	5,25	0,111	4,06	0,202
	PROPYLENGLYCOL-1		69,10	2,593	94,02	0,867	77,32	2,066	56,58	1,539	62,58	2,195	12,22	1,560	48,38	1,435
	PROPYLENGLYCOL-2		8,27	0,155	3,95	0,087	4,63	0,206	5,48	0,128	6,73	0,154	4,69	0,148	4,83	0,162
	PROPYLENGLYCOL-3		22,09	6,526	16,76	4,080	25,44	6,477	36,12	5,130	26,21	5,586	15,30	4,450	21,70	4,654
	PROPYLENGLYCOL-4		52,69	10,227	42,02	7,466	47,46	11,892	51,94	10,719	46,47	10,986	31,59	8,942	43,15	10,178
	PROPYLENGLYCOL-5		77,47	29,777	65,16	30,968	86,76	40,859	108,09	32,963	83,89	33,319	59,64	31,689	77,50	27,987
ALKANOL	DODECANOL-1		186,00	0,092	112,85	0,055	131,79	0,081	120,76	0,084	170,98	0,115	91,64	0,070	128,56	0,053
KORROSIONSSCHUTZMITTEL	1H-BENZOTRIAZOL		14,570	5,060	10,330	5,990	11,900	6,530	18,380	11,190	18,320	11,260	12,980	8,020	11,940	8,080
	TOLYLTRIAZOLE		1,770	1,050	1,680	1,180	1,540	1,320	1,710	2,610	2,130	2,270	1,870	2,180	1,870	1,780
PHOSPHORORGANISCHE FLAMMSCHUTZMITTEL UND WEICHMACHER	TRIETHYLPHOSPHAT (TEP)		0,407	0,567	0,540	0,249	0,678	0,475	0,622	0,348	0,694	0,435	0,362	0,367	0,407	0,464
	TRIS-i-BUTYL-PHOSPHAT (TiBP)		0,928	0,154	0,738	0,143	0,691	0,134	0,877	0,136	0,720	0,163	0,625	0,114	0,797	0,184
	TRIS-n-BUTYL-PHOSPHAT (TBP)		0,637	0,069	0,514	0,069	0,307	0,067	0,485	0,073	0,800	0,071	0,516	0,047	0,430	0,078
	TRIS-(BUTOXYTEHOXY)-PHOSPHAT (TEBP)		1,732	0,062	1,163	0,084	1,756	0,116	1,043	0,075	0,883	0,083	0,966	0,129	1,063	0,116
	TRIPHENYLPHOSPHAT (TPP)		0,062	0,014	0,053	0,017	0,056	0,013	0,084	0,015	0,080	0,016	0,051	0,010	0,070	0,012
	TRIPHENYLPHOSPHINOXID (TPPO)	kein FM	0,071	0,016	0,058	0,022	0,041	0,024	0,046	0,028	0,071	0,028	0,031	0,021	0,047	0,023
	TRIS-(CHLORETHYL)-PHOSPHAT (TCEP)		0,797	0,266	0,945	0,281	0,942	0,226	0,593	0,177	1,004	0,263	0,333	0,099	0,563	0,195
	TRIS-(CHLORPROPYL)-PHOSPHAT (TCPP)		1,566	0,797	1,048	0,972	1,299	0,819	1,201	0,928	1,483	0,988	1,004	0,867	1,165	1,021
TRIS-(DICHLORPROPYL)-PHOSPHAT (TDCPP)		0,163	0,067	0,104	0,084	0,189	0,064	0,358	0,077	0,237	0,084	0,159	0,084	0,152	0,116	
UV-STABILISATOREN	OCTOCRYLEN		5,720	0,076	4,163	0,067	3,004	0,058	4,503	0,056	7,314	0,058	4,388	0,045	5,092	0,057
	1,1-DIPHENYLACRYLNITRIL	Abbau von Octocrylen	0,043	0,231	0,055	0,248	0,068	0,233	0,057	0,280	0,053	0,351	0,044	0,260	0,040	0,225
	BENZOPHENON		0,263	0,042	0,195	0,042	0,147	0,060	0,289	0,052	0,396	0,053	0,260	0,047	0,329	0,052
	OXYBENZON		0,688	0,024	1,117	0,029	1,401	0,021	0,831	0,025	0,419	0,024	0,990	0,020	1,043	0,025
	DI-3,5-DI-t-BUTYL-4-HYDROXYZIMTSÄURE-OCTYLESTER		0,795	0,013	0,499	0,013	0,383	0,010	0,980	0,010	2,214	0,008	0,725	0,006	0,984	0,014
	DI-3,5-DI-t-BUTYL-4-HYDROXYZIMTSÄURE-OCTADECYLESTER		1,442	0,012	0,779	0,011	0,437	0,008	0,843	0,010	1,563	0,009	0,886	0,008	0,991	0,011
7,9-DI-t-BUTYL-1-OXASPIRO(4,5)DECA-6,9-DIEN-2,8-DION	Abbau von Hydroxizimtsäurester	1,835	0,571	1,418	0,431	1,289	0,512	0,472	0,504	0,575	0,790	3,000	0,401	2,989	0,473	
ANTIOXIDANTIEN	BUTYLHYDROXYANISOL (BHA)		0,376	0,173	0,427	0,183	0,291	0,245	0,306	0,183	0,307	0,099	0,374	0,219	0,391	0,221
	BUTYLHYDROXYTOLUOL (BHT)		0,145	0,033	0,117	0,052	0,108	0,046	0,162	0,043	0,172	0,026	0,127	0,053	0,111	0,074
	2,6-DI-TERT-BUTYL-P-CHINON	Abbau von 2,6-di-t-BUTYLPHENO	1,077	0,390	1,075	0,261	0,844	0,266	0,296	0,275	0,397	0,571	1,968	0,242	1,935	0,206
ALKYLPHENOLE	BISPHENOL A		1,31	0,513	1,61	0,201	1,17	0,161	1,35	0,140	2,24	0,204	1,48	0,174	1,06	0,182
	4t-OCTYLPHENOL		0,056	0,023	0,204	0,021	0,056	0,017	0,018	0,020	0,080	0,021	0,033	0,019	0,035	0,020
	4-NONYLPHENOLE		0,709	0,101	3,885	0,139	0,537	0,153	0,478	0,144	0,529	0,138	0,459	0,137	0,554	0,150
BENZOTHAZOLE	BENZOTHAZOL (BT)		0,401	0,120	0,365	0,074	0,447	0,085	0,485	0,107	0,441	0,108	0,423	0,094	0,385	0,108
	METHYLTHIOBENZOTHAZOL (MTBT)		0,337	0,223	0,319	0,194	0,489	0,195	0,437	0,251	0,441	0,222	0,461	0,254	0,446	0,267
PHENOL UND CRESOLE	PHENOL		0,285	0,012	0,303	0,011	0,466	0,010	0,844	0,015	6,363	0,029	0,207	0,017	0,292	0,019
	o-CRESOL		3,917	0,149	2,915	0,048	2,403	0,150	2,393	0,144	3,000	0,216	1,730	0,172	3,713	0,151
	p-CRESOL		5,083	0,092	2,032	0,016	2,074	0,101	3,418	0,080	10,219	0,155	2,595	0,089	4,246	0,086
HALOGENPHENOLE	2,4,6-TRICHLORPHENOL		0,035	0,004	0,028	0,011	0,036	0,011	0,031	0,007	0,023	0,011	0,025	0,012	0,023	0,008
	2,4,6-TRIBROMPHENOL		0,038	0,035	0,031	0,035	0,033	0,036	0,036	0,010	0,041	0,017	0,018	0,023	0,021	0,026
	PENTACHLORPHENOL		0,018	0,008	0,048	0,031	0,039	0,032	0,043	0,032	0,038	0,017	0,060	0,029	0,039	0,029
DMDTC	N,N'-DIMETHYLDITHIOCARBAMAT (DMDTC)	NITRIFIKATIONSINHIBITIERER !	< 0,02	< 0,005	< 0,02	< 0,005	< 0,02	< 0,005	< 0,02	< 0,005	< 0,02	< 0,005	< 0,02	< 0,005	< 0,02	< 0,005

Tab. 15: GC-MS Screening IX der Kläranlage 2; ZU: Zulauf, ABL: Ablauf

			Kläranlage 2											
ORGFANISCHE MIKROVERUNREINIGUNGEN - ABWASSER LFU BAYERN - 11/2 17 - 12/2017			ZU 1	ABL 1	ZU 2	ABL 2	ZU 3	ABL 3	ZU 4	ABL 4	ZU 5	ABL 5	ZU 6	ABL 6
Alle Proben wurden unfiltriert untersucht!			17.11.17	15.11.17	21.11.17	16.11.17	22.11.17	17.11.17	23.11.17	21.11.17	24.11.17	22.11.17	26.11.17	23.11.17
			Z13	A13	Z14	A14	Z15	A15	Z16	A16	Z17	A17	Z18	A18
SUBSTANZGRUPPE	EINZELSUBSTANZ	ANMERKUNGEN	Alle Konzentrationen in µg/L											
SONSTIGE	TETRAACETYLDIAMIN (TAED)		6,838	0,107	5,856	0,087	2,821	0,115	6,168	0,090	11,526	0,087	6,981	0,039
	COFFEIN		107	2,047	85,8	2,546	84,3	2,239	91,5	2,264	100,1	2,329	87,2	2,280
	NICOTIN		2,559	0,280	2,673	0,235	2,897	0,216	1,918	0,136	1,214	0,130	1,790	0,226
	COTININ		5,342	0,020	3,864	0,050	3,944	0,053	5,185	0,060	5,326	0,047	3,807	0,043
	CHOLESTANON		249	0,53	205	0,65	143	0,67	213	0,78	288	0,61	196	0,62
	CHOLESTANOL		209	0,35	155	0,42	109	0,54	171	0,67	224	0,45	151	0,46
	TRIETHYLCITRAT		11,519	0,685	7,925	0,658	5,990	0,657	8,862	0,517	12,739	0,627	10,945	0,303
PESTIZIDE	ATRAZIN		0,013	0,010	0,019	0,010	0,011	0,009	0,015	0,008	0,010	0,011	0,008	0,011
	ATRAZIN, DESETHYL-		0,034	0,020	0,029	0,017	0,031	0,019	0,030	0,015	0,033	0,022	0,033	0,020
	BOSCALID		< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005
	DEET		0,186	0,061	0,322	0,147	0,249	0,126	0,188	0,201	0,395	0,180	0,154	0,157
	2,4-DICHLORPHENOXYESSIGSÄURE		< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005
	DICHLORPROP		< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005
	ETHOFUMESAT		< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005
	2-HYDROXYBIPHENYL		0,614	0,182	0,432	0,074	0,764	0,071	0,698	0,016	0,644	0,041	0,149	0,037
	MCPA		2,734	0,005	0,079	0,014	0,052	0,430	0,037	0,173	0,021	0,122	0,667	0,077
	MECOPROP		0,029	0,010	0,028	0,011	0,027	0,012	0,027	0,014	0,024	0,015	0,025	0,012
	METAZACHLOR		< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005
	METOLACHLOR		< 0,01	0,004	< 0,01	0,008	< 0,01	0,008	< 0,01	0,007	< 0,01	0,008	< 0,01	0,008
	PENCONAZOL		< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005
	PENDIMETHALIN		< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005
	PROPICONAZOL		< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005
	PROPYZAMID		< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005
TEBUCONAZOL		< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,01	< 0,005	
TERBUTRYN		0,143	0,048	0,120	0,043	0,181	0,067	0,179	0,089	0,148	0,084	0,146	0,095	
PAK	NAPHTHALIN		0,136	0,026	0,072	0,020	0,086	0,016	0,113	0,018	0,118	0,020	0,083	0,020
	PHENANTHREN		0,076	0,014	0,109	0,016	0,052	0,023	0,114	0,018	0,097	0,016	0,082	0,016
	FLUORANTHEN		0,038	0,005	0,043	0,009	0,024	0,008	0,045	0,009	0,039	0,008	0,025	0,009
	PYREN		0,045	0,004	0,054	0,008	0,037	0,005	0,086	0,006	0,088	0,006	0,044	0,007



Tab. 17: GC-MS Screening XI der Kläranlagen 8 und 14; ZU: Zulauf, ABL: Ablauf

ORGANISCHE MIKROVERUNREINIGUNGEN - ABWASSER LFU BAYERN - März 2019		Labor-Nr. LFU	Zu 22	Zu 23	Zu 24	Ab 24	Ab 25	Ab 26	Zu 28	Zu 29	Zu 30	Ab 31	Ab 32	Ab 33	Z 34	Z 35	Z 36
Alle Proben wurden unfiltriert untersucht		Kürzel Zuordnung LFU	Kläranlage 8						Kläranlage 14								
		LFU-Nr. ISWA 20190812-X	0312-7	0312-8	0312-9	0312-10	0312-11	0312-12	0312-13	0312-14	0312-15	0312-16	0312-17	0312-18	0312-19	0312-20	0312-21
n.b.: nicht bestimmbar																	
SUBSTANZGRUPPE	EINZELSUBSTANZ	ANMERKUNGEN	Alle Angaben in µg/L														
GLYCOL-DERIVATE	BUTOXYETHANOL		61,15	24,19	22,00	0,156	0,138	0,157	66,59	138,7	114,9	0,055	0,098	0,105	3,755	4,107	3,185
	BUTOXYPROPANOL		34,75	31,27	36,78	0,204	0,187	0,266	25,41	47,74	43,40	0,304	0,812	1,152	11,39	9,423	7,340
	PROPYLENGLYCOL-1		8,032	6,531	7,169	0,044	0,058	0,064	10,07	17,59	23,87	0,158	0,425	0,684	5,669	8,846	5,385
	PROPYLENGLYCOL-2		38,67	35,25	39,56	0,055	0,070	0,077	44,44	83,12	85,30	1,465	1,468	2,062	24,95	44,05	22,91
	PROPYLENGLYCOL-3		14,64	13,76	16,30	0,520	0,333	0,322	21,18	16,30	16,11	1,423	1,099	5,677	20,96	20,61	13,54
	PROPYLENGLYCOL-4		16,865	7,532	9,163	0,073	0,058	< BG	7,905	32,262	13,26	0,367	0,653	0,893	18,95	12,74	28,65
	PROPYLENGLYCOL-5		4,975	1,944	1,971	< BG	< BG	< BG	2,315	10,500	3,632	0,111	0,663	0,520	9,854	9,162	3,950
ALKANOLE	2-ETHYLHEXANOL		42,89	41,31	53,69	1,569	1,350	1,053	31,85	48,36	45,95	1,473	1,918	2,702	20,94	19,23	15,20
	DODECANOL-1		54,67	61,58	44,36	0,135	0,123	0,089	25,41	65,69	57,65	0,122	0,106	0,062	35,85	43,51	42,23
	TETRADECANOL		84,54	82,10	83,10	0,221	0,056	0,045	41,56	65,45	65,53	0,227	0,176	0,133	n.b.	n.b.	n.b.
	HEXADECANOL		104,7	97,0	115,2	0,212	0,233	0,164	51,08	86,88	90,03	0,475	0,462	0,300	n.b.	n.b.	n.b.
	OCTADECANOL		101,7	111,0	117,9	0,107	0,119	0,100	49,87	75,71	79,77	8,645	0,398	0,211	n.b.	n.b.	n.b.
KORROSIONSSCHUTZMITTEL	1H-BENZOTRIAZOL		6,930	7,760	8,200	2,760	3,330	3,930	4,880	8,090	6,480	4,120	3,080	3,750	3,440	2,620	3,420
	TOLYLTRIAZOLE		0,963	1,085	1,000	0,599	0,759	0,800	1,079	1,732	1,364	0,878	0,761	0,890	1,647	1,375	1,919
PHOSPHOR-ORGANISCHE FLAMMISCHUTZMITTEL UND WEICHMACHER	TRIETHYLPHOSPHAT (TEP)		0,326	0,215	0,254	0,036	0,040	0,024	1,771	1,726	1,505	0,214	0,284	0,391	4,998	4,064	4,114
	TRIS- <i>i</i> -BUTYL-PHOSPHAT (TiBP)		0,964	0,637	1,255	0,346	0,444	0,405	1,763	1,466	2,339	0,605	1,078	1,137	1,722	1,031	1,431
	TRIS- <i>n</i> -BUTYL-PHOSPHAT (TBP)		2,592	2,199	2,238	0,246	0,319	0,284	1,233	2,176	2,171	0,304	0,255	0,221	2,492	2,339	1,339
	TRIS-(BUTOXYTEHOXY)-PHOSPHAT (TEBP)		2,518	2,775	4,641	0,109	0,156	0,201	2,009	3,302	2,593	0,910	0,914	1,016	9,727	9,199	10,691
	OCTYL-DIPHENYLPHOSPHAT (ODPP)	Octanizer	0,281	0,315	0,446	1,757	2,259	1,692	0,326	0,828	0,483	0,089	0,109	0,119	< BG	< BG	< BG
	TRIPHENYLPHOSPHAT (TPP)		0,065	0,068	0,068	0,025	0,027	0,027	0,035	0,055	0,052	0,025	0,027	0,027	0,045	0,022	0,024
	TRIPHENYLPHOSPHINOXID (TPPO)	kein FM (Chemische Industrie)	0,418	0,502	0,376	0,211	0,141	0,428	0,053	0,065	0,071	0,034	0,056	0,049	0,312	0,686	1,193
	METHYLDIPHENYLPHOSPHINOXID (MDPPO)	kein FM (Chemische Industrie)	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
	TRIS-(CHLORETHYL)-PHOSPHAT (TCEP)		0,519	0,508	0,607	0,292	0,332	0,314	0,410	1,044	0,889	0,728	0,739	0,590	0,899	0,476	0,567
	TRIS-(CHLOROPROPYL)-PHOSPHAT (TCPP)		2,619	2,177	2,804	0,665	0,718	0,724	2,313	4,064	4,090	2,334	2,688	2,522	3,765	3,086	4,090
	TRIS-(DICHLOROPROPYL)-PHOSPHAT (TDCPP)		0,311	0,368	0,357	0,096	0,114	0,114	0,629	0,538	0,642	0,590	0,641	0,528	0,558	0,365	0,628
UV-STABILISATOREN	OCTOCRYLEN		7,698	7,708	8,376	0,021	0,022	0,021	2,314	4,011	3,280	0,263	0,167	0,191	3,270	2,490	3,120
	1,1-DIPHENYLACRYLNITRIL	Transformation von Octocrylen	0,427	0,251	0,462	0,052	0,061	0,066	0,165	0,320	0,271	0,062	0,036	0,042	0,285	0,320	0,427
	BENZOPHENON		0,855	1,047	1,528	0,165	0,148	0,141	0,650	0,988	0,823	0,130	0,161	0,150	2,279	1,772	2,284
	DIPHENYLMETHANOL	Transformation von Benzophenon	0,292	0,241	0,377	0,010	0,009	0,015	0,231	0,343	0,281	0,030	0,028	0,047	3,592	4,060	3,303
	OXYBENZON		0,316	0,236	0,323	0,007	0,008	0,010	0,286	0,615	0,387	0,007	0,008	0,008	0,500	0,208	0,284
	DI-3,5-DI- <i>t</i> -BUTYL-4-HYDROXYZIMTSÄURE-OCTYLESTER		2,202	1,642	2,035	0,017	0,016	0,013	0,866	1,403	1,147	0,260	0,046	0,032	0,530	0,350	0,455
	DI-3,5-DI- <i>t</i> -BUTYL-4-HYDROXYZIMTSÄURE-OCTADECYLESTER		2,167	1,680	1,933	0,012	0,009	0,010	0,756	1,309	0,963	0,247	0,022	0,033	0,637	0,414	0,402
	7,9-DI- <i>t</i> -BUTYL-1-OXASPIRO[4,5]DECA-6,9-DIEN-2,8-DION	Abbau von Hydroxymzäurestem	0,663	0,528	0,680	0,069	0,078	0,126	0,490	0,677	0,863	0,074	0,114	0,143	0,252	0,343	0,254
ANTIOXIDANTIEN	BUTYLHYDROXYANISOL (BHA)		0,355	0,249	0,346	0,169	0,147	0,129	0,168	0,268	0,266	0,188	0,065	0,074	1,318	0,674	1,363
	BUTYLHYDROXYTOLUOL (BHT)		0,496	0,102	0,383	0,022	0,016	0,015	0,214	0,141	0,170	0,026	0,005	0,016	0,842	0,153	1,501
	2,6-DI- <i>tert</i> -BUTYL- <i>p</i> -CHINON	Abbau von 2,6-di- <i>t</i> -BUTYLPHENOL	0,302	0,337	0,223	0,056	0,070	0,059	0,086	0,375	0,323	0,053	0,070	0,053	1,684	1,500	1,666
ALKYLPHENOLE	BISPHENOLA		2,806	1,408	1,474	0,123	0,090	0,137	1,098	1,706	1,698	0,189	0,158	0,155	6,815	5,818	4,933
	4t-OCTYLPHENOL		0,107	0,099	0,187	0,040	0,040	0,038	0,146	0,361	0,191	0,025	0,018	0,027	0,539	0,648	0,845
	4-NONYLPHENOLE		0,669	0,544	0,836	0,115	0,104	0,071	0,741	0,878	0,686	0,200	0,154	0,155	0,280	0,343	0,386
PHENOL und METHYLPHENOLE	PHENOL		67,30	123,3	62,58	< BG	< BG	< BG	22,92	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	176,0	204,9	39,99
	<i>o</i> -KRESOL		7,675	6,181	8,313	0,068	0,110	0,143	16,27	26,75	18,21	7,229	0,134	11,90	6,427	9,902	5,837
	<i>p</i> -KRESOL		120,9	84,19	92,50	< BG	< BG	< BG	44,50	140,7	73,43	4,955	< BG	35,09	144,8	44,35	12,02
BENZOTHIAZOLE	BENZOTHIAZOL (BT)		1,344	1,034	1,945	0,403	0,386	0,414	1,087	1,815	1,338	0,324	0,266	0,286	0,445	0,621	0,799
	METHYLTHIOBENZOTHIAZOL (MTBT)		0,444	0,738	3,784	1,401	1,763	1,579	0,602	1,266	0,614	0,581	0,697	0,526	0,510	0,542	0,486

Tab. 18: GC-MS Screening XII der Kläranlagen 8 und 14; ZU: Zulauf, ABL: Ablauf

ORGANISCHE MIKROVERUNREINIGUNGEN - ABWASSER LFU BAYERN - März 2019		Labor-Nr. LFU	Zu 22	Zu 23	Zu 24	Ab 24	Ab 25	Ab 26	Zu 28	Zu 29	Zu 30	Ab 31	Ab 32	Ab 33	Z 34	Z 35	Z 36	
Alle Proben wurden unfiltriert untersucht		Kürzel Zuordnung LFU	Kläranlage 8						Kläranlage 14									
		LFU-Nr. ISWA 20190312-X	0312-7	0312-8	0312-9	0312-10	0312-11	0312-12	0312-13	0312-14	0312-15	0312-16	0312-17	0312-18	0312-19	0312-20	0312-21	
n.b.: nicht bestimmbar																		
SUBSTANZGRUPPE	EINZELSUBSTANZ	ANMERKUNGEN	Alle Angaben in µg/L															
HALOGENPHENOLE	2,4,6-TRICHLORPHENOL		0,015	0,017	0,026	0,003	0,004	0,003	0,050	0,052	0,049	0,003	0,004	0,005	0,100	0,067	0,070	
	2,4,6-TRIBROMPHENOL		0,028	0,032	0,025	0,008	0,007	0,009	0,029	0,022	0,043	0,006	0,004	0,011	0,062	0,032	0,053	
	PENTACHLORPHENOL		0,061	0,050	0,050	0,014	0,009	0,018	0,072	0,054	0,079	0,015	0,010	0,011	0,144	0,120	0,135	
DMDTC	N,N'-DIMETHYLDITHIOCARBAMAT (DMDTC)	NITRIFIKATIONSHEMMER	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	
	N,N'-DIMETHYLTHIOCARBAMAT (DMTC)	Transformation von DMDTC	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	
SONSTIGE	TETRAACETYLETHENDIAMIN (TAED)	Bleichaktivator Waschmittel	21,79	48,90	68,14	0,015	0,007	0,005	3,064	22,86	17,51	0,143	0,006	0,009	1,056	0,162	0,655	
	TRIACETYLETHENDIAMIN (TriaED)	Transformation von TAED	51,93	36,49	49,68	0,002	0,011	0,021	19,152	27,61	20,86	0,124	0,097	0,099	8,553	2,735	3,240	
	2,4,7,9-TETRAMETHYL-5-DECYN-4,7-DIOL	Hinweis auf Lackierei, Lackverarbe	1,195	0,565	1,407	0,267	0,319	0,307	1,249	1,192	0,901	0,608	0,550	0,563	2,780	2,154	2,503	
	N-Butyl-BENZOLSULFONAMID	Industriechemikalie	0,622	0,470	0,610	0,868	0,856	0,595	0,624	1,452	0,973	0,302	0,476	0,548	6,288	4,860	5,355	
	COFFEIN		104,8	91,45	121,9	0,050	0,069	0,059	57,63	84,37	76,83	0,811	1,333	1,217	0,896	0,916	1,066	
	DIMETHYLXANTHIN	Transformation von Coffein	25,12	48,41	82,51	0,013	0,012	0,019	32,81	40,16	24,79	0,290	0,216	0,242	2,328	1,886	1,552	
	NICOTIN		17,51	7,958	15,79	0,165	0,309	0,577	12,86	15,69	12,88	0,518	0,431	0,542	14,22	21,69	12,62	
	COTININ	Transformation von Nicotin	13,40	11,01	13,48	0,027	0,046	0,038	7,595	11,27	10,58	0,017	0,094	0,080	5,669	8,209	6,578	
	CHOLESTANON		126,9	131,4	137,7	0,122	0,153	0,135	72,95	109,1	94,38	0,554	0,397	0,494	29,17	18,37	35,30	
	CHOLESTANOL		144,4	152,5	161,3	0,176	0,252	0,192	79,47	137,2	114,20	1,618	0,714	0,987	40,03	22,65	44,39	
	SKATOL	3-Methylindol: Fäkaliengeruchssto	13,25	9,571	13,99	0,002	0,005	0,006	14,93	55,50	11,61	0,010	0,006	0,023	334,1	370,0	156,5	
	INDOL	Transformation von Skatol	0,929	22,65	5,527	< BG	< BG	< BG	0,370	18,95	5,199	0,026	0,033	0,033	4,813	2,262	3,211	
	DIETHYLPHTHALAT (DEP)		5,335	3,917	7,560	0,188	0,149	0,169	3,930	5,040	5,184	0,140	0,163	0,130	0,655	1,041	0,525	
	DI-I-BUTYLPHTHALAT (DBP)		3,242	2,910	3,210	0,252	0,268	0,235	1,807	2,624	3,081	0,178	0,127	0,095	1,490	1,937	1,258	
	DI-n-BUTYLPHTHALAT (DBP)		2,578	2,179	2,249	0,228	0,301	0,229	1,308	2,110	2,716	0,225	0,175	0,173	2,059	1,689	1,291	
BENZYL-BUTYLPHTHALAT (BBP)	Phthalat-Weichmacher	0,179	0,213	0,264	0,010	0,015	0,015	0,246	0,288	0,574	0,019	0,015	0,030	0,274	0,233	0,074		
DIOCTYLPHTHALAT (DOP)		3,043	1,492	1,655	0,185	0,126	0,138	1,169	2,113	2,065	0,269	0,096	0,076	3,508	1,226	2,063		
DI-(2-ETHYLHEXYL)-PHTHALAT (DEHP)		11,70	10,26	9,535	5,297	3,514	2,899	12,50	10,50	10,97	1,911	0,469	0,291	13,97	4,073	11,41		
DI-I-NONYLPHTHALATE (DINP)		4,041	5,581	8,809	0,106	0,102	0,124	16,37	15,64	14,02	0,184	0,151	0,135	23,49	7,243	31,00		
DI-(2-ETHYLHEXYL)-TEREPHTHALAT		1,265	2,790	2,685	0,040	0,034	0,030	2,763	3,044	2,569	0,074	0,015	0,006	1,229	0,525	0,983		
TRIEHTYL-CITRAT		13,21	17,41	26,22	0,042	0,045	0,044	3,844	14,78	10,40	0,401	0,237	0,453	0,151	0,316	0,374		
TRIBUTYL-CITRAT	Zitronensäure-Weichmacher	0,822	1,248	1,472	0,028	0,034	0,049	1,313	1,342	1,168	0,053	0,036	0,035	0,328	0,192	0,231		
ACETYLBUTYL-CITRAT		1,415	1,531	1,362	0,088	0,088	0,138	1,679	2,817	3,126	0,154	0,073	0,089	0,466	0,348	0,458		
ATRAZIN		0,014	0,015	0,018	0,011	0,011	0,013	0,010	0,007	0,005	0,004	0,003	0,004	0,154	0,037	0,147		
ATRAZIN, DESETHYL-		0,079	0,084	0,090	0,021	0,023	0,020	0,052	0,044	0,037	0,023	0,013	0,011	0,054	0,076	0,079		
BOSCALID		< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG		
DEET	Insektenrepellent	0,854	1,364	1,182	0,051	0,048	0,050	0,335	0,637	0,662	0,181	0,170	0,155	1,148	16,507	0,559		
2,4-DICHLORPHENOXYESSIGSÄURE		< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG		
DICHLORPROP		< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG		
ETHOFUMESAT		< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG		
2-HYDROXYBIPHENYL		2,302	1,679	3,324	0,013	0,010	0,009	0,871	1,125	2,393	0,043	0,045	0,042	0,979	1,529	0,734		
KARIDIN	Insektenrepellent	7,065	5,441	5,763	0,050	0,048	0,035	1,590	5,116	1,926	0,081	0,214	0,180	5,688	4,504	4,266		
MCPA		< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG		
MECOPROP		0,034	0,047	0,046	0,003	0,003	0,003	0,140	0,098	0,043	0,007	0,006	0,008	0,274	0,202	0,155		
METAZACHLOR		< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG		
METOLACHLOR		0,008	0,009	0,007	0,001	0,002	0,002	0,014	0,011	0,012	0,003	0,002	0,002	0,015	0,011	0,014		
PENCONAZOL		< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG		
PENDIMETHALIN		< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG		
PROPICONAZOL		< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG		
PROPYZAMID		< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG		
TEBUCONAZOL		< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG		
TERBUTRYN		0,292	0,233	0,340	0,106	0,096	0,110	0,230	0,702	0,592	0,104	0,139	0,192	0,116	0,221	0,288		
PAK	NAPHTHALIN		0,167	0,276	0,183	0,021	0,022	0,017	0,166	0,281	0,452	0,026	0,038	0,023	0,614	1,142	0,937	
	PHENANTHREN		0,112	0,114	0,141	0,012	0,013	0,017	0,101	0,211	0,224	0,014	0,018	0,019	0,417	1,127	0,664	
	FLUORANTHEN		0,026	0,105	0,067	0,018	0,018	0,013	0,075	0,076	0,102	0,006	0,005	0,005	0,183	0,424	0,296	
	PYREN		0,069	0,083	0,056	0,006	0,006	0,008	0,090	0,078	0,145	0,008	0,006	0,005	0,272	0,426	0,353	





Tab. 20: GC-MS Screening XIV der Kläranlagen 9, 10, 11, 12, 13 und 15; ZU: Zulauf, ABL: Ablauf

ORGANISCHE MIKROVERUNREINIGUNGEN - ABWASSER LFU BAYERN - März 2019		Labor-Nr. LFU	Zu 37	Ab 38	Zu 39	Ab 40	Zu 41	Zu 42	Zu 43	Ab 44	Ab 45	Ab 46	Zu 47	Ab 48	Zu 49	Ab 50	Zu 51	Ab 51	
Alle Proben wurden unfiltriert untersucht		Kürzel Zuordnung LFU	Kläranlage 9		Kläranlage 11		Kläranlage 12		Kläranlage 13		Kläranlage 15		Kläranlage 10		Kläranlage 13				
		LFU-Nr. IS WA 20190312-X	0312-22	0312-23	0312-24	0312-25	0312-26	0312-27	0312-28	0312-29	0312-30	0312-31	0312-32	0312-33	0312-34	0312-35	0312-36	0312-37	
n.b.: nicht bestimmbar																			
SUBSTANZGRUPPE	EINZELSUBSTANZ	ANMERKUNGEN	Alle Konzentrationen in µg/L																
GLYCOL-DERIVATE	BUTOXYETHANOL		21,13	0,159	54,51	0,138	25,69	32,21	50,33	0,164	0,239	0,174	96,69	0,115	112,3	0,093	12,11	0,134	
	BUTOXYPROPANOL		48,28	0,094	37,83	0,185	33,64	52,16	44,70	0,391	0,538	0,415	28,66	0,872	37,02	0,084	12,36	0,109	
	PROPYLENGLYCOL-1		12,611	0,064	72,37	0,997	7,312	6,065	8,439	0,156	0,493	0,463	7,408	0,057	14,03	0,100	10,48	0,074	
	PROPYLENGLYCOL-2		51,26	0,171	366,7	1,993	33,38	9,296	38,69	0,512	0,892	0,730	28,02	0,078	82,41	0,087	45,27	1,041	
	PROPYLENGLYCOL-3		8,131	0,338	17,45	0,209	15,62	9,726	12,17	0,307	0,779	0,860	15,05	0,512	9,920	0,268	12,22	0,064	
	PROPYLENGLYCOL-4		7,425	0,080	11,26	0,112	16,72	5,734	15,77	0,373	0,838	0,772	1148	3,133	11,34	0,133	7,514	< BG	
	PROPYLENGLYCOL-5		1,390	< BG	6,437	0,059	7,211	4,597	8,802	0,390	1,078	1,412	9,51	0,054	0,623	< BG	0,828	< BG	
ALKANOLE	2-ETHYLHEXANOL		43,20	1,177	50,48	1,155	35,20	55,41	56,42	0,790	1,326	1,255	312,5	0,849	38,22	0,917	27,43	0,981	
	DODECANOL-1		122,1	0,127	25,36	0,094	39,61	25,54	117,6	0,076	0,092	0,089	1527	0,053	64,37	0,060	3,530	0,041	
	TETRADECANOL		121,7	0,210	42,47	0,269	76,66	60,95	113,5	0,450	0,425	0,390	493,8	1,231	85,87	0,120	17,00	0,119	
	HEXADECANOL		124,0	0,380	68,59	0,110	97,13	96,21	95,25	0,161	0,200	0,176	425,8	1,054	109,0	0,133	51,46	0,075	
	OCTADECANOL		114,7	0,222	72,75	0,183	121,8	114,8	94,15	0,271	0,334	0,211	490,6	0,149	96,92	0,251	56,87	0,119	
KORROSIONSSCHUTZMITTEL	1H-BENZOTRIAZOL		9,860	3,080	8,630	9,020	6,970	5,790	8,360	11,84	9,070	6,76	1,330	7,52	3,230	5,52	2,830		
	TOLYLTRIAZOLE		1,739	0,982	1,634	2,070	5,553	4,070	3,121	7,295	6,342	2,527	1,154	0,470	1,340	1,296	0,685	0,796	
PHOSPHOR-ORGANISCHE FLAMMSCHUTZMITTEL UND WEICHMACHER	TRIETHYLPHOSPHAT (TEP)		1,021	0,568	1,328	0,397	4,070	0,771	0,537	0,163	0,185	0,130	2,077	0,121	1,261	0,266	0,551	0,147	
	TRIS- <i>i</i> -BUTYL-PHOSPHAT (TiBP)		0,691	0,275	1,225	0,381	1,046	0,989	0,991	0,419	0,415	0,373	1,268	0,198	0,633	0,178	0,639	0,247	
	TRIS- <i>n</i> -BUTYL-PHOSPHAT (TBP)		1,545	0,257	1,858	0,200	1,737	1,159	1,365	0,166	0,179	0,188	4,346	0,179	1,928	0,178	1,577	0,210	
	TRIS-(BUTOXYTEHOXY)-PHOSPHAT (TEBP)		2,261	0,076	5,399	0,242	2,724	4,031	3,084	0,530	0,651	0,841	3,185	0,131	1,571	0,060	2,140	0,064	
	OCTYL-DIPHENYLPHOSPHAT (ODPP)	Octanizer	0,546	0,006	0,246	0,000	0,239	0,145	0,247	0,014	0,019	0,016	0,152	0,009	1,945	0,011	0,136	0,005	
	TRIPHENYLPHOSPHAT (TPP)		0,078	0,007	0,068	0,016	0,055	0,046	0,072	0,012	0,010	0,012	0,064	0,002	0,060	0,008	0,038	0,007	
	TRIPHENYLPHOSPHINOXID (TPPO)	kein FM (Chemische Industrie)	0,071	0,035	0,057	0,018	0,071	0,105	0,062	0,035	0,032	0,026	0,073	0,040	0,199	0,004	0,025	0,005	
	METHYLDIPHENYLPHOSPHINOXID (MDPPO)	kein FM (Chemische Industrie)	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
	TRIS-(CHLORETHYL)-PHOSPHAT (TCEP)		0,580	0,259	0,468	0,186	0,542	0,482	0,496	0,262	0,182	0,207	0,524	0,164	0,933	0,226	0,327	0,103	
	TRIS-(CHLOROPROPYL)-PHOSPHAT (TCPP)		3,007	0,923	2,865	1,506	2,218	3,853	3,122	1,064	1,279	1,500	1,278	1,719	1,875	0,254	2,031	0,316	
	TRIS-(DICHLORPROPYL)-PHOSPHAT (TDCPP)		0,460	0,138	0,565	0,347	0,317	0,303	0,319	0,153	0,136	0,153	0,258	0,086	0,222	0,046	0,185	0,043	
UV-STABILISATOREN	OCTOCRYLEN		10,518	0,042	5,265	0,040	5,652	5,235	6,883	0,181	0,126	0,201	3,674	0,007	5,457	1,046	3,193	0,023	
	<i>i</i> , <i>i</i> '-DIPHENYLACRYLONITRIL	Transformation von Octocrylen	0,328	0,202	0,283	0,088	0,296	0,249	0,248	0,038	0,033	0,036	0,464	0,103	0,198	0,066	0,293	0,038	
	BENZOPHENON		0,645	0,060	0,856	0,144	0,569	0,675	0,622	0,078	0,131	0,131	1,071	0,010	0,600	0,022	0,467	0,020	
	DIPHENYLMETHANOL	Transformation von Benzophenon	0,273	0,021	0,290	0,039	0,810	0,933	0,815	0,085	0,070	0,086	0,377	0,004	0,125	0,003	0,368	0,005	
	OXYBENZON		0,475	0,022	0,367	0,030	0,364	0,337	0,337	0,008	0,011	0,009	1,047	0,014	0,440	0,010	0,140	0,007	
	DI-3,5-DI- <i>t</i> -BUTYL-4-HYDROXYZIMTSÄURE-OCTYLESTER		2,481	0,025	1,444	0,028	1,689	1,925	2,475	0,019	0,015	0,047	1,505	0,012	1,462	0,019	0,871	0,008	
	DI-3,5-DI- <i>t</i> -BUTYL-4-HYDROXYZIMTSÄURE-OCTADECYLESTER		2,730	0,040	1,185	0,029	1,803	1,910	2,476	0,014	0,020	0,033	1,372	0,021	1,404	0,040	0,866	0,022	
	7,9-DI- <i>t</i> -BUTYL-1-OXASPIRO(4,5)DECA-6,9-DIEN-2,8-DION	Abbau von Hydroxizimtsäurestem	0,301	0,104	0,346	0,114	0,600	0,572	0,599	0,090	0,121	0,082	1,052	0,237	0,243	0,069	0,643	0,144	
ANTIOXIDANTIEN	BUTYLHYDROXYANISOL (BHA)		0,233	0,147	0,221	0,084	0,246	0,100	0,201	0,207	0,089	0,104	0,338	0,128	0,328	0,181	0,261	0,105	
	BUTYLHYDROXYTOLUOL (BHT)		0,100	0,026	0,058	0,022	0,252	0,092	0,429	0,015	0,008	0,010	0,186	0,015	0,428	0,034	0,299	0,024	
	2,6-DI- <i>TERT</i> -BUTYL- <i>P</i> -CHINON	Abbau von 2,6-di- <i>t</i> -BUTYLPHENOL	0,418	0,079	0,344	0,049	0,378	0,149	0,282	0,067	0,072	0,074	0,901	0,037	0,570	0,033	0,242	0,043	
ALKYLPHENOLE	BISPHENOLA		1,761	0,121	1,500	0,342	1,971	2,761	1,618	0,107	0,092	0,118	2,214	0,046	1,513	0,069	1,038	0,107	
	4- <i>t</i> -OCTYLPHENOL		0,365	0,064	0,252	0,020	0,364	0,123	0,308	0,023	0,029	0,029	0,398	0,014	4,542	0,038	0,630	0,020	
	4-NONYLPHENOLE		0,789	0,169	1,249	0,121	1,087	1,136	1,102	0,120	0,102	0,108	1,342	0,057	2,210	0,137	0,971	0,084	
PHENOL und METHYLPHENOLE	PHENOL		54,50	< BG	33,54	< BG	136,7	< BG	173,9	< BG	< BG	< BG	365,7	< BG	362,1	< BG	0,768	< BG	
	<i>o</i> -KRESOL		4,449	0,049	4,450	0,047	2,604	< BG	6,855	0,054	0,309	0,275	25,93	0,043	3,590	0,308	6,828	0,182	
	<i>p</i> -KRESOL		83,29	< BG	77,11	< BG	149,4	< BG	165,9	< BG	< BG	< BG	149,0	< BG	49,70	< BG	3,755	< BG	
BENZOTHIAZOLE	BENZOTHIAZOL (BT)		1,338	0,098	1,543	0,031	1,167	0,980	1,522	0,070	0,084	0,064	2,068	0,066	1,924	0,065	4,316	0,043	
	METHYLTHIOBENZOTHIAZOL (MTBT)		0,753	0,311	1,142	0,784	0,658	0,727	0,694	0,382	0,488	0,422	0,998	0,128	1,156	0,057	1,306	0,361	

Tab. 21: GC-MS Screening XV der Kläranlagen 9, 10, 11, 12, 13 und 15; ZU: Zulauf, ABL: Ablauf

ORGANISCHE MIKROVERUNREINIGUNGEN - ABWASSER LFU BAYERN - März 2019		Ab 38	Zu 39	Ab 40	Zu 41	Zu 42	Zu 43	Ab 44	Ab 45	Ab 46	Zu 47	Ab 48	Zu 49	Ab 50	Zu 51	Ab 51		
Alle Proben wurden unfiltriert untersucht		Kläranlage 9		Kläranlage 11		Kläranlage 12						Kläranlage 15		Kläranlage 10		Kläranlage 13		
LFL-Nr. ISWA 20190312-X		0312-22	0312-23	0312-24	0312-25	0312-26	0312-27	0312-28	0312-29	0312-30	0312-31	0312-32	0312-33	0312-34	0312-35	0312-36	0312-37	
n.b.: nicht bestimmbar																		
SUBSTANZGRUPPE	EINZELSUBSTANZ	ANMERKUNGEN																
		Alle Konzentrationen in µg/L																
HALOGENPHENOLE	2,4,6-TRICHLORPHENOL	0,013	0,003	0,021	0,004	0,023	0,039	0,021	0,004	0,004	0,003	0,019	0,003	0,026	0,003	0,039	0,004	
	2,4,6-TRIBROMPHENOL	0,023	0,005	0,043	0,028	0,050	0,058	0,037	0,007	0,007	0,006	0,018	0,002	0,026	0,011	0,021	0,012	
	PENTACHLORPHENOL	0,085	0,020	0,111	0,017	0,070	0,097	0,068	0,007	0,007	0,009	0,078	0,010	0,054	0,009	0,033	0,009	
DMDTC	N,N'-DIMETHYLDITHIOCARBAMAT (DMDTC)	NITRIFIKATIONSHEMMER																
	N,N'-DIMETHYLTHIOCARBAMAT (DMTC)	Transformation von DMDTC																
SONSTIGE	TETRAACETYLETHENDIAMIN (TAED)	Bleichaktivator Waschmittel																
	TRIACTYLETHENDIAMIN (TriAED)	Transformation von TAED																
	2,4,7,9-TETRAMETHYL-5-DECYLN-4,7-DIOL	Hinweis auf Lackerei, Lackverarbe																
	N-Butyl-BENZOLSULFONAMID	Industriechemikalie																
	COFFEIN	102,9	0,065	87,76	0,234	107,8	104,1	100,3	0,912	1,257	1,152	69,07	0,026	74,74	0,011	92,75	0,006	
	DIMETHYLXANTHIN	Transformation von Coffein																
	NICOTIN	2,994	0,670	6,794	0,745	10,57	11,26	13,46	0,756	0,398	0,860	8,952	0,052	16,11	0,255	14,38	0,561	
	COTININ	Transformation von Nicotin																
	CHOLESTANON	204,4	0,452	79,98	0,128	116,9	98,49	109,0	0,545	0,403	0,820	133,0	0,006	196,5	0,015	62,89	0,072	
	CHOLESTANOL	215,9	0,541	105,0	0,204	137,0	122,9	144,5	0,996	0,653	1,397	308,5	0,034	213,7	0,080	93,46	0,161	
	SKATOL	3-Methylindol: Fäkalienengeruchsst																
	INDOL	Transformation von Skatol																
		DIETHYLPHTHALAT (DEP)	13,09	0,146	3,925	0,124	5,464	3,424	6,922	0,283	0,386	0,450	3,327	0,089	3,736	0,062	4,560	0,078
DI- <i>i</i> -BUTYLPHTHALAT (DiBP)		3,025	1,247	2,911	0,905	4,382	4,177	4,246	0,726	0,678	0,836	2,815	0,652	1,953	0,578	2,633	0,556	
DI- <i>n</i> -BUTYLPHTHALAT (DBP)		2,365	0,663	2,209	0,537	2,617	4,244	3,022	0,374	0,348	0,497	2,197	0,700	2,873	0,957	2,128	0,678	
BENZYL-BUTYLPHTHALAT (BBP)		0,133	0,011	0,140	0,021	0,405	0,438	0,483	0,034	0,026	0,055	0,454	0,019	0,153	0,029	0,481	0,022	
DIOCTYLPHTHALAT (DOP)		2,016	0,102	1,707	0,118	1,372	2,314	1,642	0,061	0,105	0,081	0,586	0,090	1,486	0,055	0,869	0,060	
DI-(2-ETHYLHEXYL)-PHTHALAT (DEHP)		23,18	0,922	16,33	0,465	13,61	16,70	16,44	0,640	0,432	0,331	6,176	1,034	15,62	0,252	9,279	0,314	
DI- <i>n</i> -NONYLPHTHALATE (DINP)		35,75	0,057	12,84	0,071	16,55	20,31	19,59	0,140	0,085	0,563	15,92	0,043	16,46	0,017	9,521	0,033	
DI-(2-ETHYLHEXYL)-TEREPHTHALAT		3,999	0,009	2,524	0,009	3,052	2,814	4,737	0,008	0,016	0,020	2,192	0,006	2,865	0,017	2,345	0,003	
TRIETHYLCITRAT		20,06	0,429	12,31	0,241	11,15	3,077	19,52	0,543	1,092	1,352	86,81	0,078	5,904	0,052	9,266	0,009	
TRIBUTYLCITRAT		9,266	0,058	0,788	0,099	2,845	0,778	1,417	0,082	0,115	0,143	1,317	0,063	0,793	0,143	0,921	0,018	
ACETYLBUTYLCITRAT	2,444	0,088	1,016	0,237	1,761	1,663	1,806	0,186	0,220	0,236	2,686	0,054	1,180	12,29	2,074	0,089		
PESTIZIDE	ATRAZIN	0,012	0,005	0,007	0,006	0,011	0,015	0,015	0,007	0,008	0,006	0,018	0,007	0,018	0,018	0,010	0,008	
	ATRAZIN, DESETHYL-BOSCALID	0,064	0,009	0,028	0,003	0,065	0,061	0,073	0,025	0,022	0,025	0,086	0,006	0,088	0,029	0,051	0,014	
	DEET	Insektenrepellent																
	2,4-DICHLORPHENOXYESSIGSÄURE	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
	DICHLORPROP	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
	ETHOFUMESAT	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
	2-HYDROXYBIPHENYL	0,337	0,092	0,577	0,035	2,768	1,895	0,783	0,084	0,037	0,080	1,655	0,007	0,070	0,010	0,057	0,031	
	ICARIDIN	Insektenrepellent																
	MCPA	4,721	0,057	4,200	0,114	5,156	2,707	4,160	0,396	0,312	0,319	3,333	0,139	3,078	0,047	2,372	0,028	
	MECOPROP	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
	METAZACHLOR	0,060	0,009	0,056	0,009	0,104	0,094	0,086	0,007	0,007	0,007	0,037	0,002	0,053	0,047	0,018	0,009	
	METOLACHLOR	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
	PENCONAZOL	0,005	0,001	0,006	0,001	0,011	0,008	0,006	0,001	0,001	0,002	0,006	0,001	0,015	0,002	0,005	0,003	
	PENDIMETHALIN	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
	PROPICONAZOL	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
PROPYZAMID	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	
TEBUCONAZOL	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	
TERBUTRYN	0,295	0,062	0,260	0,182	1,147	0,079	0,099	0,036	0,033	0,033	45,631	1,364	0,045	0,003	0,118	0,007		
PAK	NAPHTHALIN	0,282	0,020	0,322	0,027	0,239	0,680	0,387	0,028	0,020	0,020	0,199	0,027	0,286	0,021	0,282	0,033	
	PHENANTHREN	0,465	0,022	0,156	0,017	0,318	0,505	0,267	0,031	0,053	0,044	0,519	0,039	0,195	0,016	0,229	0,028	
	FLUORANTHEN	0,300	0,011	0,179	0,006	0,269	0,175	0,216	0,012	0,013	0,012	0,167	0,015	0,115	0,003	0,103	0,010	
	PYREN	0,267	0,006	0,167	0,006	0,223	0,144	0,183	0,013	0,016	0,011	0,183	0,024	0,094	0,004	0,094	0,009	



Eine Behörde im Geschäftsbereich  
Bayerisches Staatsministerium für  
Umwelt und Verbraucherschutz

