

# **Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination auf der Zentralkläranlage Lippstadt**

**Kurzbericht**

Stadtentwässerung Lippstadt AÖR

**Impressum**

Auftraggeber: Stadtentwässerung Lippstadt AöR

Auftragnehmer: **Sweco GmbH**

Postfach 30 01 06  
50771 Köln

Graeffstraße 5  
50823 Köln

Bearbeitung: Angelika Boekels, M.Sc.  
Dr. Ulf Schulze-Hennings

Bearbeitungszeitraum: Mai 2017 - Dezember 2017

		Seite
<b>Inhaltsverzeichnis</b>		
<b>1</b>	<b>Veranlassung und Hintergründe der Mikroschadstoffelimination</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Kurzbeschreibung des Einzugsgebietes und der Verfahrenstechnik der Zentralkläranlage Lippstadt</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Abwasseranalyse und Auslegungswerte</b>	<b>3</b>
3.1	Standardabwasserparameter und Mikroschadstoffe	3
3.2	Bromidkonzentrationen und Ozonzehrung	5
3.3	Auslegungswassermenge	5
3.4	Eliminationsraten	6
<b>4</b>	<b>Ausarbeitung von technischen Anlagenkonzepten</b>	<b>8</b>
4.1	Randbedingungen auf der Kläranlage Lippstadt und Variantenauswahl	8
4.2	Variante 1: PAK-Dosierung in separate Adsorptionsstufe und Tuchfiltration	9
4.3	Variante 2: GAK-Filtration	10
4.4	Variante 3: Ozonung und biologische Nachbehandlung im Wirbelbett	11
<b>5</b>	<b>Variantenbewertung</b>	<b>14</b>
5.1	Vorgehensweise zur Verfahrensbewertung	14
5.2	Verfahrensbewertung mit und ohne Berücksichtigung einer Förderung und Minderung der Abwasserabgabe	14
<b>6</b>	<b>Empfehlung</b>	<b>17</b>
6.1	Erfordernis zur Mikroschadstoffelimination	17
6.2	Verfahrensempfehlung	18
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>20</b>

## 1 Veranlassung und Hintergründe der Mikroschadstoffelimination

Der Begriff „Mikroschadstoffe“ ist in den vergangenen Jahren immer mehr in den Fokus der Wissenschaft sowie der Öffentlichkeit gerückt. Der Begriff beschreibt die Reste der zahlreichen komplexen Chemikalien, die nach dem Gebrauch entweder unverändert oder nach Umbau in Organismen als Konjugate bzw. Metaboliten in die Gewässer gelangen. Beispielsweise sind pharmazeutische Wirkstoffe, Flammschutzmittel, Biozide und weitere Industriechemikalien in dieser Gruppe zu nennen. Mikroschadstoffe liegen in der Regel in sehr niedrigen Konzentrationen vor, dennoch konnte in den letzten Jahren die Ökotoxizität einer Vielzahl von Mikroschadstoffen in der Umwelt nachgewiesen werden bzw. von vielen Stoffen ist zukünftig aufgrund der steigenden Verbrauchsmengen ein hohes Gefährdungspotenzial zu erwarten (Umweltbundesamt, 2011).

Vor dem Hintergrund des demographischen Wandels und der industriellen Weiterentwicklung kann die Mikroschadstoffproblematik in Zukunft drastischer werden. Beispielsweise werden Humanpharmaka insbesondere durch die steigende individuelle Lebenserwartung und des damit verknüpften steigenden Arzneimittelkonsums künftig in noch größerer Anzahl und Menge über die kommunale Abwasserentsorgung in die Umwelt eingebracht. Aufgrund der Persistenz, des Bioakkumulationspotenzials und der Toxizität von Mikroschadstoffen besteht zur langfristigen Sicherung einer hohen Wasserqualität grundsätzlich Handlungsbedarf zur Reduktion der Einträge von Mikroschadstoffen in Gewässer.

Die umweltschädlichen Stoffe sollen in der Regel möglichst an der Quelle minimiert und ggf. mit unschädlichen Alternativen ersetzt werden. Das ist jedoch nicht immer und für jeden Stoff möglich. Eine Vielzahl der Mikroschadstoffe wird mit dem Abwasser in kommunale Kläranlagen transportiert. Die persistenten Mikroschadstoffe können während der biologischen Behandlung im Abwasserreinigungsprozess nur in begrenztem Maße eliminiert werden und sind im Ablauf der Anlagen nach Stand der Technik noch nachweisbar. Die kommunalen Anlagen gehören daher zu den wichtigen Eintragspfaden der Mikroschadstoffe in die Oberflächengewässer.

Um den Eintrag von Mikroschadstoffen in die Kanalisation bzw. in die Gewässer zu minimieren, sind gefächerte Maßnahmen unerlässlich. Im Infrastruktursystem der Wasserver- und Abwasserentsorgung kann die Entfernung der Mikroschadstoffe an unterschiedlichen Stellen und mittels verschiedenster Verfahren realisiert werden. Hierbei kann zwischen der dezentralen Mikroschadstoffelimination am Anfallort (z. B. Industriebetriebe, Krankenhäuser, Pflegeeinrichtungen) und zentralen in der kommunalen Kläranlage oder bei der zentralen Trinkwasseraufbereitung unterschieden werden. Eine weitgehende Verbesserung der Ablaufqualität bzw. Elimination der Mikroschadstoffe auf Kläranlagen ist durch weitergehende (additive) Maßnahmen realisierbar. Hierzu haben sich bisher die Techniken der Ozonung und der Aktivkohleadsorption zurzeit als umsetzbare Techniken herauskristallisiert.

NRW setzt bei dem Thema der Mikroschadstoffelimination auf einen ganzheitlichen Ansatz auf unterschiedlichen Ebenen. Ein Ansatz ist es, Stoffe möglichst an der Quelle zu verhindern, z.B. durch die Substitution gefährlicher Stoffe durch ungefährlichere Alternativen. Einen ähnlichen Ansatz verfolgte das Projekt „Den Spurenstoffen auf der Spur“ des Landes Nordrhein-Westfalen, der Stadt Dülmen und des Lippeverbands (DSADS, 2016). Dieses hatte u.a. das Ziel, die Bevölkerung hinsichtlich eines bewussten Umgangs mit Arzneimitteln aufzuklären bzw. zu sensibilisieren. Zudem sollen aber auch die Abwasserreinigungsanlagen ausgebaut und die Trinkwasseraufbereitungstechnik modernisiert werden. Das Umweltministerium des Landes Nordrhein-Westfalen (NRW) fördert derzeit dazu durch das Investitionsprogramm „Ressourceneffiziente Abwasserbeseitigung NRW“ u. a. großtechnische Anlagen zur Mikroschadstoffelimination.

## **2 Kurzbeschreibung des Einzugsgebietes und der Verfahrenstechnik der Zentralkläranlage Lippstadt**

Die kommunale Kläranlage Lippstadt liegt im Regierungsbezirk Arnsberg westlich von Lippstadt. Der Kläranlage fließen aus zwei getrennten Zulaufsammlern die Abwässer der Kernstadt Lippstadt, die im Trennsystem mit einer Kanallänge von ca. 540 km entwässert wird und aus den westlichen Stadtteilen, die im Mischsystem mit einer Kanallänge von ca. 60 km entwässert werden, zu.

Als Indirekteinleiter, die über den öffentlichen Kanal Abwasser zur Kläranlage leiten, sind zwei Krankenhäuser sowie ein lebensmittelverarbeitender Betrieb zu nennen, der zur Desinfektion seiner Anlagen biozide Stoffe einsetzt. Dessen eingeleiteter Wasservolumenstrom ist jedoch als vergleichsweise gering einzustufen (ca. 20 m<sup>3</sup>/h). Als Indirekteinleiter leiten zudem einige metallverarbeitende Betriebe ihr Abwasser zur Kläranlage.

Das in der Kläranlage gereinigte Abwasser wird in die Lippe eingeleitet. Laut ELWAS-WEB (2017) wurde der ökologische Zustand der Lippe im Rahmen des 3. Monitoringzyklus 2012-2014 im Bereich der Kläranlageneinleitung als mäßig eingestuft.

Der Gesamtbewertung des chemischen Zustandes wird als nicht gut bezeichnet. Der mittlere Niedrigwasserabfluss (MNQ) der Lippe beträgt an der Einleitstelle 6.079 L/s (ELWAS-WEB 2017). Mit einem  $Q_{T(\text{Spitze})}$  von 1.512 m<sup>3</sup>/h (420 L/s) beträgt die Kläranlageneinleitung am MNQ der Lippe ca. 7 %.

Die seit 1986 in Betrieb befindliche Kläranlage Lippstadt hat eine Ausbaugröße von 130.000 Einwohnerwerten (EW). Derzeit sind ca. 90.000 EW an die Kläranlage angeschlossen. Sie ist damit zu ca. 70 % ausgelastet. Nach Abwasserverordnung (AbwV) ist sie der Größenklasse 5 (>100.000 EW) zuzuordnen.

Die Kläranlage Lippstadt ist als einstufige Abwasserbehandlungsanlage errichtet. Das Abwasser durchfließt zunächst einen Rechen und einen Sand- und Fettfang. Im Anschluss daran wird es der zweistraßigen Vorklärung zugeleitet. Die biologische Stufe der Kläranlage ist als vorgeschaltete Denitrifikation ausgeführt. Es besteht ebenfalls die Möglichkeit eine biologische Phosphorelimination durchzuführen. Zunächst durchfließt das Abwasser die zweistraßige vorgeschaltete Denitrifikation, die aus jeweils 3 hintereinander durchflossenen Rechteckbecken besteht. Darauf folgen als Kaskadenbecken betriebene Rundbecken mit jeweils einer innenliegenden Denitrifikations- und einer außenliegenden Nitrifikationszone. Zur Abtrennung des Belebtschlamm vom Abwasser dienen die zwei runden Nachklärbecken. Zur Phosphatfällung wird neben der Möglichkeit der biologischen Phosphorelimination auch eine simultane chemische Phosphatfällung betrieben. Nach der Reinigung wird das Abwasser über das Einleitbauwerk dem Gewässer Lippe zugeleitet.

Der während der Abwasserreinigung anfallende Primär- und Überschussschlamm wird anaerob stabilisiert. Dazu wird der Schlamm zunächst vorentwässert und dann gemeinsam in den beiden Faulbehältern anaerob behandelt. Der ausgefaulte Schlamm wird im Nacheindicker statisch eingedickt und anschließend in einem Dekanter entwässert. Derzeit befindet sich auf dem Gelände der Kläranlage eine Klärschlamm-trocknung im Bau, die ermöglichen soll, den Klärschlamm zukünftig ausschließlich thermisch zu verwerten.

### 3 Abwasseranalyse und Auslegungswerte

#### 3.1 Standardabwasserparameter und Mikroschadstoffe

Um eine fundierte Verfahrensauswahl hinsichtlich der Mikroschadstoffelimination zu treffen, müssen die standortspezifischen Abwassereigenschaften auf der Anlage berücksichtigt werden. Die Abwasserinhaltsstoffe werden dabei in zwei Gruppen betrachtet.

In der ersten Gruppe werden die Konzentrationen der Standardabwasserparameter berücksichtigt. Hier liegen die Daten für die Parameter Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB), Gesamtstickstoff (N<sub>ges</sub>), Nitritstickstoff (NO<sub>2</sub>-N), Nitratstickstoff (NO<sub>3</sub>-N), anorganischer Stickstoff (Nanorg), Ammoniumstickstoff (NH<sub>4</sub>-N), gesamter organischer Kohlenstoff (TOC) und Phosphat-Phosphor (PO<sub>4</sub>-P) vor.

Aus den gemessenen Konzentrationen der verschiedenen Parameter, ergeben sich keine Einschränkungen für die spätere Verfahrenswahl für die Stufe zur Mikroschadstoffelimination. Im Fall einer großtechnischen Realisierung der Stufe zur Mikroschadstoffelimination sollten die angenommenen Werte jedoch durch zusätzliche separate Messungen verifiziert werden.

Die zweite Gruppe beinhaltet eine Auswahl an sogenannten Mikroschadstoffen. Die Auswahl beruht auf den Empfehlungen nach KOM-M.NRW (2016) und Absprachen mit der Bezirksregierung. Die ermittelten Konzentrationen der Mikroschadstoffe sind den Orientierungswerten oder Vorschlägen für Umweltqualitätsnormen (UQN) zur Beurteilung des chemischen und biologischen Status der Oberflächengewässer nach Wasserrahmenrichtlinie gegenübergestellt worden. Die Bewertung der Ergebnisse erfolgte nach dem Schema in Tabelle 3-1.

**Tabelle 3-1: Bewertungsmaßstab der Mikroschadstoffkonzentrationen im Oberflächengewässer (ZW: Zielwert)**

sehr gut	gut	mäßig	unbefriedigend	schlecht
< ½ ZW	½ ZW - ZW	ZW – 2 ZW	2 ZW – 4 ZW	> 4 ZW

**Die Bewertung der Mikroschadstoffkonzentrationen im Ablauf der Kläranlage Lippstadt zeigen, dass die Konzentrationen von Candesartan, Clarithromycin, Diclofenac, Gabapentin, Sotalol und Valsartan deutlich über dem vierfachen des Zielwertes liegen (**

Tabelle 3-2). Neben diesen Stoffen weisen auch Ibuprofen und die Röntgenkontrastmittel Amidotrizoesäure und Iopromid diese deutlichen Überschreitungen sowohl bei Regen- als auch bei Trockenwetter auf. Für das Biozid Glyphosat konnte ein höherer Eintrag in die Kläranlage bei Regenwetter festgestellt werden. Für Glyphosat wurde der Zielwert um mehr als das Vierfache, bei Trockenwetter nur um das 2-4-fache überschritten.

**Tabelle 3-2: Konzentrationen der Mikroschadstoffe im Ablauf der Kläranlage mit Bewertung hinsichtlich der Belastung mit Mikroschadstoffen im Rahmen des Monitorings zur Datenverdichtung**

Stoff- gruppe	Probenamestelle Probenahmedatum	Einheit	Zielwert	Ablauf Kläran-				
				lage 08.-09.11.2017	lage 09.-10.11.2017	lage 15.-16.11.2017	lage 16.-17.11.2017	lage 17.-18.11.2017
Arzneimittelwirkstoffe und Metabolite	Candesartan	ng/L	100	2.400	2.400	2.300	2.100	2.000
	Carbamazepin	ng/L	500	600	640	630	610	560
	Clarithromycin	ng/L	100	390	270	330	500	420
	Diclofenac	ng/L	50	3.600	3.800	3.200	2.900	3.000
	Gabapentin	ng/L	100	5.200	5.500	5.800	5.900	6.000
	Metoprolol	ng/L	7.300	1.200	1.200	1.200	1.100	1.200
	Sotalol	ng/L	100	620	680	630	590	580
	Sulfamethoxazol	ng/L	600	370	410	410	390	380
	Valsartan	ng/L	100	1.700	1.900	1.600	1.400	1.600
Korrosionsschutzmittel	1H-Benzotriazol	ng/L	10.000	8.000	7.700	8.400	8.400	8.100
Biozide /PSM	Terbutryn	ng/L	65	13	14	11	< 10	< 10

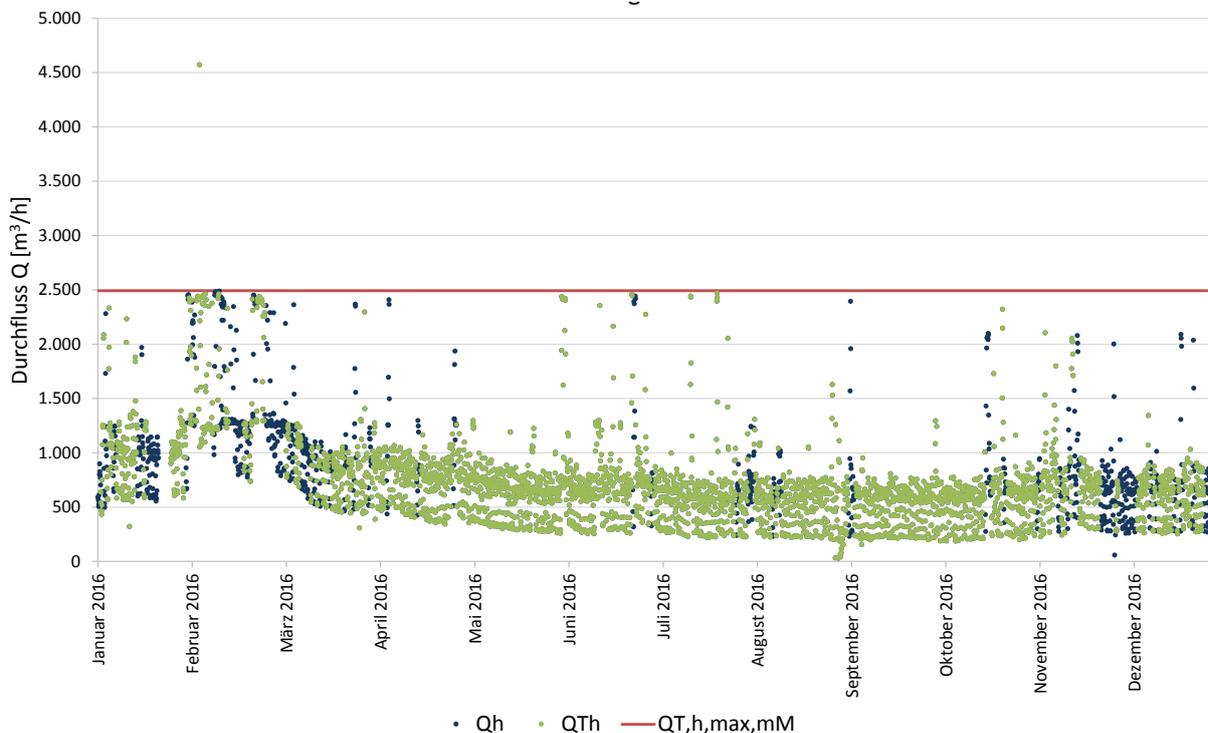
### 3.2 Bromidkonzentrationen und Ozonzehrung

Aus Bromid kann bei der Ozonung des Kläranlagenablaufs das Transformationsprodukt Bromat gebildet werden, welches als potentiell kanzerogen gilt. Aus diesem Grund sind vorab die Bromid-Konzentrationen im Ablauf der Kläranlage zu untersuchen. Die bei unterschiedlichen Ozondosen gemessenen Bromatkonzentrationen zwischen  $< 1,0$  und  $13,5 \mu\text{g/L}$  sind daher als niedrig einzustufen.

Neben den oben aufgeführten Bromidkonzentrationen des Ablaufs der Nachklärung sind ebenfalls Ozonzehrungsversuche durchgeführt worden. Diese wurden jeweils mit einer Ozondosis von 5 und 10  $\text{mgO}_3/\text{L}$  durchgeführt. Diese Ozonzehrungsversuche geben Auskunft darüber, wie schnell das jeweils zugesetzte Ozon verbraucht ist, das heißt nach welcher Zeit kein gelöstes Ozon mehr detektierbar ist. Mittels dieser Ozonzehrungszeit lässt sich das notwendige Volumen eines Ozonreaktors ermitteln. Die Ergebnisse der beiden Ozonzehrungsversuche zeigen, dass bei einer Zugabe von 5  $\text{mgO}_3/\text{L}$  nach 6,5 Minuten bzw. bei der zweiten Probe nach bereits 2 Minuten kein Ozon mehr detektiert werden kann. Bei einer Zugabe von 10  $\text{mgO}_3/\text{L}$  verlängert sich die Zeit bis zur vollständigen Zehrung auf ca. 10 Minuten bzw. knapp 5 Minuten bei der zweiten Probe. Auffällig ist, dass die zweite Probe deutlich geringere Zehrungszeiten aufweist, obwohl die DOC-spezifische Dosierung aufgrund identischer DOC-Konzentration in beiden Proben gleich ist. Die spezifische Ozondosierung liegt bei der Dosierung von 5  $\text{mgO}_3/\text{L}$  bei  $0,5 \text{ mgO}_3/\text{mg}_{\text{DOC}}$  und bei 10  $\text{mgO}_3/\text{L}$  liegt sie bei  $1,0 \text{ mgO}_3/\text{mg}_{\text{DOC}}$ .

### 3.3 Auslegungswassermenge

Abbildung 3-1 zeigt die stündlichen Ablaufwassermengen der Kläranlage Lippstadt für das Jahr 2016. Für weitere Jahren liegen die Ablaufwassermenge nicht in der hohen Auflösung vor. Als horizontale rote Linie ist in Abbildung 3-1 das Maximum der nach ATV-DVWK A 198 ermittelten  $Q_{T,h,max,mM}$  eingezeichnet.



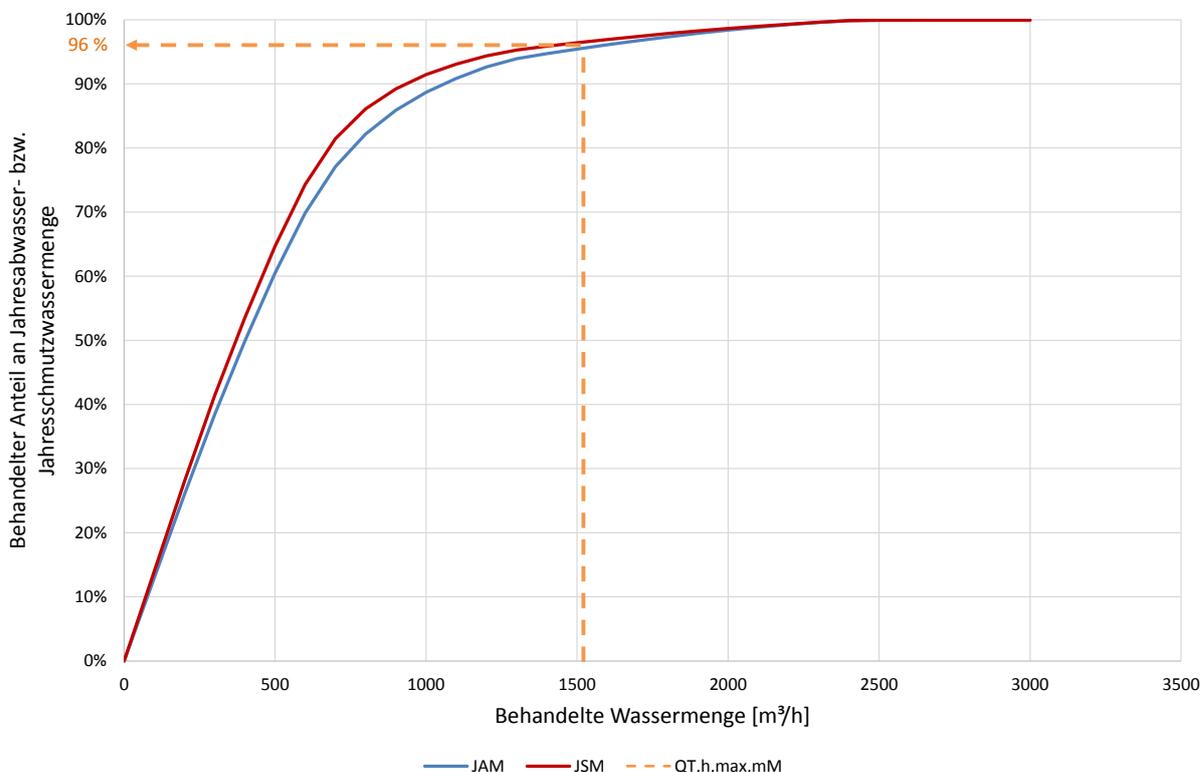
**Abbildung 3-1: Wassermengen  $Q_{T,h}$  und  $Q_h$  des Zeitraums 01/2014-11/2016**

Wie die Auswertung der Wassermengen zeigt, liegen zum Teil fehlerhaft als Trockenwettertage deklarierte Regenwettertage vor, diese liegen deutlich über der Trockenwetterzuflussspitze von 1.512 m<sup>3</sup>/h nach Kläranlagenauslegung.

**In Abstimmung mit der Bezirksregierung Arnsberg wurde die Auslegungswassermenge auf 1.512 m<sup>3</sup>/h festgelegt.**

Damit können in Bezug zu der Wassermenge 2016 ca. 96 % der Jahresabwassermenge sowie ebenfalls 96 % der Jahresschmutzwassermenge behandelt werden. Bei einer Jahresabwassermenge im Jahr 2016 von 6.674.660 m<sup>3</sup>/a können in der Stufe zur Mikroschadstoffelimination jährlich 6.407.674 m<sup>3</sup>/a behandelt werden.

Die Auslegungswassermenge ist vor einer großtechnischen Umsetzung zu verifizieren.



**Abbildung 3-2: Auslegungswassermenge und damit behandelbare Jahresabwassermenge 2016**

### 3.4 Eliminationsraten

Die Auslegung der Stufe zur Mikroschadstoffelimination erfolgt derart, dass eine Elimination der standortrelevanten Substanzen und der sensitiven Leitparameter Metoprolol, Carbamazepin, Diclofenac, Sulfamethoxazol, 1H-Benzotriazol und Terbutryn zu 80 % sichergestellt wird. Die Elimination wird bestimmt durch Messungen im Zulauf zur biologischen Stufe und dem Ablauf der Reinigungsstufe und bezieht sich auf die Summe der standortrelevanten Substanzen und der sensitiven Leitparameter (KOM-M.NRW, 2016).

**Tabelle 3-3: Standortrelevante Substanzen und sensitive Leitparameter**

Standortrelevante Substanzen	Sensitive Leitparameter (KOM-M.NRW, 2016)
Candesartan, Clarithromycin, Gabapentin, Sotalol, Valsartan	Carbamazepin, Diclofenac, Metoprolol, Sulfamethoxazol, Terbutryn, 1H-Benzotriazol

Die zu erwartende Eliminationsrate bzw. die Dosierung von Betriebsstoffen oder die Standzeit des Adsorptionsbettes ist bei den in Kapitel 4 beschriebenen Varianten jeweils abhängig von der Abwasserzusammensetzung. Letztlich ist es erforderlich, die Dosierstoffe und -mengen im Rahmen von Vorversuchen und in Abhängigkeit von den Mikroschadstoffen und dem gewählten Verfahren zu erproben und später in der Inbetriebnahme- und Betriebsoptimierungsphase zu verifizieren.

## 4 Ausarbeitung von technischen Anlagenkonzepten

### 4.1 Randbedingungen auf der Kläranlage Lippstadt und Variantenauswahl

Die strukturellen Randbedingungen umfassen die Nutzbarkeit von vorhandener Bausubstanz und die Flächenverfügbarkeit zur Errichtung von Neubauten. Daneben zählen auch die hydraulischen Begebenheiten zu den strukturellen Randbedingungen.

Derzeit befinden sich keine der vorhandenen Becken auf der Zentralkläranlage Lippstadt außer Betrieb und es ist für die Zukunft nicht vorgesehen Becken außer Betrieb zu nehmen, sodass diese für eine Stufe zur Mikroschadstoffelimination zur Verfügung stehen würden. Aus Abbildung 4-1 ist die zur Verfügung stehende Freifläche schraffiert dargestellt. Diese befindet sich nördlich der Nachklärbecken und liegt in unmittelbarer Nähe zum Auslaufbauwerk, sodass sich diese Fläche ideal für einen Neubau und die Implementierung einer Stufe zur Mikroschadstoffelimination anbietet.



**Abbildung 4-1: Potentielle Fläche zum Bau einer Stufe zur Mikroschadstoffelimination auf der Zentralkläranlage Lippstadt (Stadtentwässerung Lippstadt 2017)**

Neben den Freiflächen bzw. der umnutzbaren Bausubstanz ist auch die Hydraulik der bestehenden Anlage zu betrachten. Diese entscheidet darüber, ob zur Einbindung einer Stufe zur Mikroschadstoffelimination eine zusätzliche Anhebung des Abwassers notwendig ist oder ob die Stufe in die hydraulischen Gegebenheiten integriert werden kann. Die Betrachtung der hydraulischen Höhen auf der Kläranlage Lippstadt zeigen, dass der Wasserspiegel der Nachklärung mit 74,3 m ü. NN und der Wasserstand der Lippe bei HQ100 von 73,52 m ü. NN noch eine Differenz von 0,78 m aufweist. Abzüglich von pauschal angenommenen Rohrleitungsverlusten ergibt sich eine nutzbare Wasserhöhe im Falle des HQ100 von ca. 0,6 m, die als ausreichend angesehen wird, um ein Durchfließen der Stufe zur Mikroschadstoffelimination ohne vorherige Anhebung des Abwassers zu gewährleisten.

Für die Auswahl der umsetzbaren Verfahrensvarianten sind ebenfalls die Randbedingungen, die aus den Abwassereigenschaften resultieren, relevant. Diese können Aufschluss darüber geben, ob eine Verfahrensvariante grundsätzlich in Frage kommt oder aufgrund der Abwassereigenschaften auszuschließen ist. Dies betrifft insbesondere die Ozonung, bei der die im Abwasser vorliegende Konzentration von Bromid ein wichtiges Entscheidungskriterium ist, da daraus bei der Ozonung potentiell kanzerogenes Bromat gebildet werden kann. Es wird dabei laut KOM-M.NRW (2016) empfohlen, ab einer Bromidkonzentration von 150 µg/L das Bromatbildungspotential zu bestimmen. Bei niedrigeren Konzentrationen ist die Bestimmung der Bromatbildung bei üblichen spezifischen Ozonkonzentrationen von 0,5 bzw. 0,7 mgO<sub>3</sub>/mgDOC nicht erforderlich. Die Bromidkonzentrationen liegen in den in Lippstadt untersuchten Proben zwischen 92 und 105 µg/L. Daraus werden bei ca. 0,5 mgO<sub>3</sub>/mgDOC <1,0 bzw. 3,5 µg/L Bromat und bei 1,0 mgO<sub>3</sub>/mgDOC werden 4 bzw. 13,5 µg/L Bromat gebildet.

Für die Ozonvarianten stellt die DOC-Konzentration ein entscheidendes Auslegungskriterium dar. In dem erweiterten Monitoring wurde daher neben den Mikroschadstoffen auch die DOC-Konzentrationen der Proben bestimmt. Diese lagen bei Trockenwetter bei 10 mg/L. Für die Auslegung der Ozonung wird daher mit einer DOC-Konzentration von 10 mg/L gerechnet.

Im Fall einer großtechnischen Realisierung einer Stufe zur Mikroschadstoffelimination sollten die angenommenen Werte durch zusätzliche Messungen verifiziert werden.

Auf Basis der oben geschilderten Randbedingungen, können aus der Liste der grundsätzlich umsetzbaren Varianten die für die Kläranlage Lippstadt die geeignetsten Varianten ausgewählt werden. Für die Zentralkläranlage Lippstadt wurden folgende Verfahren detailliert ausgearbeitet:

- Variante 1: PAK-Dosierung in separate Adsorptionsstufe und Tuchfiltration
- Variante 2: GAK-Filtration
- Variante 3: Ozonung und biologische Nachbehandlung im Wirbelbett

## **4.2 Variante 1: PAK-Dosierung in separate Adsorptionsstufe und Tuchfiltration**

Die Variante 1 untersucht die Errichtung einer neuen separaten PAK-Adsorptionsstufe inklusive der Errichtung einer Tuchfiltration zur Nachbehandlung. Das Abwasser aus der Nachklärung wird dabei zunächst in einen Kontaktreaktor eingeleitet, in den die PAK-Dosierung stattfindet. Im nachfolgenden Sedimentationsbecken wird der Großteil der dosierten PAK mittels Schwerkraft vom Abwasser abgetrennt und in den Zulauf des Kontaktbeckens zurückgeführt. Das so weitestgehend von PAK befreite Abwasser wird im Anschluss der ebenfalls neu zu errichtenden Tuchfiltration, ausgeführt als Scheibenfilter, zugeleitet. Die Beschickung der Becken mit Abwasser erfolgt im freien Gefälle.

Die Adsorptionsstufe sowie die Tuchfiltration können auf der nördlichen Freifläche auf dem Gelände der Kläranlage errichtet werden. Ausgelegt werden die Becken bzw. die Filtration auf die Auslegungswassermenge von 1.512 m<sup>3</sup>/h gemäß Kapitel 3.3 inkl. einer Spülwassermenge von 5 %. Beim Einsatz von PAK zur Mikroschadstoffelimination ergeben sich hinsichtlich der Schlammbehandlung bzw. -verwertung die Änderungen, dass der Schlamm besser entwässerbar ist sowie einen höheren Heizwert aufweist, was insbesondere durch die thermische Verwertung des Schlammes der Kläranlage Lippstadt relevant ist. In Abbildung 4-2 ist skizzenhaft dargestellt, wie die Variante 1 auf der Kläranlage Lippstadt verortet werden kann.

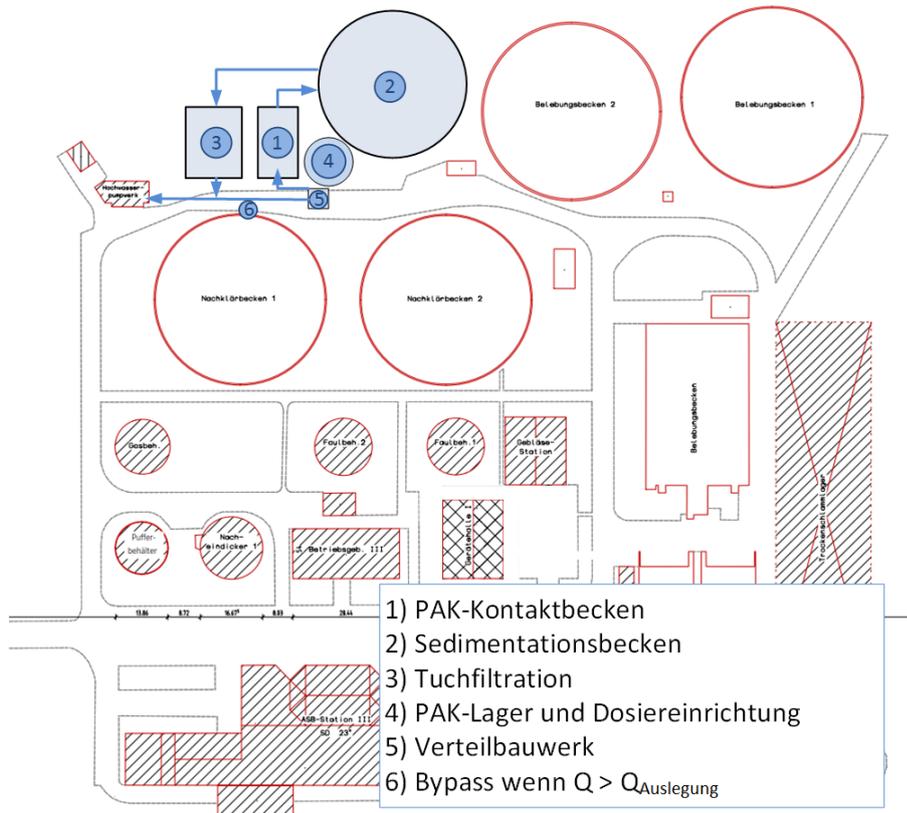


Abbildung 4-2: Skizze des Lageplans der Variante 1 auf der Kläranlage Lippstadt

### 4.3 Variante 2: GAK-Filtration

Ein auf der Kläranlage Lippstadt ebenfalls mögliches Verfahren stellt die Filtration über granulierten Aktivkohle dar. Dabei wird der Ablauf der Nachklärung über die GAK filtriert und ohne weitere Nachbehandlung in das Gewässer eingeleitet. Entsprechend der Erörterung von Freiflächen auf der Kläranlage kann die GAK-Filtration auf der Freifläche nördlich der Nachklärbecken implementiert werden (siehe dazu auch Abbildung 4-1). Das Abwasser wird aus der Nachklärung der GAK-Filtration im freien Gefälle zugeleitet. Nach der Filtration erfolgt ebenfalls im freien Gefälle die Einleitung in das Gewässer Lippe.

Um die GAK nach ihrer Erschöpfung austauschen zu können, ist eine Absaugleitung durch welche die beladene GAK entfernt werden kann und ein Rohrleitungssystem vorzusehen, um die Filterzellen mit frischer GAK mit Hilfe von Treibwasser zu befüllen. Aus Abbildung 4-3 wird ersichtlich, wie die Variante 2 auf der Kläranlage Lippstadt angeordnet werden könnte.

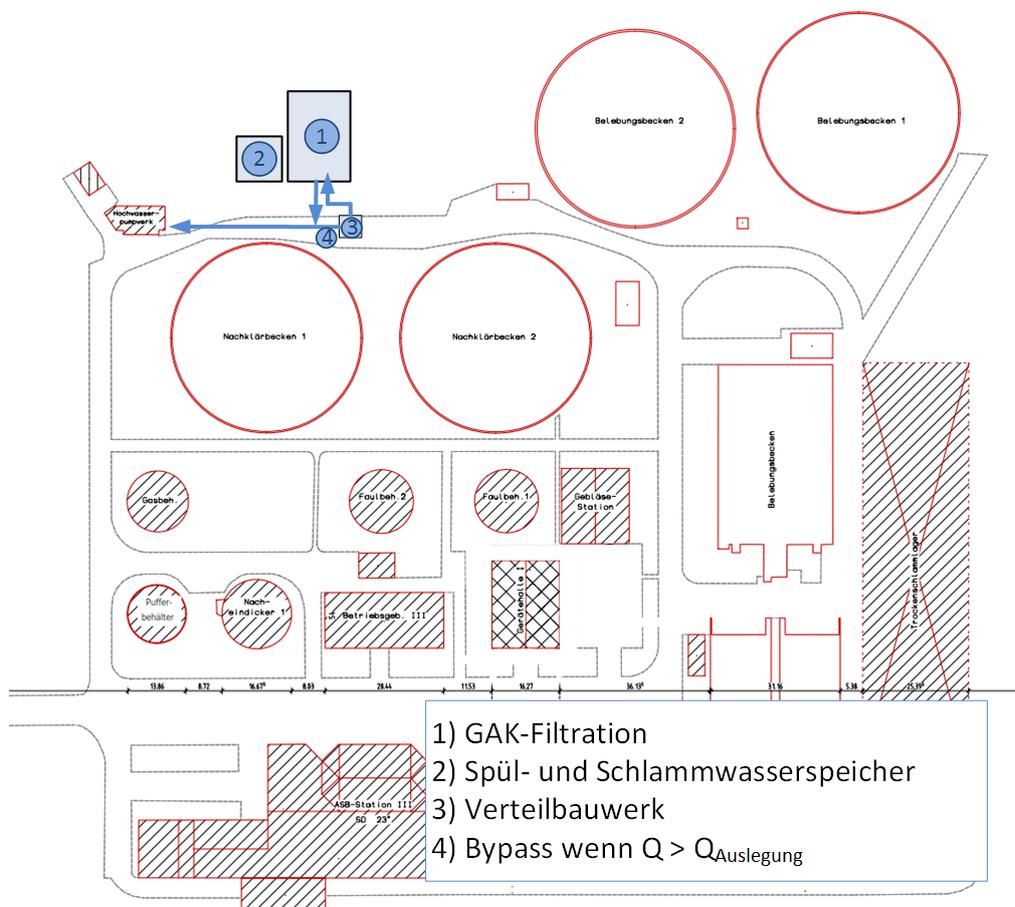


Abbildung 4-3: Skizze des Lageplans der Variante 2 auf der Kläranlage Lippstadt

#### 4.4 Variante 3: Ozonung und biologische Nachbehandlung im Wirbelbett

Die Variante der Ozonung mit biologischer Nachbehandlung im Wirbelbett kann auf der Zentralkläranlage Lippstadt auf dem Gelände nördlich der Nachklärbecken errichtet werden. Die Einbindung der Ozonanlage erfolgt dabei hinter den Nachklärbecken. Dazu wird die Ozonanlage an den Ablaufschacht der Nachklärbecken angeschlossen und im freien Gefälle durchflossen. Das mit Ozon behandelte Abwasser durchfließt direkt im Anschluss einen Wirbelbettreaktor, in dem eine biologische Nachbehandlung stattfindet. Nach dieser Behandlung erfolgt die Wiedereinleitung des Abwassers in den bestehenden Kanal zum ehemaligen Hochwasserpumpwerk und von dort in das Gewässer Lippe.

Die Ozonanlage sowie der Ozogenerator sollen zweistraßig ausgeführt werden, um auf unterschiedliche Zulaufwassermengen reagieren zu können und um auch im Revisionsfall bzw. bei Ausfall einer Straße noch eine Grundelimination sicherstellen zu können. Das Betriebsgebäude für die Ozonanlage, in dem sich auch der Ozogenerator befindet, kann je nach gewünschtem minimalen Platzaufwand für die Stufe zur Mikroschadstoffelimination auch auf dem Dach der Ozonanlage errichtet werden. Abbildung 4-4 zeigt, wie die Variante 3 auf der Kläranlage Lippstadt angeordnet werden könnte.

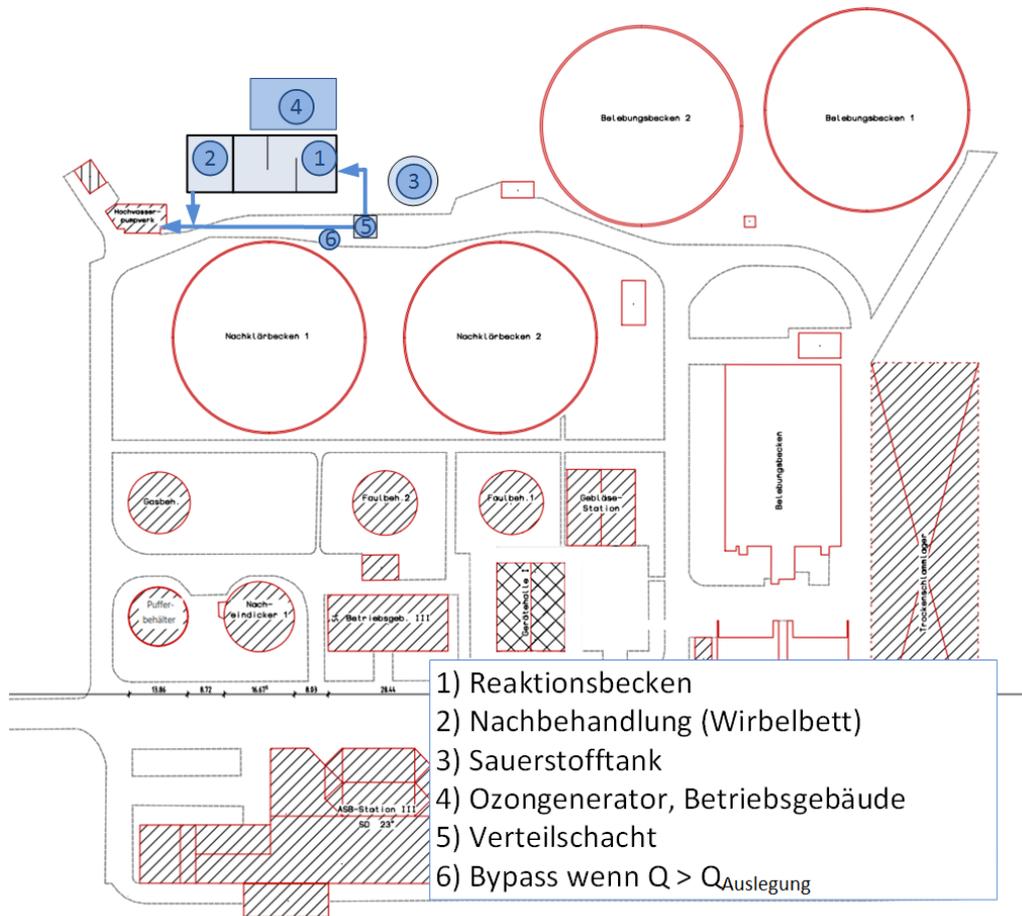


Abbildung 4-4: Skizze des Lageplans der Variante 3 auf der Kläranlage Lippsstadt

**Tabelle 4-1: Vergleichende Darstellung der Kosten bei Berücksichtigung einer 70%-igen Förderung der Investitionskosten und einer Minderung der Abwasserabgabe**

Varianten	V 1	V 2	V 3
<b>Kostenpositionen</b> <small>(Alle Angaben sind netto-Angaben)</small>	PAK-Dosierung in Kontaktbecken und Abtrennung in Sedimentationsbecken mit nachgeschalteter Filtrationsanlage	GAK-Filtration	Ozonung mit Wirbelbett zur biologischen Nachbehandlung
<b>Investitionskosten</b>	7.479.000 €	5.981.000 €	4.615.000 €
<b>Investiver Anteil der Jahreskosten</b>	514.145 €/a	315.512 €/a	297.483 €/a
<b>Investiver Anteil der Jahreskosten</b> <small>(bei Berücksichtigung einer 70%-igen Förderung)</small>	247.044 €/a	101.909 €/a	132.665 €/a
<b>Betriebskosten</b>	308.793 €/a	435.367 €/a	252.445 €/a
<b>Betriebskosten</b> <small>(bei Berücksichtigung einer Minderung der Abw.abgabe)</small>	266.749 €/a	393.323 €/a	252.445 €/a
<b>Jahreskosten (netto)</b>	822.938 €/a	750.879 €/a	549.928 €/a
<b>Jahreskosten (brutto)</b>	979.296 €/a	893.546 €/a	654.414 €/a
<b>Jahreskosten (netto)</b> <small>(bei Berücksichtigung einer 70%-igen Förderung und Minderung der Abw.abgabe)</small>	513.793 €/a	495.233 €/a	385.110 €/a
<b>Behandelte Abwassermenge</b>	6.407.674 m <sup>3</sup> /a	6.407.674 m <sup>3</sup> /a	6.407.674 m <sup>3</sup> /a
<b>Spezifische Jahreskosten (netto)</b> <small>(bezogen auf behandelte Abwassermenge)</small>	0,13 €/m <sup>3</sup>	0,12 €/m <sup>3</sup>	0,09 €/m <sup>3</sup>
<b>Spezifische Jahreskosten (netto)</b> <small>(bezogen auf behandelte Abwassermenge; bei Berücksichtigung einer 70%-igen Förderung und Minderung der Abw.abgabe)</small>	0,08 €/m <sup>3</sup>	0,08 €/m <sup>3</sup>	0,06 €/m <sup>3</sup>

## 5 Variantenbewertung

### 5.1 Vorgehensweise zur Verfahrensbewertung

Um eine fundierte Verfahrensempfehlung geben zu können, bedarf es einer festgelegten Vorgehensweise zur Verfahrensbewertung. Dabei werden die monetären sowie betrieblichen und baulichen Aspekte der einzelnen Varianten betrachtet und gegenübergestellt. Um die Varianten hinsichtlich der notwendigen Investitionen vergleichen zu können, wurden diese als investiver Anteil der Jahreskosten berechnet. Zusätzlich wurden die laufenden Kosten abgeschätzt und zusammen mit dem investiven Anteil der Jahreskosten als Jahreskosten aufgeführt.

Zur Bewertung nicht monetärer Aspekte wie den betrieblichen und baulichen Aspekten werden folgende Faktoren in die Bewertung mit einbezogen:

- Eliminationsleistung bzgl. der Mikroschadstoffe
- Verbesserung der Reinigungsleistung
- Bildung von Nebenprodukten
- Betriebs- und Wartungsaufwand
- Flächenbedarf.

In die abschließende Bewertung der Varianten gehen die monetären sowie die nicht monetären Bewertungsaspekte jeweils zu 50 % ein. Bei der monetären Bewertung werden 15 Punkte an die Variante mit den niedrigsten Jahreskosten vergeben. Die Punkte der anderen Varianten werden durch Multiplikation der maximal möglichen Punktzahl mit dem Verhältniswert aus niedrigsten Jahreskosten zu den Jahreskosten der zu bewertenden Variante abgemindert. Die Punkte der Varianten ergeben sich dabei wie folgt:  $\text{Punkte Variante } x = 15 \text{ Punkte} \cdot \frac{\text{JK}_{\text{min}} \text{ Variante}}{\text{JK Variante } x}$ . Bei den nicht monetären Aspekten werden ebenfalls Punkte zwischen 0 und 15 vergeben, die dann mit der jeweiligen Gewichtung in die Gesamtpunktzahl der Variante eingehen. Für die Bewertung wird zudem auch eine mögliche Förderung von 70 % auf die Erstinvestitionskosten und eine mögliche Minderung der Abwasserabgabe durch Herabklärung abwasserabgabenrelevanter Parameter berücksichtigt.

### 5.2 Verfahrensbewertung mit und ohne Berücksichtigung einer Förderung und Minderung der Abwasserabgabe

Tabelle 5-1 zeigt das Ergebnis der Verfahrensbewertung ohne Berücksichtigung einer möglichen Förderung bzw. Minderung der Abwasserabgabe. Die höchste Punktzahl entspricht der besten Variante und umgekehrt.

**Tabelle 5-1: Bewertung der Varianten ohne Berücksichtigung einer Förderung und Minderung der Abwasserabgabe**

	Wichtigkeit	Variante 1			Variante 2			Variante 3		
		PAK-Dosierung in Kontaktbecken und Abtrennung in Sedimentationsbecken mit nachgeschalteter Filtrationsanlage			GAK-Filtration			Ozonung mit Wirbelbett zur biologischen Nachbehandlung		
		Punkte	Wertung	Punkte	Wertung	Punkte	Wertung			
Investitionskosten (netto)		7.479.000 €		5.981.000 €		4.615.000 €				
Investiver Anteil der Jahreskosten (netto)	15%	514.145 €/a	8,7	1,3	315.512 €/a	14,1	2,1	297.483 €/a	15,0	2,3
Betriebskosten (netto)	35%	308.793 €/a	12,3	4,3	435.367 €/a	8,7	3,0	252.445 €/a	15,0	5,3
<b>Wertungspunkte Monetär (gerundet)</b>	<b>50%</b>	<b>5,6</b>			<b>5,2</b>			<b>7,5</b>		
Eliminationsleistung Mikroschadstoffe	10%	Für alle Varianten gleich gute Eliminierbarkeit	15,0	1,5	Für alle Varianten gleich gute Eliminierbarkeit	15,0	1,5	Für alle Varianten gleich gute Eliminierbarkeit	15,0	1,5
Verbesserung der Reinigungsleistung	10%	CSB und P-Reduzierung	15,0	1,5	CSB und P-Reduzierung	15,0	1,5	keine Reduzierung	0,0	0,0
Bildung von Nebenprodukten	5%	keine Nebenproduktbildung	15,0	0,8	keine Nebenproduktbildung	15,0	0,8	Biol. Nachbehandlung verringert Nebenproduktbildung	10,0	0,5
Betriebs- und Wartungsaufwand	10%	Mittlerer Aufwand	10,0	1,0	Geringer Aufwand	15,0	1,5	Geringer Aufwand	15,0	1,5
Flächenbedarf	15%	Hoch	5,0	0,8	Mittel	10,0	1,5	Niedrig	15,0	2,3
<b>Wertungspunkte Technik (gerundet)</b>	<b>50%</b>	<b>5,5</b>			<b>6,8</b>			<b>5,8</b>		
<b>Gesamtpunkte (gerundet)</b>	<b>100%</b>	<b>11,1 Punkte</b>			<b>12,0 Punkte</b>			<b>13,3 Punkte</b>		

Bei dem Aspekt Eliminationsleistung Mikroschadstoffe werden für die Varianten jeweils die gleichen Punkte vergeben, da angenommen wird, dass keins der Verfahren hinsichtlich der Eliminierbarkeit der Indikatorsubstanzen und der standortrelevanten Substanzen einen Vorteil aufweist. Für die Varianten 1 und 2 wird davon ausgegangen, dass eine Reduzierung von CSB durch den Einsatz von Aktivkohle sowie von P<sub>ges</sub> durch die Möglichkeit einer Nachfällung in den neu errichteten Filtrationen möglich ist. Daher erhalten diese Varianten bei diesem Aspekt jeweils 15 Punkte, wohingegen die Ozonung dafür keine Punkte erhält. Für die aktivkohlebasierten Verfahren in Variante 1 und 2 wird angenommen, dass keine Nebenproduktbildung stattfindet, wohingegen für Variante 3 angenommen wird, dass eine Bildung von Nebenprodukten stattfindet, die jedoch durch die biologische Nachbehandlung reduziert wird. Variante 3 erhält daher bei diesem Aspekt 10 Punkte. Beim Betriebs- und Wartungsaufwand wird pauschal angenommen, dass Varianten mit mehreren Anlagenteilen einen höheren Aufwand aufweisen. Daher erhält Variante 1 hier lediglich 10 Punkte und die Varianten 2 und 3 jeweils 15 Punkte. Variante 1 hat im Vergleich den größten Flächenbedarf und erhält 5 Punkte. Variante 2 folgt mit 10 Punkten und der Flächenbedarf der Variante 3 ist am geringsten, daher erhält diese Variante hier 15 Punkte.

Es zeigt sich, dass hinsichtlich der monetären Bewertung die Variante 3 die höchste Punktzahl aufweist. Sie erreicht dabei sowohl beim investiven Anteil der Jahreskosten als auch bei den Betriebskosten die höchste Punktzahl. Bei den nicht monetären Bewertungsaspekten erreicht die Variante 2 die höchste Punktzahl.

**Die Variante 3 „Ozonung mit Wirbelbett zur biologischen Nachbehandlung“ erreicht die höchste Gesamtpunktzahl.**

Es ergibt sich die folgende Rangfolge der Varianten.

**Tabelle 5-2: Ranking der Varianten ohne Berücksichtigung einer Förderung und Minderung der Abwasserabgabe**

Ranking	Variante
---------	----------

<b>1. Empfehlung</b>	Variante 3 „Ozonung mit Wirbelbett zur biologischen Nachbehandlung
2.	Variante 2 „GAK-Filtration“
3.	Variante 3 „PAK-Dosierung in Kontaktbecken und Abtrennung in Sedimentationsbecken mit nachgeschalteter Filtrationsanlage

Unter Berücksichtigung einer möglichen Förderung von 70 % und einer Minderung der Abwasserabgabe weist die Variante 3 auch hierbei die höchste Punktzahl bei der monetären Bewertung auf, wobei sich der Abstand zu den anderen Varianten verkleinert hat. Da sich an der Bewertung der nicht monetären Aspekte keine Änderung ergibt, bleibt auch bei Berücksichtigung einer Förderung und der Minderung der Abwasserabgabe die Variante 3 die mit der höchsten Gesamtpunktzahl. Die Bewertung ist Tabelle 5-3 zu entnehmen. Am Ranking der Varianten ergibt sich ebenfalls keine Änderung, sodass sich hierbei die gleiche Rangfolge, entsprechend Tabelle 5-2, ergibt.

**Tabelle 5-3: Bewertung der Varianten mit Berücksichtigung einer Förderung und Minderung der Abwasserabgabe**

	Wichtigkeit	Variante 1 PAK-Dosierung in Kontaktbecken und Abtrennung in Sedimentationsbecken mit nachgeschalteter Filtrationsanlage			Variante 2 GAK-Filtration			Variante 3 Ozonung mit Wirbelbett zur biologischen Nachbehandlung		
			Punkte	Wertung		Punkte	Wertung		Punkte	Wertung
Investitionskosten mit Berücksichtigung einer 70%-igen Förderung (netto)		2.243.700 €			1.794.300 €			1.384.500 €		
Investiver Anteil der Jahreskosten mit Berücksichtigung einer 70%-igen Förderung (netto)	15%	247.044 €/a	6,2	0,9	101.909 €/a	15,0	2,3	132.665 €/a	11,5	1,7
Betriebskosten mit Berücksichtigung einer Minderung der Abwasserabgabe (netto)	35%	266.749 €/a	14,19567879	5,0	393.323 €/a	9,6	3,4	252.445 €/a	15,0	5,3
<b>Wertungspunkte Monetär (gerundet)</b>	<b>50%</b>	<b>5,9</b>			<b>5,6</b>			<b>7,0</b>		
Eliminationsleistung Mikroschadstoffe	10%	Für alle Varianten gleich gute Eliminierbarkeit	15,0	1,5	Für alle Varianten gleich gute Eliminierbarkeit	15,0	1,5	Für alle Varianten gleich gute Eliminierbarkeit	15,0	1,5
Verbesserung der Reinigungsleistung	10%	CSB und P-Reduzierung	15,0	1,5	CSB und P-Reduzierung	15,0	1,5	keine Reduzierung	0,0	0,0
Bildung von Nebenprodukten	5%	keine Nebenproduktbildung	15,0	0,8	keine Nebenproduktbildung	15,0	0,8	Biol. Nachbehandlung verringert Nebenproduktbildung	10,0	0,5
Betriebs- und Wartungsaufwand	10%	Mittlerer Aufwand	10,0	1,0	Geringer Aufwand	15,0	1,5	Geringer Aufwand	15,0	1,5
Flächenbedarf	15%	Hoch	5,0	0,8	Mittel	10,0	1,5	Niedrig	15,0	2,3
<b>Wertungspunkte Technik (gerundet)</b>	<b>50%</b>	<b>5,5</b>			<b>6,8</b>			<b>5,8</b>		
<b>Gesamtpunkte (gerundet)</b>	<b>100%</b>	<b>11,4 Punkte</b>			<b>12,4 Punkte</b>			<b>12,8 Punkte</b>		

## 6 Empfehlung

### 6.1 Erfordernis zur Mikroschadstoffelimination

Hinsichtlich des Erfordernisses zum Ausbau der Kläranlage Lippstadt um eine Stufe zur Mikroschadstoffelimination ist der ökologische Zustand der Lippe zu betrachten. Der ökologische Zustand der Lippe ist im Bereich der Kläranlageneinleitung im 3. Monitoringszyklus 2012-2014 lediglich als mäßig eingestuft worden. Um die Belastung des Kläranlagenablaufs mit Mikroschadstoffen einschätzen zu können, wurden im Rahmen der vorliegenden Studie Analysen des Abflaufs auf unterschiedliche Mikroschadstoffe durchgeführt. Im Rahmen des dazu durchgeführten erweiterten Monitorings wurden Überschreitungen der Bewertungskriterien festgestellt. Die dabei festgestellten Überschreitungen sind zusammenfassend in Tabelle 6-1 dargestellt. Zur Verifizierung dieser Ergebnisse wurde ein Monitoring zur Datenverdichtung durchgeführt, bei dem die Ergebnisse weitestgehend bestätigt werden konnten.

**Tabelle 6-1: Überschreitungen der Bewertungskriterien beim erweiterten Monitoring des Abflaufs der Kläranlage**

Stoffgruppe		Einheit	Zielwert	Ablauf	Ablauf	Ablauf	Ablauf
				01.-02.09.17 Regenwetter	08.-09.09.17 Regenwetter	25.-26.09.17 Trockenwetter	26.-27.09.17 Trockenwetter
Arzneimittelwirkstoffe und Metabolite	Bezafibrat	ng/L	100	320	400	280	410
	Candesartan	ng/L	100	1.400	1.400	2.400	2.900
	Carbamazepin	ng/L	500	440	490	750	920
	Ciprofloxacin	ng/L	100	170	160	380	420
	Clarithromycin	ng/L	100	190	220	830	760
	Diclofenac	ng/L	50	3.500	4.100	6.100	7.000
	Gabapentin	ng/L	100	4.100	3.900	4.200	4.600
	Guanylharstoff	ng/L	100	3.300	4.600	2.700	2.100
	Ibuprofen	ng/L	10	340	950	830	800
	Sotalol	ng/L	100	230	370	590	620
	Sulfamethoxazol	ng/L	600	150	440	580	810
	Valsartan	ng/L	100	640	1.000	690	810
Biozide/PSM	Glyphosat	µg/L	0,1	0,73	0,41	0,27	0,31
	Mecoprop	ng/L	100	120	60	34	43
Röntgenkontrastmittel	Amidotrizoesäure	ng/L	100	4.400	3.500	7.000	9.400
	Iopamidol	ng/L	100	440	1.600	840	1.300
	Iopromid	ng/L	100	240	160	< 20	360

Ein eindeutiger kausaler Zusammenhang zwischen dem ökologischen Zustand und den ermittelten Abflaufkonzentrationen der Kläranlage kann aus den Ergebnissen nicht zweifelsfrei hergeleitet werden. Hierbei wären weitere Eintragspfade von relevanten Mikroschadstoffen und die sich nach der Kläranlageneinleitung ergebenden maßgebenden Konzentrationen im Gewässer und ihre Wirkungen auf das Gewässer zu berücksichtigen. Die Untersuchungen des Gewässers und des Abflaufs der Kläranlage hat jedoch für einige Substanzen ergeben, dass die Konzentrationen des Abflaufs der Kläranlagen höher sind, als die Konzentrationen der jeweiligen Substanz im Gewässer, sodass hieraus eine Erhöhung der Gewässerkonzentration durch die Kläranlageneinleitung resultiert. Aus der Auswertung der Gewässeruntersuchung ober- und unterhalb der Kläranlageneinleitung hat sich jedoch lediglich für die Substanzen Diclofenac, Gabapentin und Amidotrizoesäure eine Änderung hinsichtlich der Bewertung der Gewässer-

konzentration oberhalb und der Konzentration unterhalb der Kläranlageneinleitung nach Tabelle 3-1 ergeben.

Es ist davon auszugehen, dass die Errichtung einer Stufe zur Mikroschadstoffelimination die Ablaufqualität der Kläranlage Lippstadt verbessert und dies daher als freiwillige Maßnahme aus Gewässersicht zu befürworten wäre. Gesetzlich geregelt ist ein Ausbau um eine Stufe zur Mikroschadstoffelimination zurzeit noch nicht und würde auf freiwilliger Basis erfolgen.

**Es ist davon auszugehen, dass ein Ausbau der Kläranlage Lippstadt dazu beitragen würde, den Zustand des Gewässers zu verbessern. Aufgrund dessen wird ein Ausbau empfohlen.**

## 6.2 Verfahrensempfehlung

Die Empfehlung der Vorzugsvariante wird auf Grundlage der in Kapitel 5 aufgezeigten Verfahrensbewertung ausgesprochen. Diese beruht auf dem Vergleich der Varianten hinsichtlich der monetären und nicht monetären Bewertungsaspekte.

**Auf Grundlage dieser Bewertung wird zur Umsetzung als Stufe zur Mikroschadstoffelimination die Variante 3 „Ozonung mit Wirbelbett zur biologischen Nachbehandlung“ empfohlen.**

Die Variante 3 hat bei dieser Bewertung sowohl mit als auch ohne Berücksichtigung einer Förderung von 70 % sowie einer möglichen Minderung der Abwasserabgabe jeweils die höchste Gesamtpunktzahl erhalten. Sie weist dabei bei den Investitionskosten bzw. dem investiven Anteil der Jahreskosten und bei den Betriebskosten ohne Berücksichtigung einer Förderung und Minderung der Abwasserabgabe die niedrigsten Kosten auf. Auch mit Berücksichtigung einer Förderung und Minderung der Abwasserabgabe weist sie in Summe im Vergleich zu den anderen beiden Varianten die geringsten Kosten und damit die höchste Punktzahl auf. Bei den nicht monetären Bewertungsaspekten weist sie zwar nicht die höchste Punktzahl auf, jedoch ist hierbei insbesondere der Aspekt des geringsten Flächenbedarfs dieser Variante hervorzuheben.

Nicht in der Verfahrensbewertung berücksichtigt, aber dennoch zu erwähnen, ist der Vorteil der Ozonung in Bezug auf eine mögliche Notwendigkeit der Desinfektion oder Teildesinfektion des Kläranlagenablaufs. Falls sich zukünftig die Notwendigkeit dafür ergibt, könnte mit einer Ozonanlage darauf reagiert werden, wenn dies z.B. durch Bereitstellung größerer Ozonproduktionskapazitäten bereits bei der Planung Berücksichtigung finden würde. Einen solchen Vorteil bieten die aktivkohlebasierten Verfahren in Variante 1 und 2 nicht.

Die neue Einleitungserlaubnis für die Kläranlage Lippstadt gibt einen Überwachungswert für  $P_{ges}$  von 1 mg/L vor. Laut DWA (2011) ist mittels Simultanfällung, wie sie auf der Kläranlage Lippstadt zur Fällung von Phosphat zum Einsatz kommt, ein Ablaufwert von 1 mg/L bei funktionierender Nachklärung einhaltbar, was auch durch die Auswertung der Betriebstagebücher bestätigt wird. Es wird demnach davon ausgegangen, dass wenn es zu keiner Verschärfung dieses Überwachungswertes für die Kläranlage Lippstadt kommt, eine Stufe zur Mikroschadstoffelimination ohne Filtration als ausreichend anzusehen ist. Vor der Umsetzung eines großtechnischen Ausbaus um eine Stufe zur Mikroschadstoffelimination ist die zukünftige Notwendigkeit einer weiteren Absenkung des Parameters  $P_{ges}$  unbedingt mit der zuständigen Behörde abzuklären.

Bei den begleitenden Untersuchungen des Ablaufs der Kläranlage bzw. des Zulaufs einer zukünftigen Stufe zur Mikroschadstoffelimination konnte festgestellt werden, dass die Bromidkonzentrationen bei maximal 100 µg/L bzw. die Bromatbildung in Abhängigkeit von der zugegebenen Ozonkonzentration

maximal bei 13,5 µg/L liegt. Hinsichtlich einer Umsetzung der Variante 3 stellt dies demnach aus heutiger Sicht kein Problem dar. Vor einer großtechnischen Umsetzung der Vorzugsvariante empfehlen wir dennoch weitergehende Untersuchungen mit einem längeren Zeitraum, als den im Rahmen dieser Studie möglichen. Es werden die folgenden Voruntersuchungen z.B. im Rahmen einer 2-wöchigen Messreihe empfohlen:

- Bestimmung der DOC-Konzentrationen im Zulauf der geplanten Stufe zur Mikroschadstoffelimination
- Bestimmung der Bromidkonzentrationen im Zulauf zur geplanten Stufe zur Mikroschadstoffelimination sowie korrespondierend des Bromatbildungspotenzials bei Zugabe definierter spezifischer Ozonkonzentrationen, wie sie im späteren Betrieb angestrebt werden, z.B. 0,7 mgO<sub>3</sub>/mg<sub>DOC</sub>
- Verifizierung der Ozonzehrungsversuche

Bei der weiteren Vorgehensweise sollte berücksichtigt werden, dass eine Förderung über „ResA II – Ressourceneffiziente Abwasserbeseitigung NRW II“ in einer Höhe von bis zu 70 % von der Erstinvestition nur noch bis einschließlich Antragsjahr 2019 und ab 2020 lediglich in Höhe von bis zu 50 % möglich ist. Es ist weiterhin zu beachten, dass eine Förderung nur möglich ist, wenn es sich dabei um eine freiwillige Maßnahme handelt.

## 7 Literaturverzeichnis

Abegglen, C.; Siegrist, H. (2012): Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen. Bundesamt für Umwelt, Bern, Umwelt-Wissen Nr. 1214: 210 S. Bundesamt für Umwelt, Bern (Umwelt-Wissen, 1214). Online verfügbar unter [http://www.sib.admin.ch/fileadmin/\\_migrated/content\\_uploads/UW-1214-D\\_Mikroverunreinigungen.pdf](http://www.sib.admin.ch/fileadmin/_migrated/content_uploads/UW-1214-D_Mikroverunreinigungen.pdf), zuletzt geprüft am 06.01.2015.

ARGE TP 10 (2011): Metabolitenbildung beim Einsatz von Ozon. Schlussbericht, Phase 1. Hg. v. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV). Online verfügbar unter [http://www.lanuv.nrw.de/wasser/abwasser/forschung/pdf/Abschlussbericht\\_Metabolitenbildung.pdf](http://www.lanuv.nrw.de/wasser/abwasser/forschung/pdf/Abschlussbericht_Metabolitenbildung.pdf), zuletzt geprüft am 17.12.2015.

ARGE TP 6 (2014): Elimination von Arzneimittelrückständen in kommunalen Kläranlagen. Schlussbericht, Phase 2. Hg. v. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV), zuletzt geprüft am 28.04.2014.

ARGE TP 9 (2013): Volkswirtschaftlicher Nutzen der Ertüchtigung kommunaler Kläranlagen zur Elimination von organischen Spurenstoffen, Arzneimitteln, Industriechemikalien, bakteriologisch relevanten Keimen und Viren. Abschlussbericht. Hg. v. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV). Online verfügbar unter [http://www.lanuv.nrw.de/uploads/tx\\_mmkresearchprojects/TP\\_9\\_Abschlussbericht\\_Langfassung\\_final\\_140305.pdf](http://www.lanuv.nrw.de/uploads/tx_mmkresearchprojects/TP_9_Abschlussbericht_Langfassung_final_140305.pdf), zuletzt geprüft am 17.12.2015.

Astrid Bischoff; Bischoff, Astrid (2013): Desinfektion von behandeltem Abwasser. Vergleich verschiedener Desinfektionsverfahren. Zugl.: Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 2013. Darmstadt: Inst. IWAR (Schriftenreihe IWAR, 225).

ATV (1995): A 203 Abwasserfiltration durch Raumfilter nach biologischer Reinigung. Hennef.

ATV (1997): Mechanische Abwasserreinigung. 4. Aufl. Berlin: Ernst (ATV-Handbuch).

Barjenbruch, M.; Firk, W. (2014): Möglichkeiten der Elimination von Spurenstoffen auf kommunalen Kläranlagen. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 61 (10), S. 861–875.

Bezirksregierung Arnsberg (2017): Einleitungserlaubnis für die Kläranlage Lippstadt. Einleitung von gereinigtem Abwasser aus der Kläranlage Lippstadt in die Lippe.

Bornemann, C.; Pinnekamp, J. (2012): MIKROFLOCK: Ertüchtigung kommunaler Kläranlagen, insbesondere kommunaler Flockungsfiltrationsanlagen durch den Einsatz von Aktivkohle. ARGE "Forschung Spurenstoffe NRW".

Donau Carbon (2015): Aktivkohle und ihre Anwendung. Donau Carbon GmbH & Co. KG,. Online verfügbar unter <http://www.donau-carbon.com/Downloads/aktivkohle.aspx>, zuletzt geprüft am 17.12.2015.

DSADS (2016): Den Spurenstoffen auf der Spur. Projekt des Landes Nordrhein-Westfalen, der Stadt Dülmen und des Lippeverbands. Online verfügbar unter [www.dsads.de](http://www.dsads.de), zuletzt geprüft am 18.10.2016.

DWA (2011): Chemisch-physikalische Verfahren zur Elimination von Phosphor aus Abwasser. Mai 2011. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft Abwasser und Abfall e.V (DWA-Regelwerk : A, Arbeitsblatt, Mai 2011 // 202).

EAWAG (2009): Einsatz von Pulveraktivkohle zur Elimination von Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. 3. Zwischenbericht. Dübendorf.

ELWAS-WEB (2017): Elektronisches wasserwirtschaftliches Verbundsystem für die Wasserwirtschaftsverwaltung. Online verfügbar unter [www.elwasweb.nrw.de/elwas-web/index.jsf](http://www.elwasweb.nrw.de/elwas-web/index.jsf).

Götz, C.; Otto, J.; Singer, H. (2015): Überprüfung des Reinigungseffekts. Auswahl geeigneter organischer Spurenstoffe. In: *Aqua&Gas* (2), S. 34–40.

Herbst, H.; Hilbig, R. (2013): Machbarkeitsstudie - Einbindung einer Anlage zur Spurenstoffelimination mittels Aktivkohle in die Abwasserfiltration der Kläranlage Neuss-Ost. Online verfügbar unter [http://www.lanuv.nrw.de/wasser/abwasser/forschung/pdf/Abschlussbericht\\_Machbarkeit.pdf](http://www.lanuv.nrw.de/wasser/abwasser/forschung/pdf/Abschlussbericht_Machbarkeit.pdf), zuletzt geprüft am 09.12.2016.

Herbst, H.; Kauffmann, M.; Türk, J.; Launer, M. (2011): Abwasserozonierung Kläranlage Duisburg-Vierlinden. Auslegung - Bau - erste Betriebsergebnisse. In: E. Hoffmann (Hg.): Tagungsband der 25. Karlsruher Flockungstage, Bd. 141.

Herbst, H.; Maus, C. (2013): Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Warburg. Machbarkeitsstudie. Online verfügbar unter [http://www.lanuv.nrw.de/uploads/tx\\_mmkresearchprojects/Abschlussbericht\\_Spurenstoffe\\_Warburg.pdf](http://www.lanuv.nrw.de/uploads/tx_mmkresearchprojects/Abschlussbericht_Spurenstoffe_Warburg.pdf), zuletzt geprüft am 17.12.2015.

Kienle, C.; Vermeirssen, E.; Kunz, P.; Werner, I. (2015): Grobbeurteilung der Wasserqualität von abwasserbelasteten Gewässern anhand von ökotoxikologischen Biotests. Studie im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU). Ökotoxizentrum, Schweizerisches Zentrum für angewandte Ökotoxikologie Eawag-EPFL. Dübendorf, Schweiz.

KOM-M.NRW (2015a): Karten – Stand des Ausbaus von Kläranlagen zur Mikroschadstoffelimination. Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW. Online verfügbar unter <http://www.masterplan-wasser.nrw.de/karten/>, zuletzt geprüft am 30.10.2015.

KOM-M.NRW (2015b): Mikroschadstoffelimination machbar? Wesentliche Inhalte einer Machbarkeitsstudie für Anlagen zur Mikroschadstoffelimination. Hg. v. ARGE Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW. Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW.

KOM-M.NRW (2016): Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination. 2. überarbeitete und erweiterte Auflage. Hg. v. ARGE Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW.

KomS-BW (2015a): Kläranlagen mit 4. Reinigungsstufe. Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg. Online verfügbar unter <http://www.koms-bw.de/klaeranlage/>, zuletzt geprüft am 11.06.2015.

KomS-BW (2015b): Pulverisierte Aktivkohle. Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg. Online verfügbar unter <http://www.koms-bw.de/page35/page36/page42/>, zuletzt geprüft am 11.06.2015.

KVR-Leitlinien (2012): Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien). 8. Aufl. Hg. v. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

LANUV (2017): Living Document. Stand 11.2017, unveröffentlicht.

Mecana (2017): Innovative Feststoffentnahme mit textilen Filtermedien. Online verfügbar unter [www.mecana.ch/images/sampledData/PDF/Downloads/PCMF\\_englisch/Deutsch/Polstofffiltration\\_Brosch\\_e\\_0715A\\_klein.pdf](http://www.mecana.ch/images/sampledData/PDF/Downloads/PCMF_englisch/Deutsch/Polstofffiltration_Brosch_e_0715A_klein.pdf).

Metzger, S.; Rößler, A.; Kapp H. (2012): Erweiterung des Klärwerks Mannheim um eine Adsorptionsstufe zur Verbesserung der Abwasserreinigung - Spurenstoffbericht. Hochschule Biberach. Online verfügbar unter [www.koms-bw.de/pulsepro/data/img/uploads/Adsorptionsstufe\\_Spurenstoffbericht.pdf](http://www.koms-bw.de/pulsepro/data/img/uploads/Adsorptionsstufe_Spurenstoffbericht.pdf).

Metzger, Steffen (2010): Einsatz von Pulveraktivkohle zur weitergehenden Reinigung von kommunalem Abwasser. [Verfahrenstechnische, betriebliche und ökonomische Aspekte bei der Entfernung von Spurenstoffen]. München: Oldenbourg Industrieverl.

Metzger, Steffen; Kapp, H. (2008): Einsatz von Pulveraktivkohle zur Elimination von Mikroverunreinigungen. VSA-Fachtagung, 28.10.2008.

Micropoll (2012): Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen. Hg. v. Bundesamt für Umwelt BAFU. Schweiz. Online verfügbar unter [http://www.micropoll.ch/fileadmin/user\\_upload/Redaktion/Dokumente/01\\_Berichte/02\\_Technische\\_Verfahren/01\\_Allgemein/2012\\_Mikroverunreinigungen\\_aus\\_kommunalem\\_Abwasser.pdf](http://www.micropoll.ch/fileadmin/user_upload/Redaktion/Dokumente/01_Berichte/02_Technische_Verfahren/01_Allgemein/2012_Mikroverunreinigungen_aus_kommunalem_Abwasser.pdf), zuletzt geprüft am 12.06.2015.

Micropoll (2013): Projektsteckbrief Ozonung St. Pourcain. VSA-Plattform Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen. Online verfügbar unter [http://www.micropoll.ch/fileadmin/user\\_upload/Redaktion/Anlagen/Ozonung\\_St\\_Pourcain.pdf](http://www.micropoll.ch/fileadmin/user_upload/Redaktion/Anlagen/Ozonung_St_Pourcain.pdf), zuletzt aktualisiert am 11.06.2015.

Micropoll (2015a): Dichte Membranen. VSA-Plattform Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen. Online verfügbar unter <http://www.micropoll.ch/verfahren/dichte-membranen/>, zuletzt geprüft am 11.06.2015.

Micropoll (2015b): Schweiz - VSA Micropoll. VSA-Plattform Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen. Online verfügbar unter <http://www.micropoll.ch/anlagen-projekte/schweiz/>, zuletzt geprüft am 11.06.2015.

MKULNV (2014): Leitfaden Monitoring Oberflächengewässer Teil D / Anlage 4 - Flussgebiete NRW. Hg. v. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV).

Oekotoxzentrum (2015): Environmental Quality Standard (EQS) - Vorschlag des Oekotoxzentrums für: Bromat. Online verfügbar unter [http://www.oekotoxzentrum.ch/media/90565/bromat\\_dossier\\_final.pdf](http://www.oekotoxzentrum.ch/media/90565/bromat_dossier_final.pdf).

Roeske, Wolfgang (2007): Trinkwasserdesinfektion. Grundlagen, Verfahren, Anlagen, Geräte, Mikrobiologie, Chlorung, Ozonung, UV-Bestrahlung, Membranfiltration, Qualitätssicherung. 2. Aufl. München: Oldenbourg Industrieverl.

Schwentner, G.; Schröder M. (Hg.) (2010): Ergänzung der Flockungsfiltration durch Vorschaltung einer Aktivkohleanlage am Beipeil der Kläranlage Böblingen-Sindelfingen. Schriftenreihe Gewässerschutz-Wasser-Abwasser: Pinnekamp, J., Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen (220).

Stadtentwässerung Lippstadt (2017): Luftbild der Zentralkläranlage Lippstadt. Online verfügbar unter [http://www.stadtentwaesserung-lippstadt.com/cms/Information/Zentralklaeranlage-Lippstadt/Zentralklaeranlage\\_Lippstadt.html](http://www.stadtentwaesserung-lippstadt.com/cms/Information/Zentralklaeranlage-Lippstadt/Zentralklaeranlage_Lippstadt.html).

Stalter, Daniel; Magdeburg, Axel; Oehlmann, Jorg (2010a): Comparative toxicity assessment of ozone and activated carbon treated sewage effluents using an in vivo test battery. In: *Water research* 44 (8), S. 2610–2620. DOI: 10.1016/j.watres.2010.01.023.

Stalter, Daniel; Magdeburg, Axel; Weil, Mirco; Knacker, Thomas; Oehlmann, Jorg (2010b): Toxication or detoxication? In vivo toxicity assessment of ozonation as advanced wastewater treatment with the rainbow trout. In: *Water research* 44 (2), S. 439–448. DOI: 10.1016/j.watres.2009.07.025.

Tchobanoglous, George; Burton, Franklin L.; Stensel, H. David (2003): Wastewater engineering. Treatment and reuse. 4th ed. Boston: McGraw-Hill (McGraw-Hill series in civil and environmental engineering).

TrinkwV 2001: Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch. TrinkwV 2001, vom 10.03.2016.

Umweltbundesamt (2011): Zusammenstellung von Monitoringdaten zu Umweltkonzentrationen von Arzneimitteln. ISSN 1862-4804. Dessau-Roßlau (Texte, 66).

WABAG (2014): Filtration zur Wasser- und Abwasserreinigung. WABAG Wassertechnik AG. Online verfügbar unter [http://www.wabag.com/wp-content/uploads/2014/07/Filtration2014\\_DE\\_WEB.pdf](http://www.wabag.com/wp-content/uploads/2014/07/Filtration2014_DE_WEB.pdf), zuletzt geprüft am 12.06.2015.

Wittmer, A.; Ramisberger, M.; Böhler, M.; Heisele, A.; Siegrist, H.; Hollender, J. et al. (2013): UV-Messung zur Regelung der Ozondosis und Überwachung der Reinigungsleistung. Labor- und halbttechnische Pilotversuche. Schlussbericht. Hg. v. Bundesamt für Umwelt BAFU. EAWAG. Dübendorf

(85341). Online verfügbar unter [https://www.micropoll.ch/fileadmin/user\\_upload/Redaktion/Dokumente/01\\_Berichte/02\\_Technische\\_Verfahren/02\\_Ozonung/2013\\_UV-Regelung\\_Ozonung.pdf](https://www.micropoll.ch/fileadmin/user_upload/Redaktion/Dokumente/01_Berichte/02_Technische_Verfahren/02_Ozonung/2013_UV-Regelung_Ozonung.pdf), zuletzt geprüft am 09.12.2016.

Xu, P.; Janex, M.; Savoye, P.; Cockx, A.; Lazarova, V. (2002): Wasterwater disinfection by ozone: main parameters for process design. 36. Aufl. Hg. v. Water research (1043-1055).

Zimmermann, S. (2011): Enhanced wastewater treatment by ozone and ferrate: Kinetics, transformation products and full-scale ozonation. Dissertation. ETH, Zürich.