

Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Münster - Am Loddenbach

Kurzbericht

Stadt Münster

Impressum

Auftraggeber: Stadt Münster

Auftragnehmer: **Sweco GmbH**

Postfach 30 01 06
50771 Köln

Graeffstraße 5
50823 Köln

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

Bearbeitungszeitraum: Februar 2017 - Dezember 2017

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis		II
1	Veranlassung und Hintergründe der Mikroschadstoffelimination	3
2	Kurzbeschreibung des Einzugsgebietes und der Verfahrenstechnik der Kläranlage Münster Am Loddenbach	4
3	Abwasseranalyse und Auslegungswerte	5
3.1	Ergebnisse der Abwasser- und Gewässeranalysen	6
3.2	Auslegungswassermenge	9
3.3	Eliminationsraten	9
4	Ausarbeitung von technischen Anlagenkonzepten	10
4.1	Randbedingungen für mögliche Varianten und Variantenauswahl	10
4.2	Variante 1a: GAK-Filtration auf Teilfläche des Schönungsteichs (Teilstrombehandlung)	11
4.3	Variante 1b: GAK-Filtration auf Teilfläche des Schönungsteichs (Vollstrombehandlung)	12
4.4	Variante 2a: Ozon mit Nachbehandlung im vorhandenen Schönungsteich (Teilstrombehandlung)	12
4.5	Variante 2b: Ozon mit nachgeschalteter Tuchfiltration und Schönungsteich (Teilstrombehandlung, Filtration als Vollstrom)	13
4.6	Variante 3: PAK ins Belebungsbecken mit Nachbehandlung in einer Tuchfiltration und anschließendem Schönungsteich (Vollstrombehandlung)	14
4.7	Variante 4: PAK in Kontaktbecken, Abtrennung in Sedimentationsbecken und Nachbehandlung in einer Tuchfiltration (Teilstrombehandlung, Filtration als Vollstrom)	15
5	Kostenermittlung	16
5.1	Kostenschätzung und -vergleich der Varianten	16
5.2	Kostenvergleich der Varianten bei Berücksichtigung einer Förderung und Minderung der Abwasserabgabe	17
6	Variantenbewertung	18
6.1	Verfahrensbewertung mit und ohne Berücksichtigung einer Förderung und Minderung der Abwasserabgabe	18
7	Empfehlung	21
7.1	Erfordernis zur Mikroschadstoffelimination	21
7.2	Verfahrensempfehlung	22

8	Literaturverzeichnis	24
----------	-----------------------------	-----------

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 4-1:	Skizze des Lageplans der Variante 1a auf der Kläranlage Münster-Am Loddenbach	12
Abbildung 4-2:	Skizze des Lageplans der Variante 2a auf der Kläranlage Münster-Am Loddenbach	13
Abbildung 4-3:	Skizze des Lageplans der Variante 3 auf der Kläranlage Münster-Am Loddenbach	14
Abbildung 4-4:	Fließbild der Variante 4 auf der Kläranlage Münster-Am Loddenbach	15

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1:	Bewertungsmaßstab der Mikroschadstoffkonzentrationen im Oberflächengewässer im Ablauf der Kläranlage Münster-Am Loddenbach (BK: Bewertungskriterium)	5
Tabelle 3-2:	Ergebnisse des erweiterten Monitorings vom 21. bis 23.03.2017 im Zulauf zur Biologie und Ablauf der Kläranlage Münster Am Loddenbach	6
Tabelle 3-3:	Ergebnisse der Datenverdichtung des Ablaufs der Kläranlage Münster Am Loddenbach	7
Tabelle 3-4:	Konzentrationen im Loddenbach vor und nach Einleitung der Kläranlage Münster Am Loddenbach mit Bewertung der Gewässerqualität hinsichtlich der Belastung mit Mikroschadstoffen	8
Tabelle 3-5:	Konzentrationen in der Werse vor und nach der Einleitung des Loddenbachs mit Bewertung der Gewässerqualität hinsichtlich der Belastung mit Mikroschadstoffen	8
Tabelle 3-6:	Standortrelevante Substanzen und Indikatorsubstanzen	9
Tabelle 5-1:	Zusammenstellung der Kostenschätzung der einzelnen Varianten	17
Tabelle 5-2:	Zusammenstellung der Kostenschätzung der Varianten unter Berücksichtigung einer Förderung und Minderung der Abwasserabgabe	18
Tabelle 6-1:	Bewertungsmatrix für die Varianten ohne Berücksichtigung einer Förderung und Minderung der Abwasserabgabe	19
Tabelle 6-2:	Ranking der Varianten ohne Berücksichtigung einer Förderung und Minderung der Abwasserabgabe	20
Tabelle 6-3:	Ranking der Varianten mit Berücksichtigung einer Förderung und Minderung der Abwasserabgabe	20
Tabelle 7-1:	Überschreitungen der Bewertungskriterien im Ablauf der Kläranlage im Rahmen des erweiterten Monitorings	21
Tabelle 7-2:	Überschreitungen der im Gewässer Werse gemessenen Substanzen	22

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, 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.

Die vorliegende Studie soll dazu dienen, eine Einschätzung zur Notwendigkeit einer Stufe zur Mikroschadstoffelimination zu ermöglichen und die auf der Kläranlage Münster-Am Loddenbach technisch und wirtschaftlich sinnvollsten Verfahrensvarianten zu identifizieren. Das Ziel ist die Benennung einer Vorzugsvariante, die auch im großtechnischen Betrieb die wirtschaftlichste und verfahrenstechnisch beste Variante für die Kläranlage Münster- Am Loddenbach ist. Es fließen dazu die Analyseergebnisse der Mikroschadstoffe im Ablauf der Kläranlage, die Messwerte der Standardparameter des Kläranlagenablaufs, die vorhandene Verfahrenstechnik sowie nutzbare Bausubstanz und andere Randbedingungen in die Entscheidungsfindung mit ein.

2 Kurzbeschreibung des Einzugsgebietes und der Verfahrenstechnik der Kläranlage Münster Am Loddenbach

Die Kläranlage Münster-Am Loddenbach befindet sich ca. 6 km süd-östlich von Münster. Dort werden die Abwässer aus den Stadtgebieten Gremmendorf, Angelmodde, Hiltrup-Ost und Wolbeck behandelt. Zusätzlich werden Fäkalien von Kleineinleitern aus dem Stadtgebiet angenommen und mitbehandelt. Auf der Kläranlage werden ebenfalls Schlämme der Kläranlage Hiltrup angenommen und mitbehandelt.

Der Kläranlage vorgeschaltet sind zwei Regenklärbecken, sechs Regenrückhaltebecken und drei Regenüberlaufbecken. Weiterhin sind keine größeren Indirekteinleiter angeschlossen.

Das in der Kläranlage gereinigte Abwasser wird in den Loddenbach eingeleitet. Die Kläranlageneinleitung hat einen deutlichen Einfluss auf die physikalisch-chemische Qualität des Gewässers. Innerhalb eines Intensivmessprogramms des LANUV in den Jahren 2011-2013 wurde festgestellt, dass die Kläranlageneinleitung ebenfalls einen Einfluss auf die biologische Qualität, in Form des Saprobienindex, hat. Dieser kann oberhalb der Einleitung als gut bewertet werden. Unterhalb der Einleitung jedoch nur noch als unbefriedigend. Auch laut ELWAS (2016) wird der ökologische Zustand der Werse, in die der Loddenbach ca. 125 m unterhalb des Kläranlageneinlaufs mündet, als unbefriedigend eingestuft. Der chemische Zustand wird als nicht gut bezeichnet. Der mittlere Niedrigwasserabfluss (MNQ) des Loddenbachs beträgt an der Einleitstelle 194 L/s (Götz et al. 2012). Laut Erlaubnisbescheid darf die Kläranlage bis zu 1.600 m³/h (444 L/s) einleiten.

Unterhalb der Einmündung des Loddenbachs in die Werse befindet sich ein wasserabhängiges FFH-Gebiet. Dieses beginnt kurz vor der Einmündung der Werse in die Ems. Auch sind angrenzend Wasserschutzgebiete ausgewiesen und gesetzlich geschützte Biotopie vorhanden, wie z.B. Altarme unterhalb der Einmündung des Loddenbachs in die Werse. Ebenfalls unterhalb der Einmündung befindet sich das Naturschutzgebiet Auwald Stapelskotten.

Hinsichtlich der Hochwassergefahren, gilt es für die Kläranlage Münster-Am Loddenbach zu beachten, dass der Schönungsteich zu einer ausgewiesenen Überschwemmungsfläche im Hochwasserfall (ab HQ10) zählt. Im Hochwasserfall besteht demnach eine hohe Wahrscheinlichkeit der Überschwemmung des Schönungsteichs.

Die Kläranlage Münster Am Loddenbach wurde 1974 in Betrieb genommen. Die Ausbaugröße beträgt 45.000 Einwohnerwerte. 2014 waren 38.800 EW an die Kläranlage angeschlossen. Demnach ist die Kläranlage zu mehr als 85 % ausgelastet. Nach Abwasserverordnung (AbwV) ist die Kläranlage in die Größenklasse 4 einzuordnen. Die Auslegungswassermenge beträgt 13.000 m³/d bei Trockenwetter und die Trockenwetterspitze wird mit 800 m³/h angegeben. Bei Regenwetter können maximal 1.600 m³/h in der Kläranlage behandelt werden.

Die Kläranlage Münster-Am Loddenbach ist eine einstufige Belebungsanlage mit mechanischer, biologischer und chemischer Abwasserbehandlung. Die chemische Reinigung erfolgt in Münster-Am Loddenbach durch eine Simultanfällung mit Eisensalzen. Zur weitergehenden Nachbehandlung wird das Abwasser in einen Schönungsteich eingeleitet von wo aus es in den Loddenbach eingeleitet wird.

Der bei der Abwasserreinigung anfallende Klärschlamm wird anaerob stabilisiert und nach anschließender Schlammentwässerung mittels Zentrifuge abtransportiert. Der so stabilisierte und entwässerte Schlamm wird derzeit ausschließlich landwirtschaftlich verwertet, ab 2018 soll dieser allerdings vollständig thermisch behandelt werden.

3 Abwasseranalyse und Auslegungswerte

Um eine fundierte Verfahrensauswahl hinsichtlich der Mikroschadstoffelimination zu treffen, müssen die standortspezifischen Abwassereigenschaften auf der Anlage berücksichtigt werden. Zu den Standardabwasserparameter liegen die Daten für die Chemischen Sauerstoffbedarf, Gesamtstickstoff, Nitritstickstoff, Nitratstickstoff, anorganischer Stickstoff, Ammoniumstickstoff, abfiltrierbare Stoffe sowie gesamter organischer Kohlenstoff des Kläranlagenablaufs aus den Betriebstagebüchern vor. Im Rahmen durchgeführter Probenahmen und Analysen können weitere Ergebnisse zu Standardparametern sowie z.B. zu Bromid ergänzt werden. Zudem werden Mikroschadstoffe berücksichtigt. Deren Auswahl beruht auf den Empfehlungen nach KOM-M.NRW (2016). Die Abstimmung mit der Bezirksregierung der für die Kläranlage Münster Am Loddenbach relevanten Mikroschadstoffe und Standardparameter erfolgte durch den Kläranlagenbetreiber. Die Analytik zur Machbarkeitsstudie der Kläranlage Münster am Loddenbach umfasst ein erweitertes Monitoring von Kläranlagenzu- und -ablauf sowie die Analyse auf ein reduziertes Spektrum zur Bewertung der Gewässer Loddenbach und Werse und eine Datenverdichtung zur Bestätigung der im erweiterten Monitoring gemessenen Konzentrationen.

Durch fehlende Grenzwerte für Mikroschadstoffe in Abläufen kommunaler Kläranlagen kann eine Bewertung der Kläranlagenabläufe nur über die vorliegenden Orientierungswerte für Mikroschadstoffe in Oberflächengewässern vorgenommen werden. Dabei führt die Einleitung in einen schwachen Vorfluter zu einer stärkeren Beeinflussung des Ökosystems als bei einer starken Verdünnung in einem starken Vorfluter. Der Verdünnungsfaktor durch die Einleitung in ein Oberflächengewässer wurde in der Bewertung der gemessenen Mikroschadstoffkonzentrationen im Ablauf der Kläranlage nicht berücksichtigt.

Die ermittelten Konzentrationen der Mikroschadstoffe im Ablauf der Kläranlage sind den Orientierungswerten oder Vorschlägen für Umweltqualitätsnormen (UQN) zur Beurteilung des chemischen und biologischen Status der Oberflächengewässer nach Wasserrahmenrichtlinie gegenübergestellt worden. Eine Übersicht über die verschiedenen Substanzen mit Umweltqualitätsnormen und Vorsorgewerten ist in der sogenannten „D4-Liste“ zu finden (MKULNV 2014). Bei den Orientierungswerten (OW) handelt es sich um fachlich abgeleitete Beurteilungswerte, die jedoch nicht die gesetzliche Verbindlichkeit wie die UQN aufweisen. Im Falle der präventiven Vorsorgewerte, handelt es sich um auf Konventionen beruhende Orientierungswerte, die fachlich nicht abgeleitet sind. Die Bewertung der Ergebnisse erfolgte nach dem Schema in Tabelle 3-1.

Tabelle 3-1: Bewertungsmaßstab der Mikroschadstoffkonzentrationen im Oberflächengewässer im Ablauf der Kläranlage Münster-Am Loddenbach (BK: Bewertungskriterium)

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

3.1 Ergebnisse der Abwasser- und Gewässeranalysen

Die Ergebnisse des erweiterten Monitorings des Zu- und Ablaufs der Kläranlage Münster Am Loddenbach sind in Tabelle 3-2 aufgeführt. Die Konzentrationen des Kläranlagenablaufs wurden mit den Bewertungskriterien für Gewässerkonzentrationen entsprechend der Tabelle 3-1 bewertet, um eine Einschätzung vornehmen zu können.

Tabelle 3-2: Ergebnisse des erweiterten Monitorings vom 21. bis 23.03.2017 im Zulauf zur Biologie und Ablauf der Kläranlage Münster Am Loddenbach

	Einheit	UQN/ Orientierungswert/ präventiver Vorsorgewert	Zulauf Biologie	Ablauf Kläranlage	Zulauf Biologie	Ablauf Kläranlage	
			21.-22.03.2017	21.-22.03.2017	22.-23.03.2017	22.-23.03.2017	
			Trockenwetter	Trockenwetter	Trockenwetter	Trockenwetter	
Arzneimittel- wirkstoffe und Metabolite	Carbamazepin	ng/L	500	330	570	370	560
	Ciprofloxacin	ng/L	36	1.200	210	1.500	180
	Clarithromycin	ng/L	100	1.000	670	1400	510
	Diclofenac	ng/L	50	3.700	3600	3700	3400
	Ibuprofen	ng/L	10	21.000	< 10	19.000	< 10
	Metoprolol	ng/L	7.300	2.500	2800	2500	2800
	Sulfamethoxazol	ng/L	600	470	390	420	400
	Valsartan	ng/L	100	11.000	12000	13000	11000
	Losartan	ng/L	100	470	250	500	240
	Candesartan	ng/L	100	2.100	2700	2200	2800
	Gabapentin	ng/L	100	10.000	7800	12000	7800
	Sotalol	ng/L	100	240	260	270	290
	Guanylharnstoff	ng/L	100	60	4300	53	4400
	Pestizide	Mecoprop P	ng/L	100	< 30	< 30	< 30
Terbutryn		ng/L	65	< 20	< 20	< 20	< 20
Isoproturone		ng/L	300	< 50	< 50	< 50	< 50
Flufenacet		ng/L	40	< 10	< 10	< 10	< 10
Tebuconazol		ng/L	1.000	< 30	< 30	< 30	< 30
Propiconazol		ng/L	1.000	< 30	< 30	< 30	< 30
Korrosions- schutzmittel	1H-Benzotriazol	ng/L	10.000	12.000	6000	12.000	6500
Süßstoffe	Acesulfam K	ng/L	100	27.000	1000	32000	930
RKM	Amidotrizoesäure	ng/L	100		1000		1000
	Iopamidol	ng/L	100		64		60
	Iopromide	ng/L	100		83		500
PFC	PFOA	ng/L	100	< 30	< 30	< 30	< 30
	PFOS	ng/L	0,65	< 10	< 10	12	< 10
	H 4-PFOS	ng/L	100	22	< 10	20	< 10
Moschus- duftstoffe	Galaxolid	ng/L	7.000	3.000	2500	1800	2900
Östrogene Aktivität	A-YES Assay	ng _{EEO} /L	0,4	0,13	0,18	0,10	0,16

Die Auswertung der Mikroschadstoffanalytik vom Ablauf der Kläranlage zeigt, dass teilweise hohe Überschreitungen der Bewertungskriterien vorliegen. Bei den Arzneimittelwirkstoffen bzw. deren Metaboliten liegen für die Substanzen Ciprofloxacin, Clarithromycin, Diclofenac, Valsartan, Candesartan und Gabapentin sowie für Guanylharnstoff Überschreitungen über dem 4-fachen des Bewertungskriteriums vor. Auch die Konzentrationen des Süßstoffs Acesulfam K und des Röntgenkontrastmittels Amidotrizoesäure weisen eine über dem 4-fachen liegende Überschreitung auf. Unbefriedigend ist auch die Konzentration von Losartan. Mäßige Konzentrationen, das heißt bis zu einer 2-fachen Überschreitung liegen für die Substanzen Carbamazepin und Sotalol vor. Zu erwähnen ist, dass die Konzentration von Guanylharnstoff im Zulauf zur Biologie niedriger liegt als im Ablauf der Kläranlage. Begründet liegt dies darin, dass Guanylharnstoff ein Abbauprodukt des Antidiabetikums Metformin ist es wird somit während des Klärprozesses gebildet. Für Ciprofloxacin konnte ein Abbau in der biologischen Stufe von über 80 % ermittelt werden. Für Clarithromycin von ca 30 %, für Gabapentin von um die 20 % und für 1H-Benzotriazol 50 %. Diese Werte entsprechen den in Götz et al. (2015) angegebenen jeweiligen Abbau. Acesulfam K erreicht bei den Messungen in Münster Am Loddenbach einen Abbau von über 90 %. Dies entspricht jedoch nicht den Aussagen aus Götz et al. (2015), dort wird lediglich ein biologischer Abbau von unter 10 % angegeben. Bei den vorliegenden Analyseergebnissen ist zu erwähnen, dass die Bestimmung des

biologischen Abbaus voraussetzt, dass die Proben mit Zeitversatz gezogen werden, der die hydraulische Aufenthaltszeit in den Reaktoren berücksichtigt. Ansonsten handelt es sich bei den Zulauf- und Ablaufproben nicht um korrespondierende Proben.

Die Ergebnisse der Datenverdichtung (siehe Tabelle 3-3) zeigen, dass im Vergleich zum erweiterten Monitoring die Konzentrationen von Clarithromycin deutlich niedriger gemessen wurden. Die Substanzen Diclofenac, Metoprolol, Valsartan, Candesartan, Gabapentin und 1H-Benzotriazol wurden in der Datenverdichtung in höheren Bereichen gemessen als beim erweiterten Monitoring. Die anderen Substanzen lagen bei beiden Messphasen in einem sehr ähnlichen Bereich.

Aus der Betrachtung der Ergebnisse der Datenverdichtung für den Kläranlagenzulauf und -ablauf wird deutlich, dass durch die biologische Behandlung des Abwassers im Verlauf der Kläranlage die Mikroschadstoffkonzentrationen je nach Substanz bereits deutlich gesenkt werden kann. Für den Großteil der Substanzen ist die Elimination innerhalb der biologischen Reinigung jedoch nicht ausreichend, was die Bewertung des Kläranlagenablaufs bezüglich der für Gewässer relevanten Bewertungskriterien zeigt. Es zeigt sich dabei, dass für die Substanzen Diclofenac, Valsartan, Candesartan, Gabapentin, Metformin und Amidotrizoensäure das jeweilige Bewertungskriterium um mehr als das Vierfache überschritten wird. Auch für die Substanzen Carbamazepin, Clarithromycin, Sotalol und Losartan liegen die gemessenen Ablaufkonzentrationen in einem mäßigen bis unbefriedigenden Bereich.

Neben den Mikroschadstoffen wurden auch weitere Parameter bestimmt. Dazu gehört u.a. die Bromidkonzentration. Im erweiterten Monitoring lag dieser bei 190 µg/L. Dieser Wert konnte in der Datenverdichtung bestätigt werden. Er lag dabei zwischen <160 und 290 µg/L. Nach KOM-M.NRW (2016) sind die gemessenen Bromidkonzentrationen als eher hoch einzustufen. Bei Auswahl eines auf Ozon basierten Verfahrens wird empfohlen das Bromatbildungspotenzial zu bestimmen.

Tabelle 3-3: Ergebnisse der Datenverdichtung des Ablaufs der Kläranlage Münster Am Loddenbach

Stoffgruppe	Substanz	Einheit	UQN/ Orientierungswert/ präventiver Vor- sorgewert	Ablauf KA				
				18.-19.06.2017	19.-20.06.2017	20.-21.06.2017	21.-22.06.2017	22.-23.06.2017
Arzneimittelwirkstoffe und Metabolite	Carbamazepin	ng/L	500	1.200	1.300	1.400	870	890
	Clarithromycin	ng/L	100	220	220	150	83	45
	Diclofenac	ng/L	50	5.000	5.500	6.200	4.900	4.700
	Metoprolol	ng/L	7.300	4.700	4.700	5.200	3.800	3.800
	Sulfamethoxazol	ng/L	600	710	530	490	410	380
	Sotalol	ng/L	100	320	310	340	340	330
	Valsartan	ng/L	100	19.000	18.000	19.000	10.000	8.000
	Losartan	ng/L	100	120	160	160	94	84
	Candesartan	ng/L	100	5.600	5.800	6.400	5.500	5.800
	Gabapentin	ng/L	100	14.000	14.000	15.000	7.500	5.800
	Guanylhamstoff	ng/L	-	3.800	3.900	3.700	4.700	4.900
Metformin	ng/L	100	480	530	580	620	540	
Pestizide	Terbutryn	ng/L	65	32	28	48	110	84
Korrosions- schutzmittel	1H-Benzotriazol	ng/L	10.000	8.800	11.000	9.700	9.200	8.400
RKM	Amidotrizoensäure	ng/L	100	990	770	840	1.200	1.400
	Iopromide	ng/L	100	68	< 50	< 50	< 50	< 50
Moschus- duftstoffe	Galaxolid	ng/L	7.000	720	590	490	400	460
Weitere Parame- ter	Bromid	µg/L		290	< 160	190	< 160	190
	Benzo(a)pyren	µg/L		< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,049
	Bor	mg/L		0,16	0,17	0,18	0,17	0,18

Da der Loddenbach ein schwaches Gewässer ist und die Kläranlageneinleitung laut Erlaubnisbescheid mehr als das 2-fache des MNQ des Loddenbachs einleiten darf, ist die Auswirkung der Kläranlage auf den Loddenbach sehr deutlich, wie aus Tabelle 3-4 ersichtlich wird. Dabei sind für nahezu alle Substanzen die Konzentrationen oberhalb der Kläranlageneinleitung geringer als unterhalb der Kläranlagenein-

leitung. Die Einleitung des Loddenbachs in die Werse führt in vielen Fällen ebenfalls zu einer Erhöhung der Konzentrationen der Mikroschadstoffe im Gewässer, wie Tabelle 3-5 zeigt. Die Konzentrationen liegen jedoch in einer ähnlichen Größenordnung, oberhalb bzw. unterhalb der Einmündung des Loddenbachs in die Werse. Die Einleitung des Loddenbachs in die Werse verursacht dabei kaum Veränderungen in der Einordnung bezüglich der Bewertungskriterien.

Tabelle 3-4: Konzentrationen im Loddenbach vor und nach Einleitung der Kläranlage Münster Am Loddenbach mit Bewertung der Gewässerqualität hinsichtlich der Belastung mit Mikroschadstoffen

Stoffgruppe	Substanz	Einheit	UQN/ präventive Vorsorgewerte/ Orientierungswerte	Loddenbach oh Einleitung KA 20.06.2017	Loddenbach uh Einleitung KA 20.06.2017	Loddenbach oh Einleitung KA 21.06.2017	Loddenbach uh Einleitung KA 21.06.2017
Arzneimittelwirkstoffe und Metabolite	Carbamazepin	ng/L	500	< 30	950	< 30	1.200
	Clarithromycin	ng/L	100	< 30	150	< 30	120
	Diclofenac	ng/L	50	18	4.600	15	5.400
	Metoprolol	ng/L	7.300	< 30	4.200	< 30	5.000
	Sulfamethoxazol	ng/L	600	< 30	320	< 30	450
	Sotalol	ng/L	100	< 30	320	< 30	380
	Valsartan	ng/L	100	< 50	15.000	82	20.000
	Losartan	ng/L	100	< 30	150	< 30	140
	Candesartan	ng/L	100	< 30	4.900	31	5.900
	Gabapentin	ng/L	100	390	12.000	310	14.000
	Guanylhamstoff	ng/L	-	50	3.300	< 30	3.300
	Metformin	ng/L	100	150	490	130	440
Pestizide	Terbutryn	ng/L	65	140	49	93	110
Korrosionsschutzmittel	1H-Benzotriazol	ng/L	10.000	330	7.800	280	9.200
RKM	Amidotrizoensäure	ng/L	100	< 50	610	< 50	800
	Iopromide	ng/L	100	390	< 50	390	< 50
Östrogene Aktivität*	A-YES Assay	ng _{EEQ} /L	0,4**	0,020	0,027	0,024	0,049
Weitere Parameter	Bromid	mg/L		< 0,16	< 0,16	< 0,16	< 0,16
	Benzo(a)pyren	µg/L	0,00017	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
	Bor	mg/L	0,1	0,11	0,16	0,12	0,15
	DOC	mg/L		6,3	12	8,1	7,9

Tabelle 3-5: Konzentrationen in der Werse vor und nach der Einleitung des Loddenbachs mit Bewertung der Gewässerqualität hinsichtlich der Belastung mit Mikroschadstoffen

Stoffgruppe	Stoff	Einheit	UQN/ präventive Vorsorgewerte/ Orientierungswerte	Werse oh Einleitung Loddenbach 20.06.2017	Werse uh Einleitung Loddenbach 20.06.2017	Werse oh Einleitung Loddenbach 21.06.2017	Werse uh Einleitung Loddenbach 21.06.2017
Arzneimittelwirkstoffe und Metabolite	Carbamazepin	ng/L	500	390	420	410	500
	Clarithromycin	ng/L	100	120	160	130	120
	Diclofenac	ng/L	50	150	310	160	410
	Metoprolol	ng/L	7.300	750	880	740	1.100
	Sulfamethoxazol	ng/L	600	210	210	250	270
	Sotalol	ng/L	100	< 30	< 30	39	63
	Valsartan	ng/L	100	1.700	3.200	1.300	3.500
	Losartan	ng/L	100	85	78	78	87
	Candesartan	ng/L	100	2.100	2.200	2.000	2.700
	Gabapentin	ng/L	100	3.000	4.200	2.900	4.400
	Guanylhamstoff	ng/L	-	400	550	400	590
	Metformin	ng/L	100	560	500	680	580
Pestizide	Terbutryn	ng/L	65	52	46	41	45
Korrosionsschutzmittel	1H-Benzotriazol	ng/L	10.000	3.400	3.500	3.400	4.000
RKM	Amidotrizoensäure	ng/L	100	3.400	3.000	3.500	2.900
	Iopromide	ng/L	100	1.900	2.100	1.900	1.800
Östrogene Aktivität	A-YES Assay	ng _{EEQ} /L	0,4**	0,026	0,028	0,037	0,034
Weitere Parameter	Bromid	mg/L		< 0,16	< 0,16	0,19	< 0,16
	Benzo(a)pyren	µg/L	0,00017	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
	Bor	mg/L	0,1	0,33	0,29	0,33	0,32
	DOC	mg/L		11	9,0	7,1	7,1

3.2 Auslegungswassermenge

Eine verbindliche Regelung zur Auslegungswassermenge der Stufe zur Mikroschadstoffelimination gibt es zurzeit noch nicht. In der im September 2016 veröffentlichten zweiten Auflage der Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination des Kompetenzzentrums Mikroschadstoffe.NRW wird generell unterschieden zwischen einer Auslegung auf einen Teilstrom, wenn es sich bei dem Entwässerungssystem um ein Mischsystem handelt und einer Vollstromauslegung, wenn es sich um ein Trennsystem handelt. Bei der Auslegung auf einen Teilstrom wird weiterhin unterschieden zwischen einem immissionsbasierten und einem emissionsbasierten Ansatz. Der immissionsbasierte Ansatz macht eine Einzelfallbetrachtung notwendig.

Für die Kläranlage Münster-Am Loddenbach liegt das Verhältnis von Kläranlageneinleitung zu MNQ bei über 1/3. Zusätzlich sind unterhalb der Einmündung des Loddenbachs in die Werra sensible Schutzgebiete, wie ein FFH-Gebiet, ausgewiesen. Daher wird mit der Bezirksregierung die Auslegungswassermenge individuell festgelegt, da davon ausgegangen wird, dass die Kläranlageneinleitung einen großen Einfluss auf die Qualität des Gewässers hat und daher immissionsseitig relevant ist. In Abstimmung mit der Bezirksregierung Münster wurde die Auslegungswassermenge auf 800 m³/h festgelegt.

Damit können fast 100 % der Jahresabwassermenge behandelt werden. Die Jahresschmutzwassermenge kann mit der Auslegungswassermenge von 800 m³/h vollständig behandelt werden. Im Falle einer konkreten Planung ist die Auslegungswassermenge der Anlage zur Mikroschadstoffelimination in Absprache mit den Genehmigungsbehörden festzulegen.

3.3 Eliminationsraten

Die Auslegung der Stufe zur Mikroschadstoffelimination erfolgt derart, dass eine Elimination der standortrelevanten Substanzen und der Indikatorsubstanzen 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 Kläranlage und bezieht sich auf die Summe der standortrelevanten Substanzen und der Indikatorsubstanzen (KOM-M.NRW 2016).

Tabelle 3-6: Standortrelevante Substanzen und Indikatorsubstanzen

Standortrelevante Substanzen	Sensitive Leitparameter (KOM-M.NRW 2016)
Gabapentin, Losartan, Valsartan, Candesartan, Sotalol, Metformin	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

Für die Vorauswahl der Verfahrensvarianten sind zunächst unterschiedliche Randbedingungen für die Kläranlage Münster-Am Loddenbach zu betrachten. Dazu zählen neben den strukturellen auch die Randbedingungen, die aus den Abwassereigenschaften resultieren. Im Weiteren werden darauf aufbauend dann die auf der Kläranlage Münster-Am Loddenbach technisch-wirtschaftlich realisierbaren Verfahrensvarianten ausgewählt und detaillierter ausgearbeitet.

4.1 Randbedingungen für mögliche Varianten und Variantenauswahl

Auf der Kläranlage Münster-Am Loddenbach sind für die möglichen Verfahrensvarianten Neubauten vorzusehen, da keine umnutzbare Filtrationsanlage vorhanden ist. Auch ist derzeit keine umnutzbare Beckenkapazität vorhanden, sodass bei Auswahl einer Variante mit benötigten Becken Neubauten vorzusehen sind. Genutzt werden kann der bestehende Schönungsteich zur Nachbehandlung des mit Ozon behandelten Abwassers. Ergänzend zu der bestehenden Struktur sind zur Vorauswahl der zu betrachtenden Varianten zudem Freiflächen und mögliche weitere umnutzbare Flächen von Interesse, auf denen ein Neubau der Anlage zur Mikroschadstoffelimination möglich ist. Auf der Kläranlage Münster-Am Loddenbach bietet sich zur Errichtung der Stufe zur Mikroschadstoffelimination eine Freifläche südlich des bestehenden Schönungsteichs an sowie die Fläche bzw. eine Teilfläche des Schönungsteichs.

Auch die Hydraulik der bestehenden Kläranlage ist für die Verfahrensauswahl zu betrachten. Dabei lässt sich aus der bestehenden Wasserspiegellagedifferenz feststellen, ob die Stufe zur Mikroschadstoffelimination ohne zusätzlichen Pumpaufwand angeschlossen werden kann. Die nutzbare Wasserhöhe, hier die Differenz der Sohlhöhe (50,40 m ü.NN) des Ablaufrohrs der Nachklärung und der Wasserhöhe des Schönungsteichs (50,20 m ü. NN), beträgt lediglich 0,2 m. Zur Durchfahrung einer Stufe zur Mikroschadstoffelimination wird angenommen, dass eine Differenz von ca. 0,8 m (inkl. Rohrleitungsverlusten etc.) notwendig ist. Hinzu kommt, dass der Schönungsteich als Überschwemmungsfläche bei einem Hochwasser des Loddenbachs bzw. der Welse ausgewiesen ist. Im Rahmen der Studie wird demnach davon ausgegangen, dass für Varianten mit separater Stufe ein Pumpwerk erforderlich ist.

Im Rahmen einer großtechnischen Umsetzung einer Stufe zur Mikroschadstoffelimination ist die hydraulische Einbindbarkeit auf der Kläranlage Münster– Am Loddenbach weitergehend zu überprüfen. Bei der Umsetzung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination im Bereich des Schönungsteichs sind beim Bau Maßnahmen zum Schutz vor Hochwasser zu beachten.

Neben den beschriebenen strukturellen Randbedingungen können auch die Konzentrationen verschiedener Abwasserparameter Aufschluss darüber geben, ob eine bestimmte Verfahrensvariante in Frage kommt oder grundsätzlich auszuschließen ist. Ein relevanter Parameter ist hierbei zum einen die Bromidkonzentration im Abwasser, da im Rahmen der Ozonung aus Bromid kanzerogenes Bromat gebildet werden kann. Die Ergebnisse des erweiterten Monitorings bzw. der Datenverdichtung in dessen Rahmen die Bromidkonzentration jeweils mitbestimmt wurde, zeigte Werte zwischen < 160 und 290 µg/L. Laut (KOM-M.NRW 2016) wird bei Werten über 150 µg/L eine Einzelfallbetrachtung hinsichtlich der Bromatbildung bei Zugabe von Ozon empfohlen. Es wird demnach empfohlen bei der Verfolgung einer Variante mit Ozon die Bromatbildung im Vorfeld bestimmen zu lassen.

Zum anderen stellen die Konzentration der abfiltrierbaren Stoffe sowie die DOC-Konzentration eine wichtige Entscheidungshilfe dar. Zu hohe AFS- und DOC-Konzentrationen verringern die Effektivität der Ozonung wie auch der Aktivkohle hinsichtlich der Mikroschadstoffelimination, da die abfiltrierbaren Stoffe

fe bzw. der gelöste Kohlenstoff bei der Elimination aus dem Abwasser Konkurrenzstoffe für die Mikroschadstoffe darstellen. Im Rahmen des Monitorings der Mikroschadstoffe wurde der DOC bestimmt. Dieser liegt im Ablauf der Kläranlage (Umfahrung des Schönungsteichs) bei 5,7 mg/L. Die AFS-Konzentration, laut Auswertung der Betriebstagebücher, liegt bei 8,6 mg/L (85-Perzentil).

Um zu identifizieren, ob die Verfahren mit Aktivkohle oder die Verfahren mit Ozon einen Vorteil hinsichtlich der Eliminierbarkeit der standortrelevanten Substanzen, die auch in der Datenverdichtung auffällig waren und der Substanzen des Monitorings zur Datenverdichtung mit sich bringen, wird deren Eliminierbarkeit mit Ozon und mit Aktivkohle eingeschätzt.

Für die Aktivkohlebehandlung ergibt sich daraus bezüglich der analysierten Substanzen eine geringfügig bessere Tendenz hinsichtlich deren Eliminierbarkeit, die jedoch für die spätere Bewertung der einzelnen Verfahren als vernachlässigbar klein eingestuft wird.

Auf Basis der oben geschilderten Randbedingungen ergeben sich die folgenden Anlagenkonzepte, die im Folgenden detailliert ausgearbeitet werden. Die Varianten werden in Abstimmung mit der Stadt Münster teilweise auch auf den Vollstrom ausgelegt, woraus Untervarianten resultieren. Bei Varianten mit Neubau der Filtration bzw. GAK-Filtration wird diese auf den Vollstrom ausgelegt.

- Variante 1a: GAK-Filtration auf Teilfläche des Schönungsteichs (Teilstrombehandlung)
- Variante 1b: GAK-Filtration auf Teilfläche des Schönungsteichs (Vollstrombehandlung)
- Variante 2a: Ozon mit Nachbehandlung im vorhandenen Schönungsteich (Teilstrombehandlung)
- Variante 2b: Ozon mit nachgeschalteter Tuchfiltration als Neubau und Nachbehandlung im Schönungsteich (Teilstrombehandlung, Filtration als Vollstrom)
- Variante 3: PAK im Belebungsbecken und Abtrennung mittels Tuchfiltration als Neubau (Vollstrombehandlung)
- Variante 4: PAK in Kontaktbecken, Sedimentationsbecken und weiterer Abtrennung in Tuchfiltration als Neubau (Teilstrombehandlung, Filtration als Vollstrom)

Die Teilstrombehandlung erfolgt mit der abgestimmten Auslegungswassermenge von 800 m³/h und die Vollstrombehandlung mit dem maximalen Mischwasserzufluss nach den Planungsdaten in Höhe von 1.600 m³/h. Zur Berücksichtigung bei der Auslegung der Varianten bzw. auch bei der Ermittlung der Bedarfsmengen an Betriebsmitteln etc. werden Lastfaktoren angesetzt. Diese berücksichtigen die tatsächliche hydraulische Auslastung der Kläranlage in Bezug auf die angenommene stündliche Behandlungswassermenge.

4.2 Variante 1a: GAK-Filtration auf Teilfläche des Schönungsteichs (Teilstrombehandlung)

Die Variante 1a ist die Filtration über GAK. Die GAK-Filtration ist als Neubau zu konzipieren. Diese Variante benötigt keine zusätzliche Nachbehandlung des Abwassers. Der Neubau kann auf einer Teilfläche des bestehenden Schönungsteichs errichtet werden. Eingebunden wird die GAK-Filtration verfahrenstechnisch hinter der Nachklärung. Der Ablauf des GAK-Filters wird im Anschluss an den noch teilweise bestehenden Schönungsteich eingeleitet und gelangt von dort in das Gewässer Loddenbach. Verfahrenstechnisch ist die Einleitung in den Schönungsteich nicht notwendig, sodass dieser auch umfahren werden könnte. Der Abbildung 4-1 ist der Lageplan und die Verortung der GAK-Filtration zu entnehmen.

Das Abwasser wird über ein neu zu errichtendes Pumpwerk der GAK-Filtration zugeführt. Die Hydraulik sollte im Rahmen einer späteren Realisierung dieser Variante überprüft werden. Bei einer späteren Umsetzung ist zudem zu beachten, dass der Schönungsteich bereits bei HQ10, das heißt mit einer hohen Wahrscheinlichkeit im Hochwasserfall überschwemmt wird. Die Filtration ist daher so zu errichten, dass sie gegen Hochwasser geschützt ist.

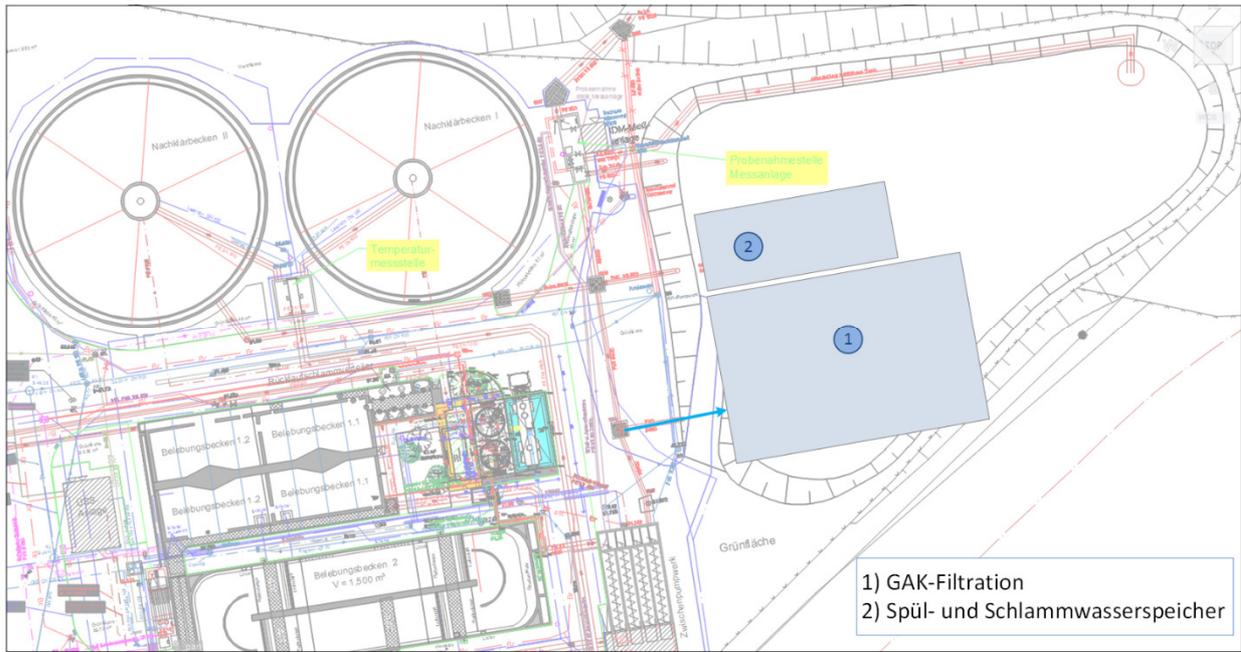


Abbildung 4-1: Skizze des Lageplans der Variante 1a auf der Kläranlage Münster-Am Loddenbach

4.3 Variante 1b: GAK-Filtration auf Teilfläche des Schönungsteichs (Vollstrombehandlung)

Die Variante 1b ist analog zu Variante 1a. Auch bei einer größeren benötigten Filterfläche, aufgrund der Vollstrombehandlung, ist der Neubau auf der Fläche des bestehenden Schönungsteichs vorgesehen. Verfahrenstechnisch ist nach der GAK-Filtration eine Einleitung in den Schönungsteich nicht notwendig, sodass dieser auch umfahren werden könnte. Wie auch bei Variante 1a ist bei einer späteren Umsetzung dieser Variante der Hochwasserschutz zu beachten, da der Schönungsteich laut Hochwassergefahrenkarte bereits bei HQ10 überschwemmt wird.

4.4 Variante 2a: Ozon mit Nachbehandlung im vorhandenen Schönungsteich (Teilstrombehandlung)

Die Ozonung wird auf der Kläranlage Münster-Am Loddenbach der Nachklärung nachgeschaltet. Über ein neu zu errichtendes Pumpwerk wird das Wasser in die Ozonanlage gehoben. Die Ozonanlage wird als Neubau auf einer Teilfläche des bestehenden Schönungsteichs konzipiert. Dieser ist dazu teilweise zu verfüllen. Aufgrund der Hochwassergefahr im Bereich des Schönungsteichs, bzw. eines hohen Risikos für Überschwemmungen ist dieser Umstand bei der Planung des Neubaus zu beachten. Das in der Ozonanlage behandelte Abwasser wird zur Nachbehandlung in den bestehenden Schönungsteich eingeleitet. Von dort fließt es dem Loddenbach zu.

Die zusätzlich zum Kontaktreaktor erforderlichen Elemente einer Ozonanlage, wie Flüssigsauerstofftank, Ozongeneratoren sowie Mess- und Steuerungstechnik werden neben dem Becken aufgestellt. Die Ozongeneratoren können mit der erforderlichen Anlagentechnik in einem fertigen Containermodul geliefert und aufgestellt werden oder in einem massiven Betriebsgebäude untergebracht werden. Für das Aufstellen des Tanks sind entsprechende Fundamente vorzusehen und der Bereich ist zu befestigen. Abbildung 4-2 zeigt die Anordnung der neu zu errichtenden Bauwerke auf dem Klärwerk Münster-Am Loddenbach für die Variante 2a.

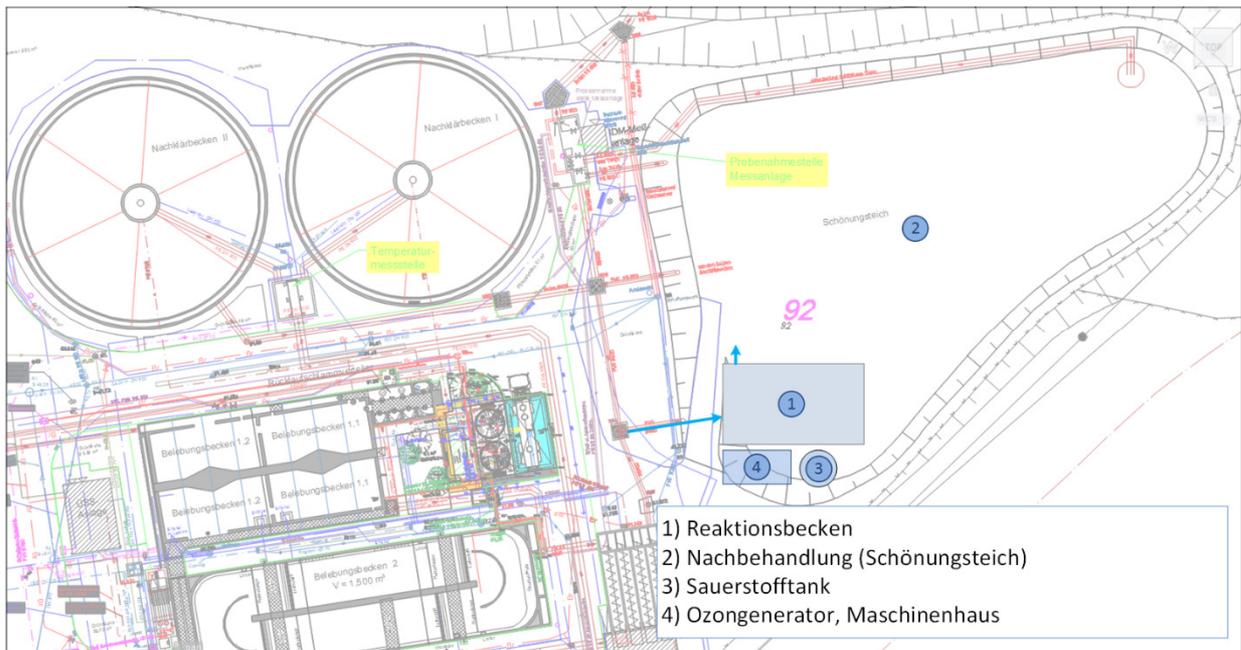


Abbildung 4-2: Skizze des Lageplans der Variante 2a auf der Kläranlage Münster-Am Loddenbach

4.5 Variante 2b: Ozon mit nachgeschalteter Tuchfiltration und Schönungsteich (Teilstrombehandlung, Filtration als Vollstrom)

Die Ozonung wird auf der Kläranlage Münster-Am Loddenbach der Nachklärung nachgeschaltet. Das Abwasser wird über ein neu zu errichtendes Pumpwerk der Ozonanlage zugeführt. Das in der Ozonanlage behandelte Abwasser wird in eine neu zu errichtende Filtration eingeleitet. Diese soll eine weitergehende Reduzierung von Phosphor durch Zugabe von Fällmitteln und weitergehendem Feststoffrückhalt ermöglichen, falls eine Verschärfung der derzeitigen Überwachungswerte vorgenommen wird. Die derzeit auf der Kläranlage installierte Technik gewährleistet eine sichere Einhaltung des P_{ges} -Überwachungswerts von 2 mg/L, wie auch die Betriebsdaten zeigen. Bei niedrigeren Überwachungswerten ist jedoch laut DWA-A 202 eine Filtration vorzusehen (DWA 2011).

Nach der Tuchfiltration wird das Abwasser in den Schönungsteich eingeleitet und fließt anschließend dem Loddenbach zu. Die Ozonanlage und die Filtration werden als Neubau auf einer Teilfläche des bestehenden Schönungsteichs konzipiert. Dieser ist dazu teilweise zu verfüllen. Als Filtration wird eine Tuchfiltration vorgesehen, da diese einen geringeren Platzbedarf aufweist, als z.B. eine Sandfiltration. Es ist außerdem kein Spül- bzw. Schlammwasserspeicher notwendig und die Filtration kann kontinuierlich erfolgen. Aufgrund der Hochwassergefahr im Bereich des Schönungsteichs, bzw. eines hohen Risikos für Überschwemmungen ist dieser Umstand bei der Planung des Neubaus zu beachten.

Die zusätzlich zum Kontaktreaktor erforderlichen Elemente einer Ozonanlage, wie Flüssigsauerstofftank, Ozongeneratoren sowie Mess- und Steuerungstechnik werden neben dem Becken aufgestellt. Die Ozongeneratoren können mit der erforderlichen Anlagentechnik in einem fertigen Containermodul geliefert und aufgestellt werden oder in einem massiven Betriebsgebäude untergebracht werden. Für das Aufstellen des Tanks sind entsprechende Fundamente vorzusehen und der Bereich ist zu befestigen.

4.6 Variante 3: PAK ins Belebungsbecken mit Nachbehandlung in einer Tuchfiltration und anschließendem Schönungsteich (Vollstrombehandlung)

Die Variante 3 ist die PAK-Dosierung in das Belebungsbecken mit Abtrennung der Pulveraktivkohle in der Nachklärung und einem als Neubau zu konzipierenden Tuchfilter. Der Tuchfilter soll weiterhin auch der Einhaltung der P_{ges} -Konzentration im Ablauf dienen, bei einer möglichen Verschärfung dieses Überwachungswerts. Für die Tuchfiltration werden Scheibenfilter vorgesehen, die mit einem Polstoff aus Mikrofaser bespannt sind, da damit auch kleine PAK-Partikel zurückgehalten werden können.

Die über den Rücklaufschlamm aus der Nachklärung abgezogene Pulveraktivkohle und die im Bodenschlamm der Filtration vorhandene Pulveraktivkohle werden dem Zulauf der biologischen Stufe zugeleitet. Dadurch erhöht sich die Aufenthaltszeit der Pulveraktivkohle im System und es erfolgt eine Weiterbeladung der Pulveraktivkohle, was einen guten Ausnutzungsgrad gewährleisten kann. Die biologischen Prozesse und die simultane Phosphatfällung bleiben durch die Aktivkohle im Belebungsbecken unberührt (ARGE TP 6 2014; Stoll et al. 2015).

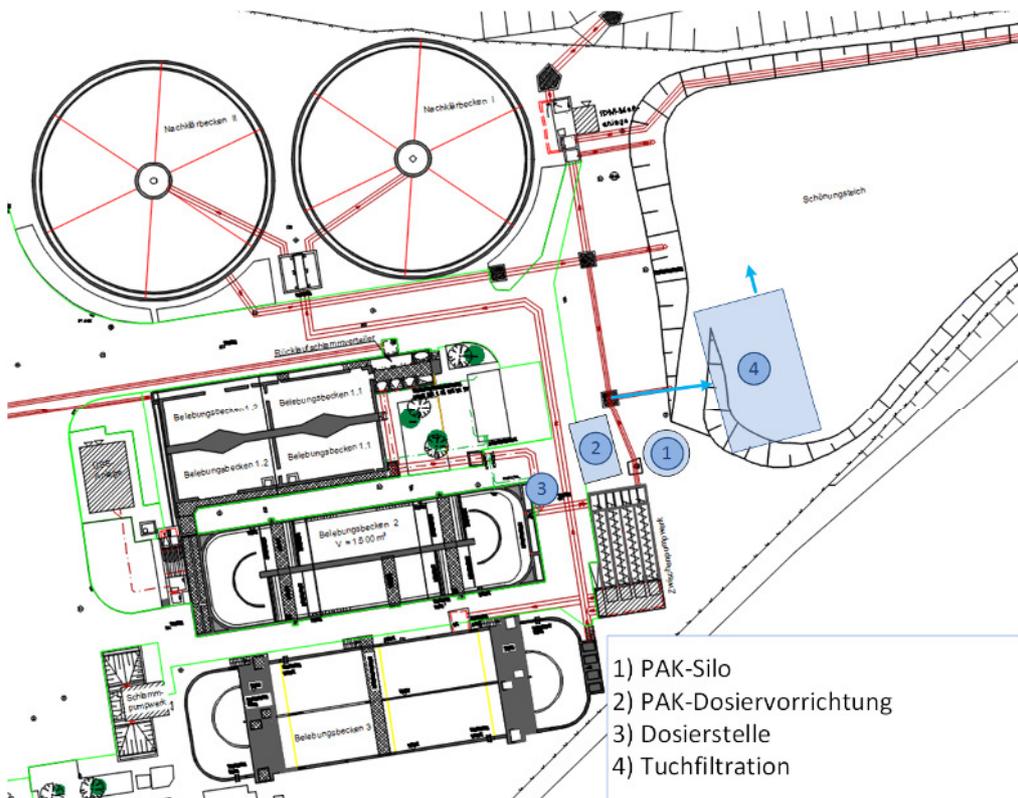


Abbildung 4-3: Skizze des Lageplans der Variante 3 auf der Kläranlage Münster-Am Loddenbach

Bei dieser Variante erfolgt die Abwasserbehandlung mit Pulveraktivkohle im Vollstrom. Ebenfalls als Vollstrombehandlung wird die Filtration ausgelegt. Für diese Variante 3 ist eine Änderung der Prozessfolge insofern notwendig, als das das Abwasser aus den Nachklärbecken über ein neu zu errichtendes Pumpwerk zunächst der Filtration zugeleitet wird und von dort aus dem Schönungsteich zufließt. Verfahrenstechnisch ist die Einleitung in den Schönungsteich nicht notwendig, sodass dieser auch umfahren werden könnte. Aus Abbildung 4-3 ist ersichtlich wo die Anordnung des PAK-Silos und der Dosiervorrichtung und der Neubau der Filtration auf der Kläranlage Münster-Am Loddenbach erfolgen können.

4.7 Variante 4: PAK in Kontaktbecken, Abtrennung in Sedimentationsbecken und Nachbehandlung in einer Tuchfiltration (Teilstrombehandlung, Filtration als Vollstrom)

Die Variante 4 umfasst die PAK-Dosierung in ein neu zu errichtendes Kontaktbecken und der nachfolgenden Abtrennung in einem Sedimentationsbecken. Es findet eine Rückführung des PAK-Schlamm-Gemischs in den Zulauf des Kontaktreaktors statt. Im Anschluss an das Sedimentationsbecken werden die noch im Abwasser verbliebenen Pulveraktivkohlepartikel in einer Tuchfiltration abgeschieden. Die Filtration dient gleichzeitig auch zur weitergehenden Phosphorelimination durch die Zugabe von Fällmitteln. Wie auch in den vorangehenden Varianten wird hier ein Scheibenfilter vorgesehen. Da in dieser Variante die Abtrennung von feinsten PAK-Partikeln gewährleistet werden soll, wird auch hier ein Mikrofaserpulstoff vorgesehen. Das Fließbild der Variante 4 ist in Abbildung 4-4 dargestellt.

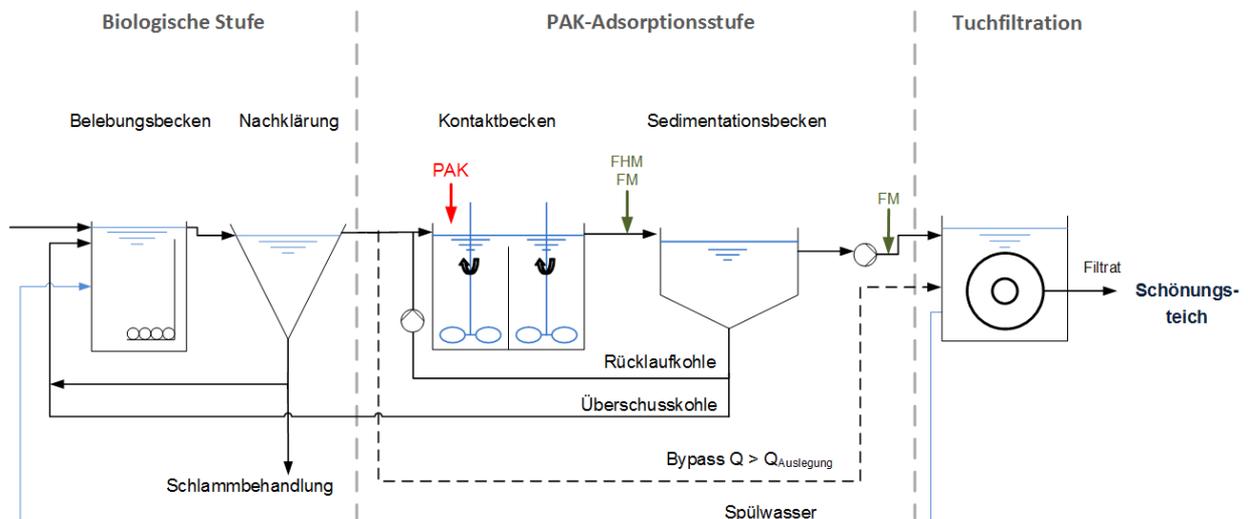


Abbildung 4-4: Fließbild der Variante 4 auf der Kläranlage Münster-Am Loddenbach

Das Abwasser wird über ein neu zu errichtendes Pumpwerk der separaten PAK-Stufe zugeführt. Die Hydraulik sollte im Rahmen einer späteren Realisierung dieser Variante überprüft werden. Bei einer späteren Umsetzung ist zudem zu beachten, dass der Schönungsteich bereits bei HQ10, das heißt mit einer hohen Wahrscheinlichkeit im Hochwasserfall überschwemmt wird. Die Bauwerke sind daher so zu errichten, dass sie gegen Hochwasser geschützt sind.

In das Kontaktbecken wird die Pulveraktivkohle dosiert. Von dort wird es im freien Gefälle dem Sedimentationsbecken zugeleitet, in das Fällmittel und gegebenenfalls Flockungshilfsmittel zudosiert werden. Im Anschluss wird das Abwasser der Tuchfiltration zugeleitet. Das Kontaktbecken und das Sedimentationsbecken werden auf die Auslegungswassermenge von 800 m³/h ausgelegt. Die Filtration wird auf eine Vollstrombehandlung ausgelegt. Ihr fließt demnach auch das Abwasser aus der Nachklärung

zu, welches nicht im Kontaktbecken mit Pulveraktivkohle behandelt wird. Anschließend kann das behandelte Wasser dem Schönungsteich zugeleitet werden. Verfahrenstechnisch ist dieser nicht notwendig, sodass er auch umfahren werden könnte und der Ablauf der Tuchfiltration direkt dem Loddenbach zugeleitet werden kann.

5 Kostenermittlung

Im Rahmen der Kostenermittlung werden die Investitions- und Betriebskosten bzw. laufenden Kosten der in Kapitel 4 ausgearbeiteten Varianten bestimmt. Die Investitionskosten umfassen dabei die Kosten für Bautechnik, Maschinentechnik und Elektrotechnik sowie die Nebenkosten, die bei der Errichtung der Anlage anfallen. Die Betriebskosten stellen die kontinuierlich beim Betrieb der Anlage anfallenden Kosten dar und umfassen die jährlichen Kosten für elektrische Energie, Personal, Wartung und Instandhaltung sowie verfahrensspezifische Betriebskosten, beispielsweise für Sauerstoff oder Aktivkohle.

Die Kostengegenüberstellung erfolgt auf Grundlage der „Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen“ (KVR-Leitlinien 2012). Hierbei wird die Annuitätenmethode angewendet, bei der alle im Untersuchungszeitraum „punktuell“ anfallenden Kosten (z. B. Investitionskosten) in eine gleichmäßige Kostenreihe umgewandelt werden, das heißt, die anfallenden Investitionskosten werden gleichmäßig auf die Nutzungsdauer verteilt.

Für Baumaßnahmen im Bereich der Abwasserreinigung wird in den KVR-Leitlinien ein Betrachtungszeitraum von 30 Jahren empfohlen. In diesem Zeitraum fallen zunächst zum Zeitpunkt $t = 0$ Investitionskosten an und des Weiteren entstehen unterjährig Betriebskosten. Darüber hinaus sind Reinvestitionskosten zu berücksichtigen. Im betrachteten Nutzungszeitraum der Gesamtanlage fallen zweimal Reinvestitionskosten für die Elektrotechnik und einmal für die Maschinentechnik an. Von der Berücksichtigung einer Preissteigerungsrate bei der Ermittlung der Reinvestitionskosten wird abgesehen. Zur Bestimmung des Investitionskostenbarwertes werden die Reinvestitionskosten mittels des Diskontierungsfaktors $DFAKE_{(i;n)}$ auf den Bezugszeitpunkt $t = 0$ umgerechnet. Über den Kapitalwiedergewinnungsfaktor $KFAKR_{(i;n)}$ erfolgt dann die Umrechnung des Investitionskostenbarwertes in gleichförmige Kostenreihen bezogen auf den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren. Den Berechnungen wird der von den Leitlinien empfohlene reale Zinssatz von 3 % zugrunde gelegt. Die gesetzliche Umsatzsteuer ist in den Kosten nicht enthalten.

5.1 Kostenschätzung und -vergleich der Varianten

Nachfolgend werden die Kostenschätzungen der betrachteten Varianten vergleichend dargestellt. Die Zusammenstellung ist Tabelle 5-1 zu entnehmen. Die Varianten, bei denen die eigentliche Mikroschadstoffelimination im Teilstrom durchgeführt wird, sind unter „Teilstrombehandlung“ zusammengefasst. Die Varianten in denen die Mikroschadstoffelimination als Vollstrombehandlung durchgeführt wird, sind unter „Vollstrombehandlung“ zusammengefasst. Dabei wird die Variante 4 „PAK in Kontaktbecken, Abtrennung in Sedimentationsbecken und Nachbehandlung in einer Tuchfiltration“ unter Vollstrombehandlung aufgeführt, obwohl im Kontakt- und Sedimentationsbecken nur der Teilstrom behandelt wird, da bei dieser Variante 4 die Rückführung der Überschussschleimstoffe aus dem Sedimentationsbecken in das Belebungsbecken stattfindet. Im Belebungsbecken wird demnach mit dieser teilbeladenen PAK aus der Adsorptionsstufe der Vollstrom behandelt.

Tabelle 5-1: Zusammenstellung der Kostenschätzung der einzelnen Varianten

Varianten	Teilstrombehandlung			Vollstrombehandlung		
	V 1a GAK-Filtration auf Teilfläche des Schönungsteichs (Teilstrom)	V 2a Ozon mit Nachbehandlung im Schönungsteich (Teilstrom)	V 2b Ozon mit nachgeschalteter Tuchfiltration und Schönungsteich (Teilstrom, Filtration als Vollstrom)	V 1b GAK-Filtration auf Teilfläche des Schönungsteichs (Vollstrom)	V 3 PAK ins Belebungsbecken mit Nachbehandlung in einer Tuchfiltration (Vollstrom)	V 4 PAK in Kontaktbecken, Abtrennung in Sedimentationsbecken und Nachbehandlung in einer Tuchfiltration (Teilstrom, Filtration als Vollstrom)
Kostenpositionen (Alle Angaben sind netto-Angaben)						
Investitionskosten	2.704.500 €	2.103.000 €	4.079.000 €	4.684.280 €	2.619.000 €	4.492.000 €
Inv. Anteil der Jahreskosten	150.371 €/a	146.957 €/a	287.405 €/a	257.924 €/a	192.522 €/a	319.167 €/a
Betriebskosten	178.133 €/a	116.088 €/a	180.947 €/a	205.095 €/a	239.880 €/a	201.032 €/a
Jahreskosten	328.504 €/a	263.044 €/a	468.352 €/a	463.019 €/a	432.402 €/a	520.200 €/a
Bezugwassermenge	2.342.707 m ³ /a	2.342.707 m ³ /a	2.342.707 m ³ /a	2.359.084 m ³ /a	2.359.084 m ³ /a	2.342.707 m ³ /a
Spezifische Jahreskosten	0,14 €/m³	0,11 €/m³	0,20 €/m³	0,20 €/m³	0,18 €/m³	0,22 €/m³

Bei den Varianten die einen Teilstrom behandeln, ist die Variante 2a „Ozon mit Nachbehandlung im Schönungsteich“ beim Vergleich der Investitionskosten die günstigste. Beim Vergleich des investiven Anteils der Jahreskosten liegen die Varianten 1a und 2a deutlich näher beieinander. Begründet liegt dies darin, dass die Ozonung im Vergleich zur GAK-Filtration teurere Maschinenteknik benötigt, die nach 15 Jahren reinvestiert werden muss. Die Variante 2a ist aber auch hier die günstigste. Beim Vergleich der Betriebskosten zeigt sich, dass hier die Variante 2a vorne liegt. Womit sie auch beim Vergleich der Jahreskosten die günstigste Variante ist.

Der Vergleich der Varianten, bei denen der Vollstrom behandelt wird, zeigt, dass die Variante 3 die niedrigsten Investitionskosten und auch den niedrigsten investiven Anteil der Jahreskosten aufweist. Die Betriebskosten sind bei Variante 4 am niedrigsten. Insgesamt erweist sich die Variante 3 als die Variante mit den geringsten Jahreskosten.

5.2 Kostenvergleich der Varianten bei Berücksichtigung einer Förderung und Minderung der Abwasserabgabe

Beim Vergleich der Kostenschätzungen wird im Folgenden analysiert, welchen Einfluss eine Berücksichtigung einer Förderung in Höhe von 50 % auf die Erstinvestitionskosten sowie eine Minderung der Abwasserabgabe durch Herabklärung abwasserabgabenrelevanter Parameter auf den Kostenvergleich haben. Tabelle 5-2 zeigt die dabei resultierenden Investitionskosten, investiven Anteile der Jahreskosten sowie Betriebskosten der einzelnen Varianten. Bei der Berechnung der Minderung der Abwasserabgabe wurde berücksichtigt, dass bei Varianten mit Aktivkohleeinsatz eine Absenkung der CSB-Konzentration von 10 mg/L realisiert werden kann. Bei Varianten, in denen eine Filtration errichtet und betrieben wird, wird davon ausgegangen, dass eine Absenkung der P_{ges}-Konzentration durch nachgeschaltete Fällung im Filter von 0,5 mg/L möglich ist.

Tabelle 5-2: Zusammenstellung der Kostenschätzung der Varianten unter Berücksichtigung einer Förderung und Minderung der Abwasserabgabe

Varianten	Teilstrombehandlung			Vollstrombehandlung		
	V 1a GAK-Filtration auf Teilfläche des Schönungsteichs (Teilstrom)	V 2a Ozon mit Nachbehandlung im Schönungsteich (Teilstrom)	V 2b Ozon mit nachgeschalteter Tuchfiltration und Schönungsteich (Teilstrom, Filtration als Vollstrom)	V 1b GAK-Filtration auf Teilfläche des Schönungsteichs (Vollstrom)	V 3 PAK ins Belebungsbecken mit Nachbehandlung in einer Tuchfiltration (Vollstrom)	V 4 PAK in Kontaktbecken, Abtrennung in Sedimentationsbecken und Nachbehandlung in einer Tuchfiltration (Teilstrom, Filtration als Vollstrom)
Kostenpositionen (Alle Angaben sind netto-Angaben)						
Investitionskosten (unter Berücksichtigung einer 50%-igen Förderung)	1.352.250 €	1.051.500 €	2.039.500 €	2.342.140 €	1.309.500 €	2.246.000 €
Inv. Anteil der Jahreskosten (unter Berücksichtigung einer 50%-igen Förderung)	79.657 €/a	86.615 €/a	169.792 €/a	135.548 €/a	115.769 €/a	189.126 €/a
Betriebskosten (unter Berücksichtigung einer Minderung der Abwasserabgabe)	162.762 €/a	116.088 €/a	169.768 €/a	189.615 €/a	224.401 €/a	185.661 €/a
Jahreskosten (unter Berücksichtigung einer 50%-igen Förderung und Minderung der Abwasserabgabe)	242.419 €/a	202.703 €/a	339.560 €/a	325.164 €/a	340.170 €/a	374.787 €/a
Bezugswassermenge	2.342.707 m³/a	2.342.707 m³/a	2.342.707 m³/a	2.359.084 m³/a	2.359.084 m³/a	2.342.707 m³/a
Spezifische Jahreskosten (unter Berücksichtigung einer 50%-igen Förderung und Minderung der Abwasserabgabe)	0,10 €/m³	0,09 €/m³	0,14 €/m³	0,14 €/m³	0,14 €/m³	0,16 €/m³

6 Variantenbewertung

Die Bewertung der Verfahren erfolgt anhand monetärer sowie nicht monetärer Bewertungsaspekte. Für die Bewertung der monetären Aspekte, werden die Investitionskosten und die laufenden Kosten der Varianten herangezogen. Die Investitionskosten und laufenden Kosten gehen mit 50 % und die monetären Aspekte ebenfalls mit 50 % in die Bewertung ein. Im Rahmen der Verfahrensbewertung wird eine mögliche Förderung des Landes NRW bezüglich der Investitionskosten berücksichtigt. Ebenfalls Berücksichtigung findet eine Verrechnung mit der Abwasserabgabe, wenn durch die neue Verfahrensstufe eine weitergehende Reduzierung der abwasserabgabenrelevanten Parameter im Kläranlagenablauf erreicht werden kann.

Die nicht monetären Bewertungsaspekte sind die Eliminationsleistung der betrachteten Mikroschadstoffe, die Verbesserung der Reinigungsleistung hinsichtlich CSB, AFS und Pges, die Flexibilität hinsichtlich zukünftiger Anforderungen (z.B. Desinfektion, P-Elimination), die Möglichkeit des Mikroplastikrückhalts, der Stand der Technik und Wissenschaft sowie der Flächenbedarf der Varianten.

6.1 Verfahrensbewertung mit und ohne Berücksichtigung einer Förderung und Minderung der Abwasserabgabe

In Tabelle 6-1 ist die Bewertungsmatrix für die einzelnen Varianten ohne Berücksichtigung einer Förderung und Minderung der Abwasserabgabe dargestellt. Die höchste Punktzahl entspricht hier der besten Bewertung und umgekehrt.

Tabelle 6-1: Bewertungsmatrix für die Varianten ohne Berücksichtigung einer Förderung und Minderung der Abwasserabgabe

Variante	Wichtung	Teilstrombehandlung									Vollstrombehandlung								
		Variante 1a			Variante 2a			Variante 2b			Variante 1b			Variante 3			Variante 4		
		GAK-Filtration auf Teilfläche des Schönungsteichs (Teilstrom)			Ozon mit Nachbehandlung im Schönungsteich (Teilstrom)			Ozon mit nachgeschalteter Tuchfiltration und Schönungsteich (Teilstrom, Filtration als Vollstrom)			GAK-Filtration auf Teilfläche des Schönungsteichs (Vollstrom)			PAK ins Belebungsbecken mit Nachbehandlung in einer Tuchfiltration (Vollstrom)			PAK in Kontaktbecken, Abtrennung in Sedimentationsbecken und Nachbehandlung in einer Tuchfiltration (Teilstrom, Filtration als Vollstrom)		
		Punkte	Wertung		Punkte	Wertung		Punkte	Wertung		Punkte	Wertung		Punkte	Wertung		Punkte	Wertung	
Investitionskosten (netto)		2.704.500 €			2.103.000 €			4.079.000 €			4.684.280 €			2.619.000 €			4.492.000 €		
Investiver Anteil der Jahreskosten bezogen auf m³ behandeltes Wasser (netto)	15%	0,06 €/m³	14,7	2,2	0,06 €/m³	15,0	2,3	0,12 €/m³	7,7	1,2	0,11 €/m³	8,6	1,3	0,08 €/m³	11,5	1,7	0,14 €/m³	6,9	1,0
Betriebskosten bezogen auf m³ behandeltes Wasser (netto)	35%	0,08 €/m³	9,8	3,4	0,05 €/m³	15,0	5,3	0,08 €/m³	9,6	3,4	0,09 €/m³	8,5	3,0	0,10 €/m³	7,3	2,6	0,09 €/m³	8,7	3,0
Wertungspunkte Monetär	50%		5,6			7,5			4,5			4,3		4,3				4,1	
Eliminationsleistung Mikroschadstoffe	10%	Aufgrund Teilstrom etwas niedriger	10,0	1,0	Aufgrund Teilstrom etwas niedriger	10,0	1,0	Aufgrund Teilstrom etwas niedriger	10,0	1,0	Aufgrund Vollstrom höher	12,5	1,3	Aufgrund Vollstrom höher	12,5	1,3	Durch Rückführung der PAK in die Belebung wird prinzipiell der Vollstrom behandelt	12,5	1,3
Verbesserung der Reinigungsleistung CSB, Pges, Nges	5%	CSB Reduzierung 10 mg/L P-Reduzierung 0,5 mg/L	15,0	0,8	Es wird keine Verbesserung erwartet	0,0	0,0	CSB Reduzierung 5 mg/L P-Reduzierung 0,5 mg/L	5,0	0,3	CSB Reduzierung 10 mg/L P-Reduzierung 0,5 mg/L	15,0	0,8	CSB Reduzierung 10 mg/L P-Reduzierung 0,5 mg/L	15,0	0,8	CSB Reduzierung 10 mg/L P-Reduzierung 0,5 mg/L	15,0	0,8
Flexibilität hinsichtlich zukünftiger Anforderungen (z.B. Desinfektion, P-Elimination)	10%	Weitergehende P-Elimination möglich	10,0	1,0	Desinfektion möglich	10,0	1,0	Weitergehende P-Elimination und Desinfektion möglich	15,0	1,5	Weitergehende P-Elimination möglich	10,0	1,0	Weitergehende P-Elimination möglich	10,0	1,0	Weitergehende P-Elimination möglich	10,0	1,0
Möglichkeit des Mikroplastikrückhalts	10%	Durch Filtration gegeben	15,0	1,5	Nicht gegeben	0,0	0,0	Durch Filtration gegeben	15,0	1,5	Durch Filtration gegeben	15,0	1,5	Durch Filtration gegeben	15,0	1,5	Durch Filtration gegeben	15,0	1,5
Stand der Technik - Wissenschaft	10%	Bereits Anlagen großtechnisch im Betrieb	15,0	1,5	Bereits Anlagen großtechnisch im Betrieb	15,0	1,5	Bereits Anlagen großtechnisch im Betrieb	15,0	1,5	Bereits Anlagen großtechnisch im Betrieb	15,0	1,5	Geringe Erfahrungen zur PAK Dosierung in die Belebung vorhanden	5,0	0,5	Bereits Anlage großtechnisch im Betrieb (KA Lahr)	15,0	1,5
Flächenbedarf	5%	Mittlerer Flächenbedarf für Filtration notwendig	10,0	0,5	Geringer Flächenbedarf durch Nachbehandlung im Schönungsteich	15,0	0,8	Mittlerer Flächenbedarf für Filtration notwendig	10,0	0,5	Hoher Flächenbedarf für Filtration notwendig	5,0	0,3	Geringer Flächenbedarf für Filtration notwendig	15,0	0,8	Hoher Flächenbedarf durch zusätzliche Becken und Filtration	5,0	0,3
Wertungspunkte Technik	50%		6,3			4,3			6,3			6,3		5,8				6,3	
Gesamtpunkte	100%		11,9 Punkte			11,8 Punkte			10,8 Punkte			10,5 Punkte		10,0 Punkte				10,3 Punkte	

Die Verfahrensbewertung zeigt, dass bei den Teilstromvarianten bei den monetären Aspekten die Variante 2a „Ozon mit Nachbehandlung im Schönungsteich“ die höchste Bewertung erhält. Bei den Vollstromvarianten erhalten für den monetären Bewertungsteil die Varianten 1b sowie 3 jeweils eine gleich hohe Punktzahl. In der Gesamtbewertung liegt die Variante 1a bei den Teilstromvarianten und bei den Vollstromvarianten die Variante 1b vorne. Die Rangfolge der Varianten, getrennt für Teil- und Vollstrombehandlung, stellt sich wie in Tabelle 6-2 aufgeführt dar.

Tabelle 6-2: Ranking der Varianten ohne Berücksichtigung einer Förderung und Minderung der Abwasserabgabe

Ranking Teilstrom	Variante	
1.	Variante 1a	GAK-Filtration auf Teilfläche des Schönungsteichs
2.	Variante 2a	Ozon mit Nachbehandlung im Schönungsteich
3.	Variante 2b	Ozon mit nachgeschalteter Tuchfiltration und Schönungsteich
Ranking Vollstrom	Variante	
1.	Variante 1b	GAK-Filtration auf Teilfläche des Schönungsteichs
2.	Variante 4	PAK in Kontaktbecken, Abtrennung in Sedimentationsbecken und Nachbehandlung in einer Tuchfiltration
3.	Variante 3	PAK ins Belebungsbecken mit Nachbehandlung in einer Tuchfiltration

Nachfolgend wird die Verfahrensbewertung unter Berücksichtigung einer Förderung in Höhe von 50 % auf die Erstinvestitionskosten sowie eine Minderung der Abwasserabgabe durchgeführt. Es ergibt sich die in Tabelle 6-3 aufgeführte Bewertung der Verfahren.

Tabelle 6-3: Ranking der Varianten mit Berücksichtigung einer Förderung und Minderung der Abwasserabgabe

Ranking Teilstrom	Variante	
1.	Variante 1a	GAK-Filtration auf Teilfläche des Schönungsteichs
2.	Variante 2a	Ozon mit Nachbehandlung im Schönungsteich
3.	Variante 2b	Ozon mit nachgeschalteter Tuchfiltration und Schönungsteich
Ranking Vollstrom	Variante	
1.	Variante 1b	GAK-Filtration auf Teilfläche des Schönungsteichs
2.	Variante 4	PAK in Kontaktbecken, Abtrennung in Sedimentationsbecken und Nachbehandlung in einer Tuchfiltration
3.	Variante 3	PAK ins Belebungsbecken mit Nachbehandlung in einer Tuchfiltration

Bei Vergleich mit der Bewertung ohne Berücksichtigung einer Förderung und Minderung der Abwasserabgabe ändert sich die Rangfolge der Varianten für die Teilstrom- als auch für die Vollstrombehandlung nicht. In Tabelle 6-3 ist die Rangfolge der Varianten bei Berücksichtigung einer Förderung und Minderung der Abwasserabgabe aufgeführt.

Der Einfluss der Förderung von 50 % auf die Erstinvestitionen kommt insbesondere bei den Varianten zum Tragen, bei denen hohe Erstinvestitionskosten entstehen. Dies trifft z.B. auf die Varianten 1a und 1b zu, die sich dadurch bei der Bewertung der monetären Bewertungsaspekte verbessern.

Für die Gesamtbewertung zur Wahl des bestgeeignetsten Verfahrens zur Implementierung auf der Kläranlage Münster Am Loddenbach muss demnach unterschieden werden, welche Bedingungen bzw. Voraussetzungen die Stufe zur Mikroschadstoffelimination mit sich bringen sollte. Dabei wäre zu klären, welche Wassermenge in der Stufe zur Mikroschadstoffelimination behandelt werden soll und ob z.B. zukünftig durch eine Verschärfung der Überwachungswerte für die Kläranlage Münster Am Loddenbach eine Filtration notwendig wird.

7 Empfehlung

7.1 Erfordernis zur Mikroschadstoffelimination

Eine gesetzliche Verpflichtung zur Errichtung einer Stufe zur Mikroschadstoffelimination auf kommunalen Kläranlagen existiert derzeit noch nicht. Im Hinblick auf die Gewässerqualität kann ein Ausbau um eine Stufe zur Mikroschadstoffelimination jedoch auch heute schon sinnvoll sein. Für den Loddenbach liegt demnach eine Beeinflussung durch die Kläranlageneinleitung bezüglich der chemisch-physikalischen Qualität vor. Ebenso wurde im Rahmen eines Intensivmessprogramms des LANUV 2011-2013 auch ein Einfluss auf die biologische Qualität (Saprobienindex) festgestellt. Dies ist im Hinblick auf die geringe Wasserführung im Vergleich zum Volumenstrom der Kläranlageneinleitung nicht überraschend. Die deutlich größere Werra, in die der Loddenbach wenige Meter unterhalb der Kläranlageneinleitung in selbigen einmündet, weist jedoch auch einen unbefriedigenden ökologischen Zustand und einen nicht guten Zustand auf. Im Hinblick auf die unterhalb der Einmündung des Loddenbachs vorliegenden sensiblen Bereiche, wie einem wasserabhängigen FFH-Gebiet, Wasserschutzgebieten, gesetzlich geschützten Biotopen sowie dem Naturschutzgebiet Auwald Stapelskotten erscheint die Implementierung einer Stufe zur Mikroschadstoffelimination als sinnvoll.

Tabelle 7-1: Überschreitungen der Bewertungskriterien im Ablauf der Kläranlage im Rahmen des erweiterten Monitorings

	Einheit	UQN/ Orientierungswert/ präventiver Vorsorgewert	Ablauf Kläranlage	Ablauf Kläranlage
			21.-22.03.2017	22.-23.03.2017
			Trockenwetter	Trockenwetter
Carbamazepin	ng/L	500	570	560
Ciprofloxacin	ng/L	36	210	180
Clarithromycin	ng/L	100	670	510
Diclofenac	ng/L	50	3600	3400
Valsartan	ng/L	100	12000	11000
Losartan	ng/L	100	250	240
Candesartan	ng/L	100	2700	2800
Gabapentin	ng/L	100	7800	7800
Sotalol	ng/L	100	260	290
Guanylharnstoff	ng/L	100	4300	4400
Acesulfam K	ng/L	100	1000	930
Amidotrizoensäure	ng/L	100	1000	1000
Iopromide	ng/L	100	83	500

Die im Rahmen des erweiterten Monitorings festgestellten Überschreitungen der Bewertungskriterien im Kläranlagenablauf sind in Tabelle 7-1 zusammengefasst. Die Datenverdichtung hat die Ergebnisse weitestgehend bestätigen können.

Zudem sind in Tabelle 7-2 die Überschreitungen der Gewässerkonzentrationen der Werse inklusive der Bewertung im Hinblick auf die Bewertungskriterien dargestellt.

Tabelle 7-2: Überschreitungen der im Gewässer Werse gemessenen Substanzen

	Einheit	UQN/ Orientierungswert/ präventiver Vorsorgewert	Werse oh Einleitung Loddenbach	Werse uh Einleitung Loddenbach	Werse oh Einleitung Loddenbach	Werse uh Einleitung Loddenbach
Clarithromycin	ng/L	100	120	160	130	120
Diclofenac*	ng/L	50	150	310	160	410
Valsartan	ng/L	100	1700	3200	1.300	3.500
Candesartan	ng/L	100	2100	2200	2.000	2.700
Gabapentin	ng/L	100	3000	4200	2.900	4.400
Metformin	ng/L	100	560	500	680	580
Amidotrizoesäure	ng/L	100	3.400	3.000	3.500	2.900
Iopromide	ng/L	100	1.900	2.100	1.900	1.800

Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Einmündung des Loddenbachs und der Konzentrationsänderung unterhalb der Einmündung kann nicht zweifelsfrei hergeleitet werden. Es wird jedoch deutlich, dass bei einigen der Gewässerkonzentrationen nach der Einmündung eine Erhöhung festgestellt werden konnte. Für einige der Substanzen liegen jedoch die Konzentrationen im Kläranlagenablauf höher als die Gewässerkonzentrationen, sodass davon ausgegangen werden kann, dass durch die Kläranlageneinleitung eine Erhöhung der Gewässerkonzentrationen resultiert.

Es ist davon auszugehen, dass die Errichtung einer Stufe zur Mikroschadstoffelimination die Ablaufqualität der Kläranlage Münster Am Loddenbach verbessert und dies daher als freiwillige Maßnahme aus Gewässersicht zu befürworten wäre. Ein Ausbau um eine Stufe zur Mikroschadstoffelimination würde zurzeit auf freiwilliger Basis erfolgen.

7.2 Verfahrensempfehlung

Eine eindeutige Empfehlung einer Verfahrensvariante ist für die Kläranlage Münster Am Loddenbach auf Grundlage dieser Studie nur bedingt möglich. Vielmehr hängt die Festlegung auf eine Verfahrensvariante von den Rahmenbedingungen Vollstrom- oder Teilstrombehandlung ab und ob eine Filtration notwendig ist oder nicht.

Auf Grundlage der Bewertung in Kapitel 6 wird ohne Berücksichtigung einer Förderung und Minderung der Abwasserabgabe bei einer Notwendigkeit einer Filtration sowohl für die Teil- als auch für die Vollstrombehandlung die Variante 1a bzw. 1b „GAK-Filtration“ empfohlen.

Wenn keine Filtration notwendig ist, wird empfohlen, bei Notwendigkeit einer Vollstrombehandlung zusätzlich zu den in dieser Studie betrachteten Verfahrensvarianten auch die Variante der Ozonung mit Nachbehandlung im Schönungsteich zu betrachten. Für die Teilstrombehandlung ohne Notwendigkeit einer Filtration wird die Variante 2a „Ozonung mit Nachbehandlung im vorhandenen Schönungsteich“ empfohlen.

Wenn eine 50 %-ige Förderung gewährt werden kann und zudem die Minderung der Abwasserabgabe angestrebt wird, wird bei Notwendigkeit einer Filtration für die Teil- als auch für die Vollstrombehandlung die Implementierung einer GAK-Filtration und für den Fall das keine Filtration notwendig ist und bei einer geforderten Vollstrombehandlung die Prüfung der Ozonung mit Nachbehandlung im Schönungsteich empfohlen. Für die Teilstrombehandlung ergibt sich entsprechend der Bewertung im Rahmen dieser Studie ebenfalls die Umsetzung der GAK-Filtration.

Um die im Rahmen dieser Studie zugrunde gelegten Randbedingungen bzw. die Annahmen zu verifizieren, wird empfohlen vor der großtechnischen Umsetzung der GAK-Filtration die folgenden Untersuchungen durchzuführen:

- Labor-Säulenversuche, auch Kleinsäulenschnellfiltertests RSSCT – Rapid Small Scale Column Test genannt, zur Auswahl der bestgeeignetsten granulierten Aktivkohle
- Halbtechnische Filtersäulenversuche mit gleicher Filterbetthöhe wie für die großtechnische Umsetzung vorgesehen, zur Untersuchung der in den Kleinsäulenschnellfiltertests ausgewählten GAK. Dabei können die gewählte Standzeit und das Bettvolumen verifiziert werden.

Sollte die Ozonung als großtechnische Anlage in Betracht kommen, empfehlen wir die Verifizierung der zur Auslegung der Ozonanlage notwendigen Randbedingungen, z.B. in einer 2-wöchigen Messphase. Insbesondere von Relevanz ist dabei die Verifizierung der im Rahmen dieser Studie durchgeführten Bestimmung der Bromidkonzentration, die relativ hohe Konzentrationen von maximal 290 µg/L ergab bzw. die Ermittlung des Bromatbildungspotenzials. Empfohlen werden demnach die folgenden Untersuchungen:

- Ermittlung der DOC- und Bromidkonzentrationen sowie in einem kleinerem Umfang die Bestimmung des Bromatbildungspotenzials unter Zugabe verschiedener spezifischer Ozonkonzentrationen
- Ozonzehrungsversuche mit verschiedenen Ozonkonzentrationen zur Ermittlung der Ozonzehrungszeit

Bei der weiteren Vorgehensweise sollte berücksichtigt werden, dass eine Förderung über „ResA II – Ressourceneffiziente Abwasserbeseitigung NRW II“ nur möglich ist, wenn es sich dabei um eine freiwillige Maßnahme handelt. Diese Förderung in Höhe von maximal 50 % auf die Erstinvestitionskosten ist ab Antragsjahr 2020 möglich. Bei einer Antragsstellung vor 2020 könnte eine Förderung von bis zu 70 % gewährt werden.

8 Literaturverzeichnis

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).

DSADS (2016): Den Spurenstoffen auf der Spur. Projekt des Landes Nordrhein-Westfalen, der Stadt Dülmen und des Lippeverbands. Online verfügbar unter www.dsads.de.

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).

Götz, C.; Kase, R.; Ort, C.; Singer, H.; Bergmann, S. (2012): Mikroschadstoffe aus kommunalem Abwasser. Stoffflussmodellierung, Situationsanalyse und Reduktionspotenziale für Nordrhein-Westfalen. gefördert durch MKULNV.

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

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

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

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).

Stoll, Jean-Marc; Frank, Kerstin; Arx, Deborah von; Thomann, Michael; Obrecht, Johanna; Sobaszkiwicz, Markus et al. (2015): PAK im Belebtschlammbecken - Elimination von Mikroverunreinigungen in der ARA mit Pulveraktikohle im Belebtschlammbecken. UMTEC Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik. Online verfügbar unter https://www.micropoll.ch/fileadmin/user_upload/Redaktion/Dokumente/01_Berichte/02_Technische_Verfahren/03_Aktivkohle/150218_Abschlussbericht_Mikro_Pak.pdf, zuletzt geprüft am 09.12.2016.

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