



Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Hürth-Stotzheim

Kurzbericht

November 2016

Impressum:

Auftraggeber: Stadt Hürth

Auftragnehmer: **Grontmij GmbH**
Postfach 30 01 06
50771 Köln
Graeffstraße 5
50823 Köln

Bearbeitung: Dipl.-Ing. Christian Maus
Dipl.-Ing. (FH) Sandra Ante
Juliane Schulz, M. Sc.

Laboranalytik: **Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. (IUTA)**
Bliersheimer Straße 58 - 60
47229 Duisburg
Dr. rer. nat. Jochen Türk
Andrea Börgers, M. Sc.

Bearbeitungszeitraum: 06/2015 – 11/2016

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I	
Abbildungsverzeichnis	II	
Tabellenverzeichnis	II	
1	Veranlassung	1
2	Kläranlage Hürth-Stotzheim	2
3	Abwassereigenschaften und Auslegungswerte der Stufe zur Mikroschadstoffelimination	3
3.1	Standardabwasserparameter und Mikroschadstoffe	3
3.2	Monitoringprogramm zur Datenverdichtung	4
3.3	Bromidkonzentration	4
3.4	Ozonzehrung und Bromatbildung	5
3.5	Auslegungswassermenge	5
3.6	Eliminationsraten	6
4	Ausarbeitung von technischen Anlagenkonzepten	7
4.1	Variantenauswahl	7
4.2	Integration auf der Kläranlage Hürth-Stotzheim	9
4.3	Variante 1: Ozonung	10
4.4	Variante 2: PAK-Dosierung in separaten Reaktionsraum und Abscheidung in einem Kombibecken (ACTIFLO-CARB) mit nachgeschalteter Tuchfiltration (Neubau)	11
4.5	Variante 3: PAK-Dosierung in separaten Reaktionsraum und Abscheidung in einem Sedimentationsbecken mit nachgeschalteter Tuchfiltration (Nutzung des Störfallbeckens)	11
5	Vorzugsvariante	13
5.1	Feststellung der Vorzugsvariante	13
5.2	Kosten der Vorzugsvariante	14
6	Empfehlung	17
6.1	Erfordernis zur Mikroschadstoffelimination	17
6.2	Verfahrensempfehlung	18
Literaturverzeichnis	20	

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Luftbild Kläranlage Hürth-Stotzheim (Quelle: Google)	2
Abbildung 3-1: Anteil der behandelbaren Jahresabwassermenge in Abhängigkeit der Behandlungswassermenge der Stufe zur Mikroschadstoffelimination	6
Abbildung 4-1: Vorhandene Ressourcen auf der Kläranlage Hürth-Stotzheim	7
Abbildung 4-2: Wasserspiegellagen auf der Kläranlage Hürth-Stotzheim im Bereich Nachklärung – Ablauf Kläranlage	8
Abbildung 4-3: Wasserspiegellagen des südlichen Randkanals bzw. des Vorfluter Süd im Bereich der Einleitung	9
Abbildung 4-4: Lageplan der Variante 1a (links) und 1b (rechts)	10
Abbildung 4-5: Lageplan der Variante 2, PAK-Anlage auf Freifläche	11
Abbildung 4-6: Lageplan der Variante 3, PAK-Anlage im alten Störfallbecken	12

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Zusammenfassung der UQN-Überschreitungen im Ablauf der KA Hürth-Stotzheim	3
Tabelle 3-2: Konzentrationen der Basisparameter und der Mikroschadstoffe des Ablaufs der Kläranlage Hürth-Stotzheim im Rahmen der Analytik zur Datenverdichtung (Monitoring)	4
Tabelle 3-3: Bromid im Ablauf KA Hürth-Stotzheim (Monitoring)	5
Tabelle 4-1: Betrachtete Verfahrensvarianten	8
Tabelle 5-1: Bewertungstabelle der betrachteten Varianten ohne Berücksichtigung der Minderung der Abwasserabgabe	13
Tabelle 5-2: Bewertungstabelle der betrachteten Varianten unter Berücksichtigung der Minderung der Abwasserabgabe	14
Tabelle 5-3: Kostenberechnung für die Variante 1a „Ozonung mit Nachbehandlung im Wirbelbett“	15
Tabelle 5-4: Kosten der Variante 1b „Ozonung mit Nachbehandlung im DynaCarb-Filter“	16
Tabelle 6-1: Vergleich der Screening Ergebnisse aus Hürth mit den Screening Ergebnissen anderer Kläranlagen	17
Tabelle 6-2: Erste Empfehlung Variante „Ozonung und Nachbehandlung im DynaCarb-Filter“	18
Tabelle 6-3: Zweite Empfehlung Variante „PAK-Dosierung in separaten Reaktionsraum und Abscheidung in einem Kombibecken (ACTIFLO-CARB) mit nachgeschalteter Tuchfiltration (Neubau)“	19

1 Veranlassung

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). 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.

Bei der Wahl der Maßnahmen zur Reduktion der Mikroschadstoffeinträge wird ein Multibarrierenansatz verfolgt. Die umweltschädlichen Stoffe sollen dabei möglichst an der Quelle minimiert und ggf. mit unschädlichen Alternativen ersetzt werden. Das ist jedoch nicht immer und für jeden Stoff möglich und eine Vielzahl der Mikroschadstoffe wird dann mit dem Abwasser in kommunale Kläranlagen transportiert oder im Rahmen der landwirtschaftlichen Nutzung sowie durch diffuse Quellen in die Gewässer eingetragen. Für Einträge aus der Landwirtschaft bzw. diffusen Quellen können zurzeit keine belastbaren Abschätzungen angegeben werden. Nachgewiesen ist jedoch, dass eine große Zahl an Mikroschadstoffparametern im Ablauf von Kläranlagen aufzufinden ist. Die persistenten Mikroschadstoffe können dort 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.

Im Rahmen dieser Studie wird die Notwendigkeit einer Anlage zur Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Hürth Stotzheim untersucht. Sofern das durchgeführte Screening des Kläranlagenablaufes auf Mikroschadstoffe sowie die Untersuchung der Gewässerbelastung darauf hinweisen, dass die Errichtung einer Mikroschadstoffelimination erforderlich ist, werden Möglichkeiten zur Einbindung einer Anlage zur Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Hürth-Stotzheim aufgezeigt. Entwickelt werden sollen hierbei effiziente Anlagenkonfigurationen unter Einbeziehung der vorhandenen Anlagentechnik im Hinblick auf die Mikroschadstoffelimination und die Wirtschaftlichkeit für die großtechnische Umsetzung.

2 Kläranlage Hürth-Stotzheim

Die durch die Stadtwerke Hürth (AöR) betriebene Kläranlage Hürth-Stotzheim befindet sich etwa 7 km nordwestlich der Stadt Hürth. Die Anlage behandelt die gesamten im Stadtgebiet anfallenden Abwässer mit Ausnahme der auf dem „Industrie Hügel“ (Infraserv, RWE etc.) im Gewerbegebiet Knapsack anfallenden Mengen, die von zwei durch die Infraserv betriebenen Kläranlagen behandelt werden.

Die Einleitung des gereinigten Abwassers erfolgt in den Südlichen Randkanal. Zukünftig ist vorgesehen, das gereinigte Abwasser in den Vorfluter Süd einzuleiten. Dieser ist Teil des Gewässersystems Südlicher Randkanal, daher werden diese beiden Gewässer gemeinsam bewertet. Beim Südlichen Randkanal handelt es sich um ein künstliches Gewässer. Der derzeitige ökologische Zustand (im 2. Monitoringzyklus bestimmt) ist gemäß dem Fachinformationssystem ELWAS WEB schlecht und der chemische Zustand wird als nicht gut bezeichnet. Detaillierte Informationen zum „Vorfluter Süd“ sind nicht zu finden, da es sich bei diesem Gewässer um einen verrohrten Kanal bzw. Überleitungsstollen handelt, der bei Marienburg in den Rhein einleitet (ELWAS-WEB, 2015).

Die Kläranlage wurde in der Zeit um 1980 errichtet und in Betrieb genommen. Zur weitergehenden Nährstoffelimination erfolgte in der Zeit um 1990 die Erweiterung der biologischen Reinigungsstufe zu einer Belebungsanlage nach dem Adsorptions-Belebungsverfahren mit biologischer Phosphat- und Stickstoffelimination. Im Jahre 2011 wurde die Kläranlage durch die Grontmij GmbH hinsichtlich möglicher verfahrenstechnischer Optimierungsmöglichkeiten untersucht. Im Wesentlichen beinhalten die Maßnahmen die Verfahrensumstellung vom zweistufigen Betrieb zu einer einstufigen Betriebsweise (Aufgabe des Adsorptions-Belebungsverfahrens) und die Umstellung von vorgeschalteter zu intermittierender Denitrifikation.



Abbildung 2-1: Luftbild Kläranlage Hürth-Stotzheim (Quelle: Google)

Die Kläranlage Hürth-Stotzheim ist gegenwärtig auf eine Schmutzfracht von 92.750 EW ausgelegt und in die Größenklasse 4 nach Abwasserverordnung (AbwV) (1) einzuordnen. Sie ist auf eine Tagesabwassermenge von $Q_d = 12.464 \text{ m}^3/\text{d}$ bzw. maximalen Trockenwetterzufluss von $Q_{T,h,max} = 940 \text{ m}^3/\text{h}$ ausgelegt. Der maximale Zufluss bei Regenwetter beträgt $Q_{R,h,max} = 1.908 \text{ m}^3/\text{h}$.

3 Abwassereigenschaften und Auslegungswerte der Stufe zur Mikroschadstoffelimination

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 dazu in zwei Gruppen betrachtet.

In der ersten Gruppe werden die Konzentrationen der **Standardabwasserparameter** berücksichtigt. Zur Auswertung wurden Konzentrationen zu CSB, NO₂-N und TOC im Ablauf der Nachklärung der Jahre 2012 bis 2015 betrachtet. Für die Auslegung der Ozonung oder einer Adsorptionsanlage mit Aktivkohle wird in der Regel nur der gelöste Anteil des TOC, der DOC berücksichtigt. Der DOC wird für die spätere Auslegung der vierten Stufe in Hürth-Stotzheim auf Grundlage der gemessenen TOC-Werte zu 15 mg/L abgeschätzt. Im Fall der großtechnischen Realisierung einer vierten Reinigungsstufe sollten die angenommenen Werte in jedem Fall durch zusätzliche separate Messungen verifiziert werden.

Die zweite Gruppe beinhaltet eine Auswahl an **Mikroschadstoffen**. Die zu untersuchenden Substanzen wurden vorab mit den Stadtwerken Hürth und der Bezirksregierung Köln abgestimmt. Die Probenahmen erfolgten im Rahmen eines zweitägigen Screenings vom 30.08.2015 bis zum 01.09.2015 im Ablauf der Kläranlage. Die untersuchten Mikroschadstoffe lassen sich den Gruppen Arzneimittelwirkstoffe, Röntgenkontrastmittel, perfluorierte Substanzen, Komplexbildner, Pestizide, hormonell aktive Substanzen und Moschusduftstoffe zuordnen. Die Parameter, für die eine Überschreitung der UQN-Vorschläge für Oberflächengewässer festgestellt wurde, sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt (Tabelle 3-1).

Tabelle 3-1: Zusammenfassung der UQN-Überschreitungen im Ablauf der KA Hürth-Stotzheim

	Probenahmedatum			30.08.- 31.08.2015	31.08.- 01.09.2015
	Substanz	Einheit	UQN	M 150903/43	M 150903/42
Benzotriazole	1H-Benzotriazol	ng/L	10.00 0	5.500	12.000
Pestizide	Climbazol	ng/L	100	120	150
	Terbutryn	ng/L	65	76	95
Arzneimittelwirkstoffe	Carbamazepin	ng/L	500	710	810
	Clarithromycin	ng/L	20	230	180
	Diclofenac	ng/L	100	1.800	2.200
	Erythromycin	ng/L	20	130	160
	Ritalinsäure	ng/L	100	110	99
	Sotalol	ng/L	100	220	190
Röntgenkontrastmittel	Amidotrizoesäure	ng/L	100 ^a	2.600	1.500

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

3.2 Monitoringprogramm zur Datenverdichtung

Zur Datenverdichtung wurde ein Monitoringprogramm mit reduziertem Parameterumfang mit fünf 24-Stunden-Mischproben bei Trockenwetter in Anlehnung an KOM-M.NRW (2015e) durchgeführt. Das Monitoring zur Datenverdichtung wurde sowohl anhand von Zulaufproben, als auch anhand von Ablaufproben der Kläranlage Hürth-Storzheim durchgeführt. Neben den Stoffen Clarithromycin, Erythromycin, Diclofenac, Metoprolol, Sulfamethoxazol, Terbutryn und 1H-Benzotriazol wurden dabei auch die Basisparameter DOC, SAK₂₅₄ und Bromid erfasst. Des Weiteren wurde die Liste der Arzneimittelwirkstoffe um Carbamazepin und Sotalol erweitert. Die perfluorierten Substanzen Perfluorooctansäure (PFOA) und Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) wurden ebenfalls analysiert. Das Monitoring zur Datenverdichtung wurde in der Zeit vom 28.08.2016 bis zum 03.09.2016 an fünf aufeinanderfolgenden Tagen durchgeführt. Die Ergebnisse des Monitorings des Kläranlagenablaufs sind in Tabelle 3-2 zusammengefasst. Die farbliche Bewertung wurde gemäß Tabelle 3-1 durchgeführt.

Tabelle 3-2: Konzentrationen der Basisparameter und der Mikroschadstoffe des Ablaufs der Kläranlage Hürth-Storzheim im Rahmen der Analytik zur Datenverdichtung (Monitoring)

Probenahme- datum	Ein- heit	UQN	28.-	29.-	31.08.-	01.-	02.-
			29.08.2016	30.08.2016	01.09.2016	02.09.2016	03.09.2016
Substanz			M	M	M	M	M
			160902/22	160902/24	160902/26	160907(04)	160907/06
Bromid*	µg/L		230	250	260	280	280
DOC*	mg/L		12	12	11	11	11
SAK ₂₅₄ *	1/m		15,0	15,5	15,2	15,1	15,2
1H-Benzotriazol*	ng/L	10.000	7.100	5.300	5.300	6.300	9.400
Carbamazepin*	ng/L	500	450	470	480	450	480
Clarithromycin*	ng/L	20	180	170	240	120	330
Diclofenac*	ng/L	100	1.700	1.700	1.800	1.800	1.700
Erythromycin**	ng/L	20	210	190	240	160	360
Metoprolol*	ng/L	7.300	1.200	1.100	1.200	1.100	1.100
Sotalol	ng/L	100	160	110	88	210	260
Sulfametho- xazol*	ng/L	150	240	260	210	230	200
Terbutryn*	ng/L	65	28	19	14	100	110
Perfluorooctan- säure (PFOA)*	ng/L	100	< 10	12	< 10	11	12
Perfluorooctan- sulfonsäure (PFOS)*	ng/L	0,65	8,1	6,8	6,9	5,8	8,2

Die Ergebnisse des Screenings konnten durch das Monitoring bestätigt werden. Als relevante Einleitungen durch den Ablauf der Kläranlage in das Oberflächengewässer können insbesondere die Antibiotika Clarithromycin und Erythromycin, das Analgetikum Diclofenac und die perfluorierte Substanz PFOS identifiziert werden. Eine signifikante Eliminationsleistung der Kläranlage (> 50%) hinsichtlich der betrachteten Mikroschadstoffe konnte nur für das Benzotriazol 1H-Benzotriazol und die perfluorierte Substanz PFOS beobachtet werden.

3.3 Bromidkonzentration

Im Rahmen des durchgeführten Screenings am 30.08.2015 und am 31.08.2015 sowie des Intensivmonitorings im August/September 2016 (Tabelle 3-3) wurden im Kläranlagenablauf die Bromid- und Bromat-

Konzentrationen im ablaufenden Wasser der Kläranlage Hürth ermittelt. Die gemessenen Konzentrationen des Screenings sind im Vergleich zu anderen kommunalen Kläranlagen als leicht erhöht einzustufen. Im Monitoring von August und September 2016 wurden dagegen deutlich höhere Konzentrationen im Vergleich zum Screening und Vergleichswerten anderer Kläranlagen von bis zu 280 µg/L gemessen. Das Verfahren der Ozonung ist auf der Kläranlage Hürth-Stotzheim nicht grundsätzlich aus der späteren Variantenbetrachtung auszuschließen, kann jedoch bereits jetzt als „schwierig umsetzbar“ eingestuft werden. Für den Fall einer weiteren Verfolgung dieses Verfahrens sind im Vorfeld weitergehende Untersuchungen und eine Einzelfallbewertung hinsichtlich der Bromidkonzentrationen und des Bromatbildungspotenzials durchzuführen.

Tabelle 3-3: Bromid im Ablauf KA Hürth-Stotzheim (Monitoring)

Probenahmedatum		28.-29.08.16	29.-30.08.16	31.08.-01.09.16	01.-02.09.16	02.-03.09.16
Substanz	Einheit	M 160902/22	M 160902/24	M 160902/26	M 160907(04)	M 160907/06
Bromid*	µg/L	230	250	260	280	280

3.4 Ozonzehrung und Bromatbildung

Für die Kläranlage Hürth-Stotzheim wurden zur Ermittlung des Ozonzehrungsverhaltens und des Bromatbildungspotenzials mit beiden zur Verfügung stehenden Abläufen der Kläranlage Versuche mit einer Zugabe von 5 mg O₃/L bzw. 10 mg O₃/L durchgeführt.

Die Ergebnisse vom 30./31.08.2015 zeigen, dass bei einer Dosierung von 5 mg O₃/L nach 80 Sekunden kein gelöstes Ozon mehr in der Abwasserprobe detektiert werden kann und bei einer Dosierung von 10 mg O₃/L konnte nach ca. 600 Sekunden = 10 Minuten kein Ozon mehr in der Abwasserprobe festgestellt werden. Der Versuch vom 31.08./01.09.2015 ergab, dass bei einer Ozonkonzentration von 5 mg O₃/L nach 300 Sekunden = 5 Minuten kein Ozon mehr detektierbar war und bei einer Ozonkonzentration von 10 mg O₃/L war nach 15 Minuten kein gelöstes Ozon mehr nachweisbar.

Die Bromatbildung wurde im Nachgang der Ozonzehrungsversuche ermittelt. Dazu wurde nach den einzelnen Versuchen das gebildete Bromat analysiert. Bei einer Zugabe von 5 mg O₃/L konnte eine Bromatbildung von 6,0 bzw. 4,0 µg/L beobachtet werden. Die Bromatkonzentration nach einer Zugabe von 10 mg O₃/L lag bei 45 bzw. 34 µg/L.

3.5 Auslegungswassermenge

Der maximale, stündliche Trockenwetterabfluss der Kläranlage Hürth-Stotzheim beträgt 940 m³/h. Gemäß einer früheren Untersuchung der Grontmij GmbH (Grontmij, 2014), ist in den kommenden Jahren mit einer Zunahme der Kläranlagenbelastung zu rechnen. Für die nachfolgende Ausarbeitung der technischen Anlagenkonzepte wird eine Auslegungswassermenge der vierten Reinigungsstufe in Höhe von **1.050 m³/h** gewählt, damit sicher der Trockenwetterabfluss behandelt werden kann und auch ein potentieller Anstieg des Trockenwetterabflusses in den kommenden Jahren berücksichtigt wird. Mit der Auslegung auf diese Wassermenge können ca. 85 % der momentanen Jahresabwassermenge in Höhe von 5.718.324 m³/a weitergehend behandelt werden. Die in der vierten Reinigungsstufe jährlich behandelte Abwassermenge würde somit 4.860.575 m³/a betragen.

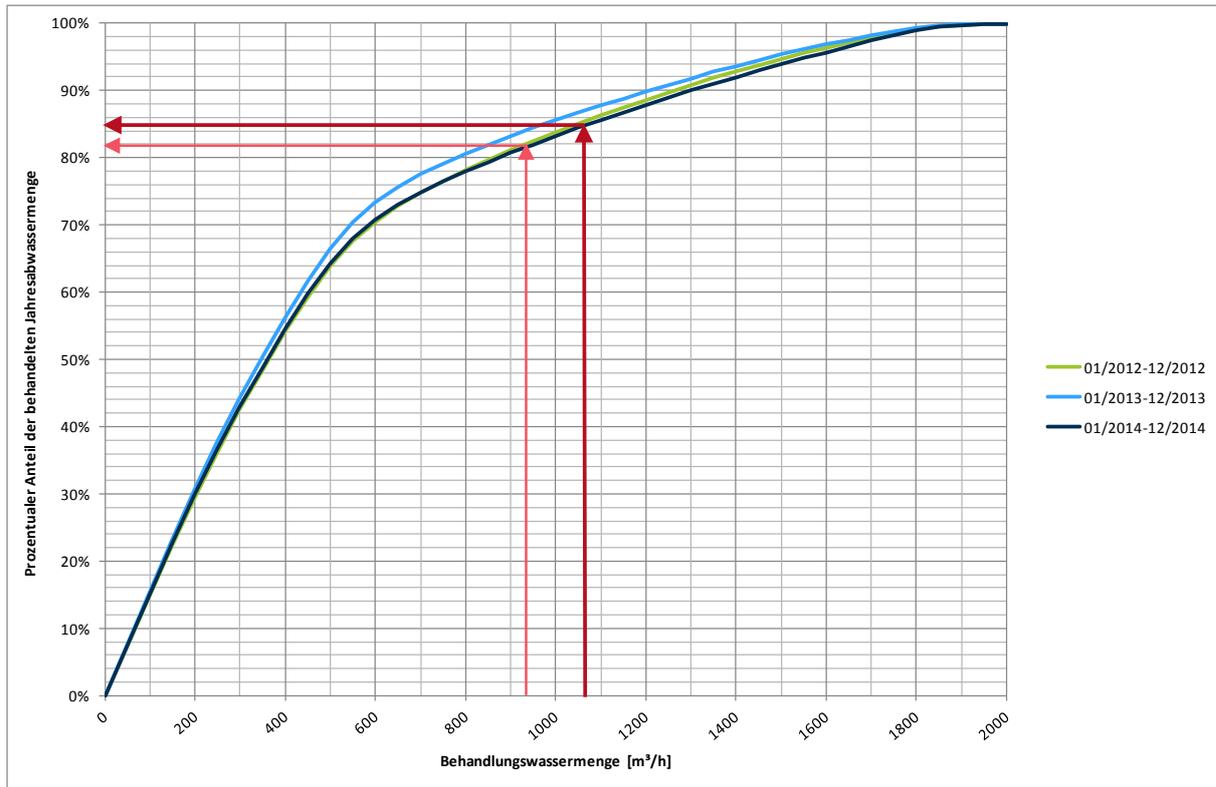


Abbildung 3-1: Anteil der behandelbaren Jahresabwassermenge in Abhängigkeit der Behandlungswassermenge der Stufe zur Mikroschadstoffelimination

3.6 Eliminationsraten

Die Auslegung der vierten Reinigungsstufe erfolgt derart, dass eine Elimination der standortrelevanten Substanzen und der sensitiven Leitparameter zu 80 % sichergestellt wird. Die Elimination wird bestimmt durch Messungen im Zulauf zur biologischen Stufe und dem Ablauf der vierten Reinigungsstufe und bezieht sich auf die Summe der standortrelevanten Substanzen und der sensitiven Leitparameter (KOM-M.NRW, 2015a).

Standortrelevante Substanzen	Sensitive Leitparameter (KOM-M.NRW, 2015a)
Climbazol, Terbutryn, Carbamazepin, Clarithromycin, Diclofenac, Erythromycin, Ritalinsäure, Sotalol, Amidotrizoesäure, 1H-Benzotriazol	<u>Carbamazepin</u> , <u>Diclofenac</u> , Metoprolol, Sulfamethoxacol, <u>Terbutryn</u> , <u>1H-Benzotriazol</u>

Die zu erwartende Eliminationsrate bzw. die Dosierung von Betriebsstoffen oder die Standzeit des Adsorptionsbettes ist bei den betrachteten 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 Variantenauswahl

Für die Auswahl der zu betrachtenden Varianten sind verschiedene Randbedingungen zu berücksichtigen. Hierzu zählen zum einen strukturelle Randbedingungen wie die Nutzung vorhandener Ressourcen, die Flächenverfügbarkeit oder die hydraulischen Rahmenbedingungen auf der Kläranlage Hürth-Stotzheim sowie zum anderen verschiedene Abwassereigenschaften.

Hinsichtlich des **Standortes der Anlage** zur Mikroschadstoffelimination bieten sich in Hürth verschiedene Freiflächen und vorhandene Beckenvolumina an (vgl. Abbildung 4-1). Verfügbare Freiflächen befinden sich westlich des Störfallbeckens (Fläche 1) sowie östlich der Nachklärung (Fläche 2). Darüber hinaus können das derzeit nicht genutzte Störfallbecken mit einem Volumen von rd. 4.000 m³ (Fläche 3) und die nicht mehr genutzte A-Stufe (Fläche 4) in die Überlegungen einbezogen werden.

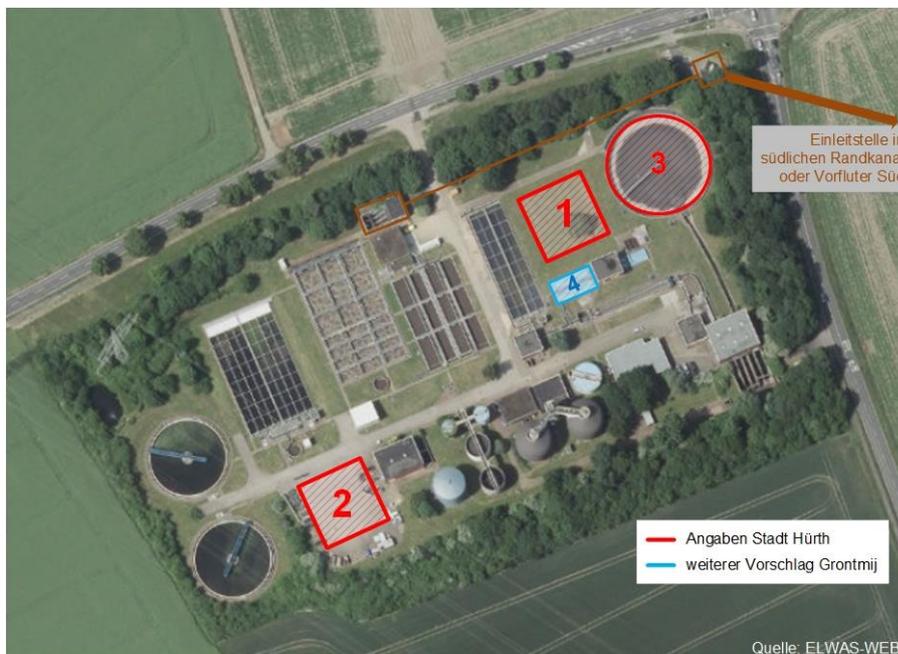


Abbildung 4-1: Vorhandene Ressourcen auf der Kläranlage Hürth-Stotzheim

Ein Neubau der Eliminationsstufe ist auf beiden vorgeschlagenen Freiflächen möglich. Da die Fläche 1 gemäß Abbildung 4-1 näher an der Einleitstelle in den Vorfluter liegt und eine Anbindung der Anlage an den bestehenden Kanal (dunkelorange Linie) an der nördlichen Grenze des Kläranlagengeländes einfacher möglich ist, wird jedoch nur die Fläche 1 betrachtet.

Das Störfallbecken mit einer Beckentiefe von 3,80 m weist eine maximale Wasserspiegellage von WSP max. = +58,47 m ü. NN auf. Aufgrund der geringen Tiefe des Störfallbeckens von rund drei Metern, würde sich unter Berücksichtigung der hydraulischen Verhältnisse auf der Kläranlage bei Beschickung im Freigefälle nur ein sehr geringer Wasserstand einstellen. Dies liegt darin begründet, dass der Wasserspiegel der Ablaufleitung, an die die vierte Stufe angeschlossen werden soll, zwischen 55,64 m ü. NN zu Beginn und 55,50 m ü. NN im letzten Schacht auf der Kläranlage liegt (Abbildung 4-2). Das Störfallbecken ist daher nur als Eliminationsstufe nutzbar, wenn das Wasser gehoben wird. Die ehemalige A-Stufe der Kläranlage ist gegenwärtig außer Betrieb. Bei einer Nutzung des bestehenden Beckens müsste das Abwasser aus hydraulischen Gründen ebenfalls angehoben werden, da die Beckensohle bei +55,50 m ü. NN liegt. Die A-Stufe wird in der nachfolgenden Anlagenkonzeptionierung jedoch nicht weiter berücksichtig-

sichtigt, da sie aufgrund ihrer geringen Beckenabmessungen nicht für die Nutzung als vierte Reinigungsstufe in Frage kommt.

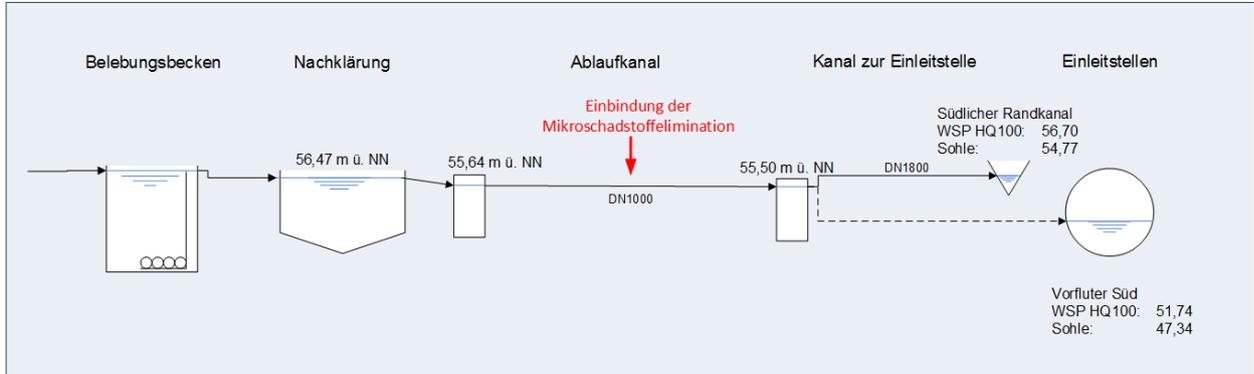


Abbildung 4-2: Wasserspiegellagen auf der Kläranlage Hürth-Stotzheim im Bereich Nachklärung – Ablauf Kläranlage

Aus den **Abwassereigenschaften** ergeben sich keine weiteren Einschränkungen bei der Variantenauswahl. Zudem haben die durchgeführten Versuche zur Ozonzehrung und zum Bromatbildungspotenzial gezeigt, dass bei einer Zugabe von 5 mg O₃/L das Bromatbildungspotenzial als unkritisch angesehen werden kann. Höhere Ozonzugaben von 10 mg O₃/L führten zu Bromatkonzentrationen > 34 µg/L. Dieser Problematik kann durch die Wahl des Ozoneintragssystems begegnet werden. Diffusoren sind in diesem Fall dem Pumpe-Injektor-System vorzuziehen.

Hinsichtlich der **Verfahrenswahl** liegen somit kaum Einschränkungen vor. Da auf Basis der vorliegenden Ergebnisse zum Bromatbildungspotenzial nicht sicher ausgeschlossen werden kann, dass eine Ozonung zu Konzentrationen >10 µg Bromat/L im Ablauf führt, wird die adsorptive Behandlung in die Variantenbetrachtung aufgenommen (vgl. Tabelle 4-1). Die Varianten 1 und 2 werden für eine Bemessungswassermenge in Höhe von 1.050 m³/h bzw. 292 L/s ausgelegt. Variante 3 wird im Störfallbecken errichtet, das ein sehr großes Volumen und eine große Grundfläche aufweist. Aufgrund des großzügigen Platzangebots wird Variante 3 daher für die maximale Beschickung in Höhe von Q_M = 2.100 m³/h = 583 L/s ausgelegt.

Tabelle 4-1: Betrachtete Verfahrensvarianten

Variante	Technik	Bemessungswassermenge
Variante 1	Ozonung Variante 1a: Ozonung - biologische Nachbehandlung im Wirbelbett Variante 1b: Ozonung - biologische Nachbehandlung mit DynaCarb	1.050 m ³ /h
Variante 2	Pulveraktivkohle (Neubau) Dosierung in separaten Reaktionsraum und Abscheidung in einem Kombibecken (ACTIFLO-CARB) mit nachgeschalteter Tuchfiltration	1.050 m ³ /h
Variante 3	Pulveraktivkohle (Nutzung Störfallbecken) Dosierung in separaten Reaktionsraum und Abscheidung im Sedimentationsbecken mit nachgeschalteter Tuchfiltration	2.100 m ³ /h

4.2 Integration auf der Kläranlage Hürth-Stotzheim

Die vierte Reinigungsstufe wird auf der Fläche westlich des bestehenden Störfallbeckens bzw. im Störfallbecken errichtet. Die Beschickung der vierten Stufe erfolgt mit dem Ablauf der Nachklärung über die bestehende Rohrleitung, die vom Nachklärbecken über das Hochwasserpumpwerk zum Ablaufschacht am nordöstlichen Rand des Kläranlagengeländes führt. In den vorhandenen Ablaufkanal wird dazu in Höhe der Fläche 1 ein neues Trennbauwerk gebaut, aus dem die vierte Reinigungsstufe mit 1.050 m³/h (Variante 1 und 2) bzw. 2.100 m³/h (Variante 3) beschickt wird. Gegebenenfalls höhere Abflüsse fließen über die Trennschwelle des Trennbauwerks über den Ablaufkanal direkt in den Vorfluter. Nach der Behandlung des Wassers in der vierten Reinigungsstufe wird das Wasser in den Vorfluter eingeleitet, wobei für die Kläranlage Hürth sowohl der bisher als Vorfluter genutzte südliche Randkanal mit einer Wasserspiegelhöhe bei HQ₁₀₀ in Höhe von 56,70 m ü. NN als auch der Vorfluter Süd mit einer Wasserspiegelhöhe bei HQ₁₀₀ in Höhe von 51,74 m ü. NN zur Verfügung stehen (vgl. Abbildung 4-3).

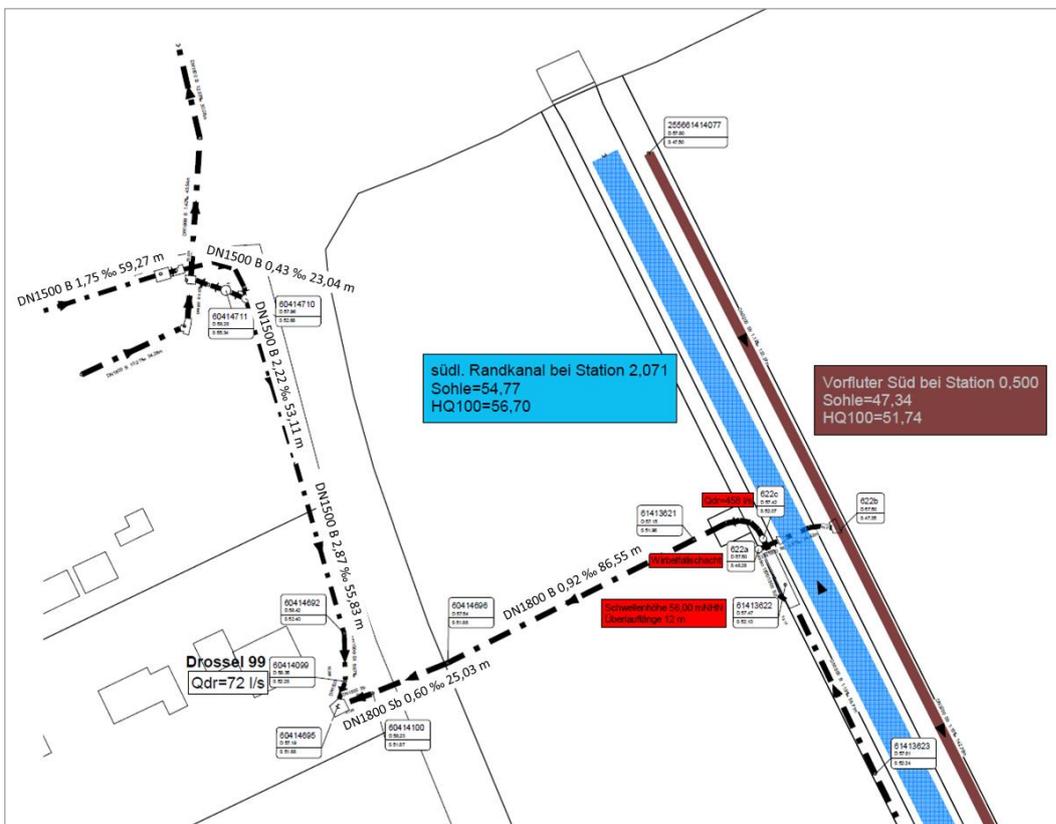


Abbildung 4-3: Wasserspiegellagen des südlichen Randkanals bzw. des Vorfluter Süd im Bereich der Einleitung

Da der Wasserspiegel der bestehenden Ablaufleitung auf dem Klärwerk zwischen 55,64 m ü. NN zu Beginn der Leitung und 55,50 m ü. NN im letzten Schacht auf der Kläranlage liegt, ist es nicht möglich die vierte Reinigungsstufe ohne Errichtung eines zusätzlichen Hebewerkes an den bestehenden Kanal anzuschließen und das gereinigte Wasser in den südlichen Randkanal einzuleiten. Eine Errichtung der vierten Stufe ohne Hebewerk ist dagegen in den Vorfluter Süd möglich, da dieser eine deutlich geringere Wasserspiegelhöhe aufweist als der südliche Randkanal. Für eine solche Einleitung in den Vorfluter Süd ist der Kanalabschnitt vom Hochwasserpumpwerk an bis zur Einleitstelle neuzubauen. Eine Aussage, welche Variante vorzuziehen ist, kann nach Abwägung des Aufwands zum Bau eines neuen Rohrleitungsabschnittes sowie des Pumpaufwands getroffen werden. Hierzu werden die Kosten für die Errichtung eines

Pumpwerkes (angenommene Förderhöhe: 2,5 m) sowie die Kosten für die Errichtung eines neuen Ablaufkanals miteinander verglichen. Die Variante 3 ist von dieser separaten Betrachtung nicht betroffen, da die Beschickung des alten Störfallbeckens nur bei Errichtung eines Hebewerks möglich ist (vgl. Abschnitt 4.1). Die Kosten dieses neu zu errichtenden Pumpwerks werden direkt in den Kosten der Variante berücksichtigt. Die Förderhöhe wird hier mit 5 m angenommen.

Die Baukosten für ein **neues Pumpwerk** inklusive der dafür erforderlichen E/MSR-Technik und den Baukosten werden zu 323.400 € abgeschätzt. Die laufenden jährlichen Kosten für den Betrieb eines solchen Pumpwerks setzen sich aus den Energiekosten des Zulaufpumpwerks sowie den Kosten für die Instandhaltung der Anlage zusammen und betragen 30.039 €/a. Die Errichtung und der Betrieb eines neuen Pumpwerks würde somit 53.924 €/a kosten, was 0,01 €/m³, bezogen auf die jährlich behandelte Abwassermenge in Höhe von 4.860.575 m³/a, entspricht (Maus et al., 2016).

Die Investitionskosten für den **neuen Ablaufkanal** setzen sich aus den Kosten für die Rohrleitung bzw. die Betonarbeiten sowie den Baunebenkosten zusammen und betragen 3.750.000 €. Die Ablaufleitung hat eine längere Nutzungsdauer (70 Jahre) gegenüber der Anlage zur Mikroschadstoffelimination (30 Jahre), weshalb der Betrachtungszeitraum für die Rohrleitungen zu 80 Jahren angesetzt wird. Die Kosten für den Betrieb des Kanals umfassen jährliche Kosten für die Instandhaltung und betragen 37.500 €. Dementsprechend ergeben sich die Jahreskosten zu 166.262 €/a und die spezifischen Kosten betragen 0,03 €/m³ behandeltes Abwasser (Maus et al., 2016).

Damit liegen die Jahreskosten für die Errichtung eines neuen Pumpwerkes deutlich unter den Kosten für den Bau eines neuen Ablaufkanals von der vierten Reinigungsstufe zur Einleitstelle und der Bau eines Pumpwerks ist dem Bau eines Kanals unter Berücksichtigung rein finanzieller Aspekte vorzuziehen.

4.3 Variante 1: Ozonung

Für die Ozonung wird die Errichtung eines Neubaus ohne Rückgriff auf vorhandene Bausubstanz untersucht. Über das neu zu errichtende Trennbauwerk wird dabei das Reaktionsbecken (entsprechend obiger Erläuterungen) mit Hilfe eines Hebewerks beschickt. Im Anschluss an die Ozonung wird das Wasser der biologischen Nachbehandlung zugeführt, die in der Variante 1a aus einem Wirbelbettreaktor und in Variante 1b aus einem kontinuierlich gespülten GAK-Filter besteht.



Abbildung 4-4: Lageplan der Variante 1a (links) und 1b (rechts)

Der Lageplan für Variante 1a und 1b ist der Abbildung 4-4 zu entnehmen. Die Anlagenteile der Stufe zur Mikroschadstoffelimination sind auf der Freifläche neben dem Störfallbecken eingezeichnet. Neben dem Kontaktbecken und der Nachbehandlung sind als Anlagenteile der Ozonerzeuger zur Erzeugung des

Ozons aus Reinsauerstoff, ein LOX-Sauerstofftank zur Bevorratung des Sauerstoffs, Diffusoren zum Ozoneintrag in das Kontaktbecken sowie verschiedene Sicherheitsvorrichtungen wie Restozonvernichter, Messeinrichtungen für die Off-Gas-Konzentrationen oder Ozonsonden im Ablauf des Kontaktbeckens, um den Eintrag von Ozon in das Gewässer oder die Luft zu verhindern, vorzusehen.

4.4 Variante 2: PAK-Dosierung in separaten Reaktionsraum und Abscheidung in einem Kombibecken (ACTIFLO-CARB) mit nachgeschalteter Tuchfiltration (Neubau)

Die zweite Variante beschreibt die PAK-Dosierung in ein separates Kontaktbecken mit anschließender Abscheidung der Aktivkohle in einem platzsparenden Actiflo-Kombibecken und mit Hilfe eines Tuchfilters. Die Errichtung erfolgt auf der Freifläche neben dem Störfallbecken und wird als Neubau konzipiert.



Abbildung 4-5: Lageplan der Variante 2, PAK-Anlage auf Freifläche

Über das zu errichtende Trennbauwerk wird das Kontaktbecken (entsprechend obiger Erläuterungen) mithilfe eines Pumpwerkes beschickt, wozu das Wasser ca. 2,5 Meter gehoben und anschließend in das Kontaktbecken eingeleitet wird. Im Anschluss fließt das Wasser der Actiflo-Sedimentationseinheit zu. Hierbei handelt es sich um ein kombiniertes Flockungs- und Sedimentationsbecken, das mit Lamellenabscheidern ausgestattet ist und unter Zugabe von Mikrosand betrieben wird, so dass die Sedimentationszeiten und der Platzbedarf reduziert werden. Das Actiflo-Verfahren besteht aus den vier Elementen Koagulationsbecken, Injektionsbecken, Reifebecken und Absetzbecken/ Lamellenklärer. Da die Aktivkohle in der Sedimentationseinrichtung nicht vollständig aus dem Wasser entfernt werden kann, findet abschließend die Filtration mit einem Tuchfilter statt. Der Abzug des im Actiflo-Kombibecken behandelten Abwassers wird dazu oberhalb der Lamellen des Lamellenklärers in rechteckigen Ablaufrinnen gesammelt und der Filteranlage zugeführt. Abbildung 4-5 zeigt schematisch die Anordnung der Anlagen im Lageplan.

4.5 Variante 3: PAK-Dosierung in separaten Reaktionsraum und Abscheidung in einem Sedimentationsbecken mit nachgeschalteter Tuchfiltration (Nutzung des Störfallbeckens)

Variante 3 beschreibt die Errichtung einer PAK-Anlage im bestehenden Störfallbecken. Die Adsorptionsstufe wird hierbei klassisch mit einem Kontaktbecken zur PAK-Dosierung und einem Sedimentationsbe-

cken zur Abscheidung der Aktivkohle ausgeprägt. Im Anschluss an das Sedimentationsbecken durchfließt das behandelte Wasser zudem eine Tuchfiltration, um die feindispersen PAK-Partikel, die das Klarwasser des Sedimentationsbeckens noch aufweisen kann, zu entfernen. Das zu behandelnde Wasser wird dem Ablaufkanal der Kläranlage wie in den vorherigen Varianten über ein Trennbauwerk entnommen. Anschließend wird das Wasser um ca. 5 m gehoben, um das anschließende Durchlaufen der Verfahrensstufen im freien Gefälle zu ermöglichen.

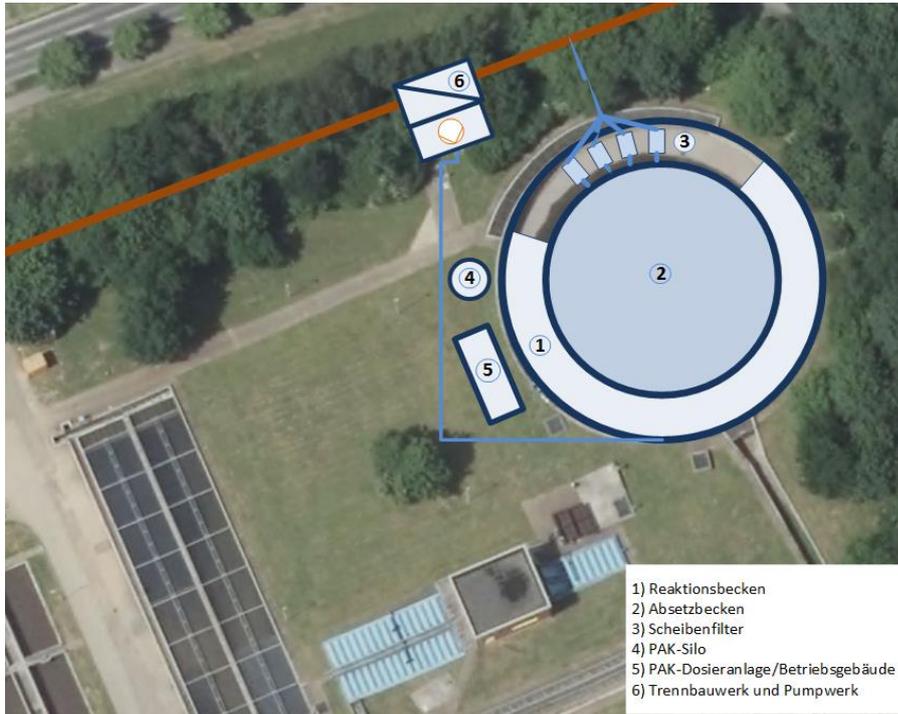


Abbildung 4-6: Lageplan der Variante 3, PAK-Anlage im alten Störfallbecken

Da die vorhandene Bausubstanz schon älter ist, wird für den Bau der Variante 3 die Errichtung eines neuen Beckens im alten Becken vorgesehen. Eine mögliche Anordnung der Verfahrenselemente zeigt Abbildung 4-6. Demnach ist in der Mitte des Störfallbeckens das Sedimentationsbecken angeordnet, welches auf einer Seite von einem ringförmigen Kontaktbecken umgeben ist. Auf der anderen Seite erfolgt die radiale Anordnung der Scheibenfilter. Bei einer späteren großtechnischen Umsetzung ist die Anordnung der Elemente und die hydraulische Ausführung im Rahmen der Entwurfsplanung detailliert zu betrachten.

Da das Platzangebot aufgrund des großen Beckendurchmessers in Höhe von $45,7 \text{ m} - 1,2 \text{ m} = 44,5 \text{ m}$ sehr großzügig ist, wird die Eliminationsstufe in Variante 3 hydraulisch für den Mischwasserabfluss in Höhe von $2.100 \text{ m}^3/\text{h}$ ausgelegt. Die Auslegung der PAK-Dosierung etc. erfolgt jedoch für den Bemessungswasserabfluss der vierten Stufe in Höhe von $Q_{\text{Bem}} = 1.050 \text{ m}^3/\text{h}$, d.h. bei Q_m können 10 mg PAK/L zugegeben werden.

5 Vorzugsvariante

5.1 Feststellung der Vorzugsvariante

Die Vorzugsvariante wird mithilfe der Bewertung verschiedener monetärer, betrieblicher und baulicher Aspekte ermittelt. Im Rahmen der Bewertung der monetären Aspekte werden zunächst die Ergebnisse der Kostenbetrachtung in Form der Investitionskosten bzw. dem daraus resultierenden investiven Anteil der Jahreskosten sowie der Betriebskosten herangezogen. Die Kostengegenüberstellung der verschiedenen Varianten erfolgt auf Grundlage der „Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen“ (KVR -Leitlinien, 2012). Die Ergebnisse sind dem ausführlicheren Abschlussbericht der Machbarkeitsstudie (Maus et al., 2016) zu entnehmen.

Bei der Bewertung der betrieblichen und baulichen Aspekte werden die folgenden Faktoren in die Bewertung einbezogen:

- die Eliminationsleistung Mikroschadstoffe
- die Verbesserung der Reinigungsleistung (CSB, AFS, P_{ges})
- der Betriebs- und Wartungsaufwand
- der Flächenbedarf der Varianten auf der Kläranlage Hürth-Stotzheim

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie für die Kläranlage Hürth-Stotzheim wurde zunächst eine Bewertung ohne Berücksichtigung der Minderung der Abwasserabgabe durch eine verbesserte Reinigungsleistung für CSB, AFS und P_{ges} durchgeführt. Die Ergebnisse der Bewertung sind in Tabelle 5-1 dargestellt.

Tabelle 5-1: Bewertungstabelle der betrachteten Varianten ohne Berücksichtigung der Minderung der Abwasserabgabe

Variante	Wichtung [%]	Variante 1			Variante 2			Variante 3		
		Ablauf Nachklärung – Ozonung – Wirbelbett		Ablauf Nachklärung – Ozonung – DynaCarb		Ablauf Nachklärung – PAK – Actiflo – Tuchfiltration		Ablauf Nachklärung – PAK – Sedimentation – Tuchfiltration		
		Punkte	Wertung	Punkte	Wertung	Punkte	Wertung	Punkte	Wertung	
Investitionskosten Variante mit Pumpwerk (netto)		2.919.400 €		4.141.400 €		3.961.400 €		4.368.200 €		
Kapitalkosten Variante mit Pumpwerk (netto)	15%	214.522 €/a	15,0 2,3	298.923 €/a	10,8 1,6	277.862 €/a	11,6 1,7	327.838 €/a	9,8 1,5	
Betriebskosten Variante mit Pumpwerk (netto)	35%	255.979 €/a	15,0 5,3	295.276 €/a	13,0 4,6	413.362 €/a	9,3 3,3	438.981 €/a	8,7 3,1	
Wertungspunkte Monetär (gerundet)	50%		7,5		6,2		5,0		4,5	
Eliminationsleistung Mikroschadstoffe	20%	hoch	10,0 2,0	sehr hoch	12,5 2,5	hoch	10,0 2,0	sehr hoch	15,0 3,0	
Verbesserung der Reinigungsleistung CSB, AFS, P_{ges}	10%	mittel	5,0 0,5	hoch	12,5 1,3	hoch	12,5 1,3	sehr hoch	15,0 1,5	
Betriebs- und Wartungsaufwand	15%	gering	15,0 2,3	mittel	12,5 1,9	mittel	10,0 1,5	mittel	10,0 1,5	
Flächenbedarf	5%	mittel	10,0 0,5	mittel	10,0 0,5	hoch	7,5 0,4	hoch *	7,5 0,4	
Wertungspunkte Technik (gerundet)	50%		5,3		6,1		5,1		6,4	
Gesamtpunkte (gerundet)	100%		12,8		12,3		10,1		10,9	

* Fläche umgewidmet

Ohne Berücksichtigung der Minderung der Abwasserabgabe erhält demnach die Variante 1a „Ozonung mit biologischer Nachbehandlung im Wirbelbett“ mit 12,8 Punkten die höchste Bewertung und stellt unter den gegebenen Bedingungen die Vorzugsvariante für den Bau einer möglichen Stufe zur Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Hürth-Stotzheim dar.

Tabelle 5-2 zeigt die Ergebnisse der Bewertung für die in Hürth-Stotzheim betrachteten Varianten unter Berücksichtigung der Kostenreduktion durch die Minderung der Abwasserabgabe. Für die Berechnung der Abwasserabgabe wurde der halbe Abgabesatz in Höhe von $35,79 \text{ €/2} = 17,895 \text{ €}$ angesetzt.

Tabelle 5-2: Bewertungstabelle der betrachteten Varianten unter Berücksichtigung der Minderung der Abwasserabgabe

Variante	Wichtung [%]	Variante 1				Variante 2				Variante 3			
		Ablauf Nachklärung – Ozonung – Wirbelbett		Ablauf Nachklärung – Ozonung – DynaCarb		Ablauf Nachklärung – PAK – Actiflo – Tuchfiltration		Ablauf Nachklärung – PAK – Sedimentation – Tuchfiltration		Punkte	Wertung	Punkte	Wertung
Investitionskosten Variante mit Pumpwerk (netto)		2.919.400 €		4.141.400 €		3.961.400 €		4.368.200 €					
Kapitalkosten Variante mit Pumpwerk (netto)	15%	214.522 €/a	15,0	2,3	298.923 €/a	10,8	1,6	277.862 €/a	11,6	1,7	327.838 €/a	9,8	1,5
Betriebskosten Variante mit Pumpwerk unter Berücksichtigung der Minderung der Abwasserabgabe (netto)	35%	255.979 €/a	14,8	5,2	251.786 €/a	15,0	5,3	369.872 €/a	10,2	3,6	387.937 €/a	9,7	3,4
Wertungspunkte Monetär (gerundet)	50%	7,4		6,9		5,3		4,9					
Eliminationsleistung Mikroschadstoffe	20%	hoch	10,0	2,0	sehr hoch	12,5	2,5	hoch	10,0	2,0	sehr hoch	15,0	3,0
Verbesserung der Reinigungsleistung CSB, AFS, Pges	10%	mittel	5,0	0,5	hoch	12,5	1,3	hoch	12,5	1,3	sehr hoch	15,0	1,5
Betriebs- und Wartungsaufwand	15%	gering	15,0	2,3	mittel	12,5	1,9	mittel	10,0	1,5	mittel	10,0	1,5
Flächenbedarf	5%	mittel	10,0	0,5	mittel	10,0	0,5	hoch	7,5	0,4	hoch *	7,5	0,4
Wertungspunkte Technik (gerundet)	50%	5,3		6,1		5,1		6,4					
Gesamtpunkte (gerundet)	100%	12,7		13,0		10,4		11,3					

* Fläche umgewidmet

Gegenüber der Betrachtung ohne Minderung der Abwasserabgabe ändert sich die Rangfolge der Varianten so, dass nun die Variante 1b „Ozonung mit Nachbehandlung im DynaCarb-Filter“ mit 13,0 Punkten die höchste Bewertung erhält und unter den nun gegebenen Bedingungen die Vorzugsvariante für den Bau einer möglichen Stufe zur Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Hürth-Stotzheim darstellt.

5.2 Kosten der Vorzugsvariante

Die Kosten der Ozonung mit anschließender Nachbehandlung im Wirbelbett sind der Tabelle 5-3 zu entnehmen. Die Investitionskosten dieser Variante (ohne Pumpwerk) betragen 2.596.000 € und die Betriebskosten belaufen sich auf 225.940 €/a. Damit ergeben sich für die Variante 1a Jahreskosten in Höhe von 416.577 €/a. Bezogen auf die in der Anlage zur Mikroschadstoffelimination behandelte Wassermenge entspricht dies spezifischen Kosten in Höhe von $0,09 \text{ €/m}^3_{\text{behandelt}}$.

Tabelle 5-3: Kostenberechnung für die Variante 1a „Ozonung mit Nachbehandlung im Wirbelbett“

Investitionskosten			Betrachtungs-	Nutzungsdauer n	Zinssatz i	KFAKR (i;n)	Re-invest nach	DFAKE (i;n)	Re-invest nach	DFAKE (i;n)	Investiver Anteil der Jahreskosten	
Variante 1a: Ozonung mit Wirbelbett zur NB			zeitraum	Jahre			Jahren		Jahren			
Zu/Ablaufanbindung												
Rohrleitungen/Betonarbeiten	KG 300	40.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			2.041 €/a	
Bypass (Wehr)	KG 400	30.000 €	30	MT	15	3,0%	0,0510	15	0,6419		2.513 €/a	
Ozonung												
Bauwerk Reaktor	KG 300	366.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			18.673 €/a	
Bauwerk Betriebsgebäude	KG 300	75.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			3.826 €/a	
Technische Anlagen Ozonung (O3-Generator, Restozonverrichtung, Raumluftüberwachung, Diffusorsystem, Kühlung etc.)	KG 400	1.000.000 €	30	MT	15	3,0%	0,0510	15	0,6419		83.767 €/a	
Rohrleitungen/Armaturen/O2-Versorgung	KG 400	45.000 €	30	MT	15	3,0%	0,0510	15	0,6419		3.769 €/a	
Messgeräte	KG 400	63.000 €	30	MT	15	3,0%	0,0510	15	0,6419		5.277 €/a	
Nachbehandlung Wirbelbett												
Bauwerk Wirbelbett	KG 300	134.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			6.837 €/a	
Aufwuchskörper für Wirbelbett	KG 300	70.000 €	30	MT	15	3,0%	0,0510	15	0,6419		5.864 €/a	
Technische Anlagen Wirbelbett (Rührwerk, Lochblech, sonstige Einbauten)	KG 400	32.000 €	30	MT	15	3,0%	0,0510	15	0,6419		2.681 €/a	
Gründung LOX-Tank	KG 300	12.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			612 €/a	
Wegeanbindung/Zufahrt/ Außenanlagen	KG 500	60.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			3.061 €/a	
E/ MSR-Technik	KG 400	150.000 €	30	ET	10	3,0%	0,0510	10	0,7441	20	0,5537	25.237 €/a
Baunebenkosten	KG 700	519.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			26.479 €/a	
Summe		2.596.000 €									190.637 €/a	

laufende Kosten	Kennwerte	Betriebsmittelbedarf bei				spezifische Kosten	Kosten pro Tag	Betriebskosten
		Wassermenge 1050 m³/h pro Stunde	pro TW-Tag 24 h/d	mit Lastfaktor	pro Tag			
Sauerstoff (z=0,5; DOC = 15 g/m³, Ozon 10%wt)	75 g/m³	78,8 kg/h	1.890,0 kg/d	67%	1.266,3	0,14 €/kg	177 €	64.708 €/a
Miete Sauerstofftank								6.000 €/a
Energie Ozonerzeugung (z=0,5; DOC = 15 g/m³)	10 kWh/kg _{O3}	78,8 kWh/h	1.890,0 kWh/d	67%	1.266,3	0,2 €/kWh	253 €	92.440 €/a
Energie Kühlwasserpumpe, sonstige ET	3 kWh	3,0 kWh	72,0 kWh/d	67%	48,2	0,2 €/kWh	10 €	3.522 €/a
Energie Umwälzung Wirbelbett	2 kWh/h	2,0 kW	48,0 kWh/d	80%	38,4	0,2 €/kWh	8 €	2.803 €/a
Instandhaltung (1,25 % BT, 3% MT/ET)								48.188 €/a
Personalkosten	15 h/Monat					46 €/h	33 €	8.280 €/a
Summe							481 €	225.940 €/a
Jahreskosten (netto) Variante 1a		4.860.575 m³/a behandelte Wassermenge				0,086 € pro m³		416.577 €/a

Für die Variante 1b wurden die Kosten entsprechend Tabelle 5-4 abgeschätzt. Die Investitionskosten betragen für die Ozonung mit anschließender Filtration im DynaCarb-Filter (ohne Pumpwerk) 3.818.000 € und die Betriebskosten wurden zu 265.237 €/a bestimmt. Hieraus ergeben sich Jahreskosten in Höhe von 540.275 €/a, die bezogen auf die behandelte Wassermenge zu spezifischen Kosten in Höhe von ca. 0,11 €/m³behandelt führen.

Tabelle 5-4: Kosten der Variante 1b „Ozonung mit Nachbehandlung im DynaCarb-Filter“

Investitionskosten Variante 1b: Ozonung mit DynaCarb zur NB			Betrachtungs- zeitraum	Nutzungsdauer n	Zinssatz i	KFAKR (i:n)	Re- invest nach	DFAKE (i:n)	Re- invest nach	DFAKE (i:n)	Investiver Anteil der Jahreskosten	
			Jahre			Jahren			Jahren			
Zu/Ablaufanbindung												
Rohrleitungen/Betonarbeiten	KG 300	40.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			2.041 €/a	
Bypass (Wehr)	KG 400	30.000 €	30	MT	15	3,0%	0,0510	15	0,6419		2.513 €/a	
Ozonung												
Bauwerk Reaktor	KG 300	366.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			18.673 €/a	
Bauwerk Betriebsgebäude	KG 300	75.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			3.826 €/a	
Technische Anlagen Ozonung (O3-Generator, Restozonvernichtung, Raumluftüberwachung, Diffusorsystem, Kühlung etc.)	KG 400	1.000.000 €	30	MT	15	3,0%	0,0510	15	0,6419		83.767 €/a	
Rohrleitungen/Armaturen/O2-Versorgung	KG 400	45.000 €	30	MT	15	3,0%	0,0510	15	0,6419		3.769 €/a	
Messgeräte	KG 400	63.000 €	30	MT	15	3,0%	0,0510	15	0,6419		5.277 €/a	
Nachbehandlung DynaCarb												
Bauwerk Filtration	KG 300	631.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	9			32.193 €/a	
Technische Anlagen DynaCarb-Filter (Filterbauteile, Druckluftsteuerschrank, Druckluftversorgung, Erstbefüllung, Bühnenkonstruktion, Armaturen, interne Verrohrung, Waschwasserred.)	KG 400	507.000 €	30	MT	15	3,0%	0,0510	15	0,6419		42.470 €/a	
Gründung LOX-Tank	KG 300	12.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			612 €/a	
Wegeanbindung/Zufahrt/ Außenanlage	KG 500	60.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			3.061 €/a	
E/ MSR-Technik	KG 400	225.000 €	30	ET	10	3,0%	0,0510	10	0,7441	20	0,5537	37.856 €/a
Baunebenkosten	KG 700	764.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			38.979 €/a	
Summe		3.818.000 €									275.038 €/a	

laufende Kosten	Kennwerte	Betriebsmittelbedarf bei					spezifische Kosten	Kosten pro Tag	Betriebskosten 4.860.575 m³/a
		Wassermenge 1050 m³/h pro Stunde	pro TW-Tag 24 h/d	mit Lastfaktor		pro Tag			
Sauerstoff (z=0,5; DOC = 10 g/m³, Ozon 10%wt)	50 g/m³	52,5 kg/h	1.260,0 kg/d	67%	844,2	0,14 €/kg	118 €	43.139 €/a	
Miete Sauerstofftank								6.000 €/a	
Energie Ozonerzeugung (z=0,5; DOC = 10 g/m³)	10 kWh/kgO3	52,5 kWh/h	1.260,0 kWh/d	67%	844,2	0,2 €/kWh	169 €	61.627 €/a	
Energie Kühlwasserpumpe, sonstige ET	3 kWh	3,0 kWh	72,0 kWh/d	67%	48,2	0,2 €/kWh	10 €	3.522 €/a	
Energie Filterspülung	11 kWh/h	11,0 kW	264,0 kWh/d	28%	74,3	0,2 €/kWh	15 €	5.420 €/a	
GAK									
Standzeit	2 Jahre					1100 €/Mg		66.350 €/a	
spezifisches Gewicht	6,5 Mg/Filter								
Anzahl Filter	18 Filter								
Instandhaltung (1,25 % BT, 3% MT/ET)								70.900 €/a	
Personalkosten	15 h/Monat					46 €/h	33 €	8.280 €/a	
Summe							345 €	265.237 €/a	

Jahreskosten (netto) Variante 1b	4.860.575 m³/a behandelte Wassermenge	0,111 € pro m³	540.275 €/a
--	---------------------------------------	----------------	--------------------

6 Empfehlung

6.1 Erfordernis zur Mikroschadstoffelimination

Anhaltspunkte für das Erfordernis zum Ausbau der Kläranlage Hürth Stotzheim ergeben sich aus dem Zustand des Vorfluters, der zurzeit einen schlechten ökologischen und einen nicht guten chemischen Zustand aufweist. Im Rahmen des Screenings wurden für mehrere Parameter Überschreitungen der UQN-Vorschläge im Ablauf der Kläranlage Hürth Stotzheim festgestellt (vgl. Abschnitt 3.1). Ein eindeutiger kausaler Zusammenhang zwischen dem ökologischen Zustand und den ermittelten Ablaufkonzentrationen der Kläranlage kann aus den Ergebnissen nicht zweifelsfrei hergeleitet werden. Hierzu sind z. B. die weiteren Eintragspfade von Mikroschadstoffen und die sich nach der Kläranlageneinleitung ergebenden maßgebenden Konzentrationen im Gewässer und ihre Wirkungen auf das Gewässer zu berücksichtigen. Eine Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Hürth-Stotzheim würde jedoch zu einer deutlich verbesserten Ablaufqualität führen und wäre als freiwillige Maßnahme aus Gewässersicht zu befürworten.

Tabelle 6-1 zeigt zudem für die oben gelisteten Parameter die Ergebnisse des Screenings aus Hürth im Vergleich zu den Screening-Ergebnissen anderer Kläranlagen. Hierbei zeigt sich, dass das Abwasser aus Hürth bei den Arzneimittelwirkstoffen hinsichtlich der gemessenen Konzentrationen im Durchschnitt liegt. Auffällig ist jedoch, dass vor allem für die Industriechemikalie 1H-Benzotriazol sowie das Pestizid Climbazol überdurchschnittlich hohe Konzentrationen gemessen wurden. Dies ist vermutlich auf die Struktur des Einzugsgebietes der Kläranlage Hürth zurückzuführen, in dem verschiedene Industriebetriebe angesiedelt sind.

Tabelle 6-1: Vergleich der Screening Ergebnisse aus Hürth mit den Screening Ergebnissen anderer Kläranlagen

Stoffgruppe	Parameter	KA Hürth	KA BS	KA BB	KA WE	KA MG	KA WA
		[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]
Arzneimittelwirkstoffe	Carbamazepin	710	640	450	1.700	490	970
		810	720	570	1.900	410	1.000
	Clarithromycin	230	110	210	620	980	420
		180	130	270	940	1.200	230
	Diclofenac	1.800	610	1.900	4.900	3.300	1.100
		2.200	840	1.500	4.900	3.700	1.300
Erythromycin	130	260	440	800	-	-	
	160	240	150	950	-	-	
Ritalinsäure	110	29	43	130	130	-	
	99	38	72	140	120	-	
Sotalol	220	280	280	-	-	104	
	190	360	350	-	-	130	
Röntgenkontrastmittel	Amidotrizoesäure	2.600	-	-	10.000	12.000	665
		1.500	-	-	10.000	11.000	645
Industriechemikalie	1H-Benzotriazol	5.500	2.400	4.800	5.500	8.300	2.000
		12.000	2.200	5.200	6.400	7.400	2.800
Pestizide	Climbazol	120	89	130	220	78	-
		150	100	75	320	80	-
	Terbutryn	76	130	120	15	170	130
95		110	82	20	190	160	

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass der Ausbau einer Kläranlage um eine Stufe zur Mikroschadstoffelimination zurzeit noch nicht gesetzlich geregelt ist und auf freiwilliger Basis erfolgt. Aufgrund der oben geschilderten Anhaltspunkte, sollte der Ausbau der Kläranlage Hürth um eine vierte Reinigungsstufe jedoch in Betracht gezogen werden.

6.2 Verfahrensempfehlung

Aus Basis des Monitorings kann derzeit keine eindeutige Verfahrensempfehlung gegeben werden. Aufgrund der hohen Bromidkonzentrationen sind hier zwei Empfehlungen abzugeben.

Erste Empfehlung

Auf Grundlage der monetären und nicht monetären Bewertung und nach Berücksichtigung der Abwasserabgabe empfehlen wir für den Bau einer Reinigungsstufe zur Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Hürth-Stotzheim die Umsetzung der Variante 1b. Hierbei sind aufgrund der Bromid Bromat-Problematik im Vorfeld weitere Untersuchungen des Ablaufs der Kläranlage durch ein längeres Monitoring durchzuführen und eine spezielle Ausgestaltung des Reaktors mit Belüftungseinrichtungen sicherzustellen. Zwar sind die Investitionskosten der Variante 1b höher als die Investitionskosten der Variante 1a, jedoch liegen die laufenden Kosten der Anlage nach Berücksichtigung der Abwasserabgabe unter den Betriebskosten der Variante 1a und es ist zu erwarten, dass die Variante 1b zu einer besseren Reinigungsleistung hinsichtlich der Mikroschadstoffe sowie der Standardabwasserparameter CSB, N_{ges} und P_{ges} führt. Tabelle 6-2 fasst abschließend alle technischen Aspekte sowie die Kosten der empfohlenen Variante 1b „Ozonung und Nachbehandlung im DynaCarb-Filter“ tabellarisch zusammen.

Tabelle 6-2: Erste Empfehlung Variante „Ozonung und Nachbehandlung im DynaCarb-Filter“

		<p>$Q = 1.050 \text{ m}^3/\text{h}$</p> <p>Dosierung</p> <p>$Z_{spez} = 0,5 \text{ mgO}_3/\text{mgDOC}$</p> <p>$B_{O_3} = 10 \text{ kg O}_3/\text{h}$</p> <p>Kontaktbecken</p> <p>$t_{Kontakt} = 30 \text{ Minuten}$</p> <p>$V_{Kontakt} = 525 \text{ m}^3$</p> <p>$H = 5 \text{ m}$</p> <p>$A = 7\text{m} \times 15 \text{ m}$</p> <p>Nachbehandlung</p> <p>DynaCarb-Filter</p>	
Kostendarstellung	Kostenart	Quelle	
Kosten ohne Minderung der Abwasserabgabe	Investitionskosten:	4.141.400 €	Tabelle 7-1
	Kapitalkosten:	298.923 €/a	Tabelle 7-1
	Laufende Kosten:	295.276 €/a	Tabelle 7-1
	Spezifische Kosten _{Abwasser} :	0,12 €/m ³	Tabelle 6-8
	Spezifische Kosten _{Frischwasser} :	0,19 €/m ³	Tabelle 6-8
Kosten mit Minderung der Abwasserabgabe	Investitionskosten:	4.141.400 €	Tabelle 7-2
	Kapitalkosten:	298.923 €/a	Tabelle 7-2
	Laufende Kosten:	251.786 €/a	Tabelle 7-2

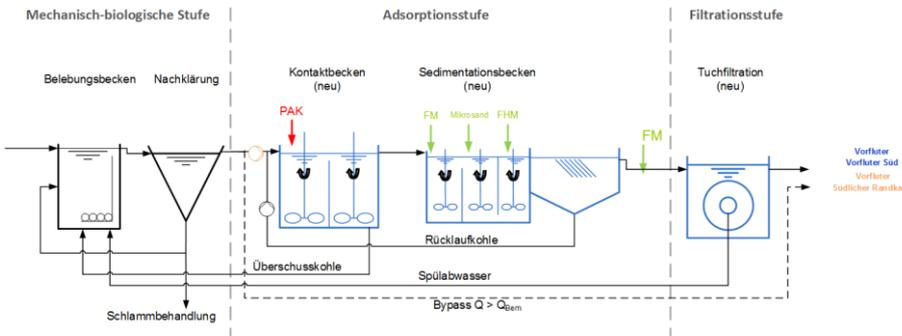
Spezifische Kosten _{Abwasser} :	0,11 €/m ³	Tabelle 6-10
Spezifische Kosten _{Frischwasser} :	0,18 €/m ³	Tabelle 6-10

Zweite Empfehlung

Für den Fall, dass aufgrund der Bromidproblematik keine Ozonung möglich ist, wird die Variante 2 „PAK-Dosierung in separaten Reaktionsraum und Abscheidung in einem Kombibecken (ACTIFLO-CARB) mit nachgeschalteter Tuchfiltration (Neubau)“ vorgeschlagen. Ein wesentlicher Vorteil dieser Variante besteht in der zusätzlichen Möglichkeit sehr niedrige P-Ablaufwerte von $\ll 0,5$ mg/L sicherzustellen, da hier ein Tuchfilter nachgeschaltet ist, der dies ermöglicht. Auch bei dieser Variante ist eine bessere Reinigungsleistung hinsichtlich der Mikroschadstoffe sowie der Standardabwasserparametern CSB, N_{ges} und P_{ges} zu erwarten, ähnlich Variante 1b (1. Empfehlung).

Tabelle 6-3 fasst abschließend alle technischen Aspekte sowie die Kosten der empfohlenen Variante 2 „PAK-Dosierung in separaten Reaktionsraum und Abscheidung in einem Kombibecken (ACTIFLO-CARB) mit nachgeschalteter Tuchfiltration (Neubau)“ tabellarisch zusammen.

Tabelle 6-3: Zweite Empfehlung Variante „PAK-Dosierung in separaten Reaktionsraum und Abscheidung in einem Kombibecken (ACTIFLO-CARB) mit nachgeschalteter Tuchfiltration (Neubau)“

		<p>$Q = 1.050 \text{ m}^3/\text{h}$</p> <p><u>Dosierung</u> 20 mgPAK/L</p> <p><u>Kontaktbecken</u> $t_{\text{kontakt}} = 30 \text{ Minuten}$ $V_{\text{kontakt}} = 525 \text{ m}^3$ $H = 5 \text{ m}$ $A = 7 \text{ m} \times 15 \text{ m}$</p> <p><u>PAK-Abscheidung</u> Actiflo-Carb und nachgeschaltete Tuchfiltration</p>
Kostendarstellung	Kostenart	Quelle
Kosten ohne Minderung der Abwasserabgabe	Investitionskosten:	3.961.400 € Tabelle 7-1
	Kapitalkosten:	277.862 €/a Tabelle 7-1
	Laufende Kosten:	413.362 €/a Tabelle 7-1
	Spezifische Kosten _{Abwasser} :	0,14 €/m ³ Tabelle 6-8
	Spezifische Kosten _{Frischwasser} :	0,22 €/m ³ Tabelle 6-8
Kosten mit Minderung der Abwasserabgabe	Investitionskosten:	3.961.400 € Tabelle 7-2
	Kapitalkosten:	277.862 €/a Tabelle 7-2
	Laufende Kosten:	369.872 €/a Tabelle 7-2
	Spezifische Kosten _{Abwasser} :	0,13 €/m ³ Tabelle 6-10
	Spezifische Kosten _{Frischwasser} :	0,22 €/m ³ Tabelle 6-10

Literaturverzeichnis

ELWAS-WEB (2015): Elektronisches wasserwirtschaftliches Verbundsystem für die Wasserwirtschaftsverwaltung in NRW. www.elwasweb.nrw.de/elwas-web/index.jsf [Letzter Zugriff: 17.12.2015].

Google (2015): „Google Maps“. Kartendaten © 2015 GeoBasis-DE/BKG (©2009), Google. www.google.de/maps [Letzter Zugriff: 17.12.2015].

Grontmij (2014): „Erläuterungsbericht – Stadtwerke Hürth, AöR, Kläranlage Hürth-Stotzheim - Studie zur Betriebssicherheit der Kläranlage“. Grontmij GmbH. Köln, 2014.

Maus, C.; Ante, S.; Schulz, J. (2016): „Abschlussbericht – Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Hürth-Stotzheim“. Machbarkeitsstudie. Grontmij GmbH. Köln: Februar 2016 (unveröffentlicht, Stand: 29.02.2016).

KOM-M.NRW (2015a): „Mikroschadstoffelimination machbar? Wesentliche Inhalte einer Machbarkeitsstudie für Anlagen zur Mikroschadstoffelimination“. Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW. Hrsg.: ARGE Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW. Stand: 20.10.2015.

KVR-Leitlinien (2012): Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien). Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. 8. überarbeitete Auflage, Juli 2012).

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