

Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination auf der zentralen Abwasserbehandlungsanlage (ZABA) Sankt Augustin

Stadt Sankt Augustin

Kurzbericht



ARBEITSGEMEINSCHAFT
„Sweco GmbH/aqua consult“

c/o Sweco GmbH
Graeffstraße 5
50823 Köln

T +49 221 57402-0
F +49 221 57402-11
E koeln@sweco-gmbh.de
W www.sweco-gmbh.de

Impressum

Auftraggeber: Stadt Sankt Augustin

Auftragnehmer: **Sweco GmbH**

Postfach 30 01 06
50771 Köln

Graeffstraße 5
50823 Köln

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

Bearbeitungszeitraum: Oktober 2016 – Mai 2017

		Seite
1	Veranlassung und Hintergründe der Mikroschadstoffelimination	1
2	Kurzbeschreibung des Einzugsgebietes und der zentralen Abwasserbehandlungsanlage Sankt Augustin	2
3	Abwasseranalysen und Auslegungswerte für die Stufe zur Mikroschadstoffelimination	3
3.1	Standardabwasserparameter und Mikroschadstoffe	3
3.2	Bromidkonzentrationen und Ozonzehrung	5
3.3	Schüttelversuche mit Pulveraktivkohle	6
3.4	Auslegungswassermenge	7
3.5	Eliminationsraten	8
4	Ausarbeitung von technischen Anlagenkonzepten	9
4.1	Randbedingungen für mögliche Varianten und Variantenauswahl	9
4.2	Variante 1: PAK-Dosierung in die Tuchfiltration	11
4.3	Variante 2: PAK-Dosierung in ein separates Reaktionsbecken und Abscheidung in einem Kombibecken (ACTIFLO®-CARB)	13
4.4	Variante 3: Vorgeschaltete Ozonung mit Wirbelbettreaktor und anschließende Tuchfiltration	14
4.5	Variante 4: Kombination der vorgeschalteten Ozonung und PAK-Dosierung in die Tuchfiltration	15
4.6	Variante 5: PAK-Dosierung in das Belebungsbecken	16
5	Vorzugsvariante	16
5.1	Vorgehensweise zur Ermittlung der Vorzugsvariante	16
5.2	Vorzugsvarianten für die Teil- und Vollstrombehandlung	18
5.3	Kosten für das zu errichtende Pumpwerk	22
5.4	Kosten der Vorzugsvarianten bei Teil- und Vollstrombehandlung	23
6	Empfehlung	26
6.1	Erfordernis zur Mikroschadstoffelimination	26
6.2	Verfahrensempfehlung	27
7	Literaturverzeichnis	28

	Seite
Abbildungsverzeichnis	
Abbildung 3-1: Auslegungswassermenge und damit behandelbare Jahresabwassermenge	8
Abbildung 4-1: Potentielle Flächen zum Bau einer Stufe zur Mikroschadstoffelimination auf der ZABA Sankt Augustin (ELWAS-WEB, 2016)	9
Abbildung 4-2: Anordnungsskizze der Variante 1 auf der ZABA Sankt Augustin	12
Abbildung 4-3: Lageplan mit Reaktionsbecken, Actiflo®-Carb-Einheit und PAK-Silo mit Dosiereinrichtung auf der Freifläche südlich der Nachklärung auf der ZABA Sankt Augustin	13
Abbildung 4-4: Anordnungsskizze der Variante 3 auf der ZABA Sankt Augustin	15
Abbildung 4-5: Anordnungsskizze der Variante 4 auf der ZABA Sankt Augustin	15
Tabellenverzeichnis	
Tabelle 3-1: Bewertungsmaßstab der Mikroschadstoffkonzentrationen im Oberflächengewässer im Ablauf der Kläranlage Sankt Augustin (BK: Bewertungskriterium)	3
Tabelle 3-2: Ergebnisse des erweiterten Monitorings des Kläranlagenablaufs Trocken- und Regenwetter	4
Tabelle 3-3: Ergebnisse des Monitorings zur Datenverdichtung im Ablauf der Kläranlage Sankt Augustin im Februar und März 2017	5
Tabelle 3-4: Ermittelte Konzentrationen von DOC, Bromid und Bromat im Kläranlagenablauf mit Zugabe von 5 und 10 mgO ₃ /L	6
Tabelle 3-5: Eliminationsleistungen dreier unterschiedlicher Aktivkohlen für ausgewählte Mikroschadstoffe bei einer Dosierung von 10 und 20 mg _{PAK} /L	7
Tabelle 3-6: Weitere zu berücksichtigende Substanzen zur Datenverdichtung und Indikatorsubstanzen	8
Tabelle 5-1: Ranking der Varianten bei einer Teilstrombehandlung	18
Tabelle 5-2: Bewertungstabelle der betrachteten Varianten für die Teilstrombehandlung	19
Tabelle 5-3: Ranking der Varianten bei Vollstrombehandlung	20
Tabelle 5-4: Bewertungstabelle der betrachteten Varianten für die Vollstrombehandlung	21
Tabelle 5-5: Kosten für das neu zu errichtende Pumpwerk bei einer Teilstrombehandlung	22
Tabelle 5-6: Kosten für das neu zu errichtende Pumpwerk bei einer Vollstrombehandlung	23
Tabelle 5-7: Kosten der Variante 2 bei Teilstrombehandlung „PAK-Dosierung in ein separates Kontaktbecken und Abscheidung in einem Kombibecken (Actiflo®-Carb)“	24
Tabelle 5-8: Kosten der Variante 2 bei Vollstrombehandlung „PAK-Dosierung in separates Kontaktbecken und Abscheidung im Kombibecken (Actiflo®-Carb)“	25
Tabelle 6-1: Zusammenfassung der Überschreitungen der Bewertungskriterien im Ablauf der Kläranlage Sankt Augustin aus dem Monitoring zur Datenverdichtung	26

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 Bestandteile dieser Gruppe. Mikroschadstoffe liegen in der Regel in sehr niedrigen Konzentrationen vor, dennoch konnte in den letzten Jahren die Ökotoxizität einer Vielzahl von Mikroschadstoffen in der Umwelt nachgewiesen werden bzw. von vielen Stoffen ist zukünftig aufgrund der steigenden Verbrauchsmengen ein hohes Gefährdungspotenzial zu erwarten (Umweltbundesamt, 2011).

Vor dem Hintergrund des demographischen Wandels und der industriellen Weiterentwicklung kann die Mikroschadstoffproblematik in Zukunft zunehmen. 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. durch 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 als umsetzbare Techniken bewährt.

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, 2017). Dieses hatte u.a. das Ziel, die Bevölkerung hinsichtlich eines bewussten Umgangs mit Arzneimitteln aufzuklären bzw. zu sensibilisieren. Zudem sollen aber auch die Abwasserbehandlungsanlagen ausgebaut und die Trinkwasseraufbereitungstechnik modernisiert werden. Das Umweltministerium des Landes Nordrhein-Westfalen (NRW) fördert bis Ende 2022 durch das Investitionsprogramm „Ressourceneffiziente Abwasserbeseitigung NRW II“ u. a. großtechnische Anlagen zur Mikroschadstoffelimination.

Ziel der vorliegenden Studie ist es, auf Basis eines Monitorings des Kläranlagenablaufs auf Mikroschadstoffe, Möglichkeiten zur Einbindung einer Anlage zur Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Sankt Augustin aufzuzeigen. Entwickelt werden sollen hierbei effiziente Anlagenkonfigurationen unter Einbeziehung der vorhandenen Anlagentechnik im Hinblick auf die Mikroschadstoffelimination und die Wirtschaftlichkeit für die großtechnische Umsetzung.

2 Kurzbeschreibung des Einzugsgebietes und der zentralen Abwasserbehandlungsanlage Sankt Augustin

Die durch die Stadt Sankt Augustin betriebene zentrale Abwasserbehandlungsanlage (ZABA) Sankt Augustin befindet sich in der Siegaue in Sankt Augustin-Menden. Die Anlage behandelt die Abwässer aus dem Stadtgebiet von Sankt Augustin sowie die Abwässer der Stadt Siegburg und teilweise die Abwässer aus Königswinter, Hennef und Neunkirchen-Seelscheid. Als große Indirekteinleiter sind u.a. ein Arzneimittelhersteller, ein fleischverarbeitender Betrieb, ein Einkaufspark und ein Krankenhaus angeschlossen. Die Einleitung des gereinigten Abwassers erfolgt in die Sieg. Der ökologische Zustand der Sieg wird als „unbefriedigend“ und der chemische Zustand als „nicht gut“ eingestuft. Der mittlere Niedrigwasserabfluss (MNQ) der Sieg beträgt am Pegel Menden 6.706 L/s (ELWAS-WEB, 2016).

Die Ausbaugröße beträgt 210.000 $EW_{BSB5,60}$ und 170.000 $EW_{N,11}$ womit die ZABA der Größenklasse 5 nach Abwasserverordnung (AbwV) zugeordnet wird. Sie ist auf einen Trockenwetterzufluss von 38.280 m^3/d bzw. 2.435 m^3/h ausgelegt. Der maximale Zufluss bei Regenwetter beträgt $Q_M = 4.536 m^3/h$.

Das Abwasser des Einzugsgebietes wird in der ZABA Sankt Augustin zunächst in einer Rechenanlage, zwei belüfteten Sandfängen und einer Vorklärung mechanisch gereinigt. Nach der mechanischen Reinigung wird das zu behandelnde Abwasser der biologischen Reinigungsstufe zugeführt. Grundsätzlich kann die ZABA Sankt Augustin mit verschiedenen Verfahrensvarianten betrieben werden. Neben der simultanen Denitrifikation können die Becken auch als vorgeschaltete Denitrifikation bzw. Zweier-Kaskade betrieben werden. Beste Ergebnisse unter dem Gesichtspunkt der Blähschlammvermeidung werden in diesem Zusammenhang zurzeit mit einer vorgeschalteten Denitrifikation erreicht. Ein Teil des Belebungsvolumens (Becken 9 und 10) kann in den Sommermonaten zudem anaerob zur biologischen Phosphorelimination genutzt werden.

Derzeit befindet sich die bestehende Mikrosiebanlage, die seit 2002 auf der ZABA Sankt Augustin in Betrieb ist, im Umbau. Diese wird zu einer Tuchfiltrationsanlage umgebaut bzw. ertüchtigt. Die vorhandene Mikrosiebanlage mit 8 Mikrosiebmaschinen wird zu einer Tuchfiltration mit 12 Filtereinheiten umgebaut. Es besteht eine Ausbaureserve von 4 Filtereinheiten, sodass im Endausbauzustand eine Kapazität von 16 Tuchfiltereinheiten realisierbar ist. Als textiles Filtermedium sind derzeit Standardpolstoffe vorgesehen.

3 Abwasseranalysen und Auslegungswerte für die Stufe zur Mikroschadstoffelimination

3.1 Standardabwasserparameter und Mikroschadstoffe

Die standortspezifischen Abwassereigenschaften auf der ZABA Sankt Augustin sind bei der Auswahl eines geeigneten Verfahrens zur Mikroschadstoffelimination zu berücksichtigen. Die Abwasserinhaltsstoffe werden dazu in zwei Gruppen betrachtet. In der ersten Gruppe werden die Konzentrationen der Standardabwasserparameter berücksichtigt. Hier liegen die Daten für die Parameter CSB, Ammoniumstickstoff, Gesamtstickstoff, Nitritstickstoff, Gesamtphosphor, Orthophosphat und AFS vor. Für die Variantenbetrachtungen wird eine DOC-Konzentration von 7,6 mg_{DOC}/L angesetzt.

Die zweite Gruppe beinhaltet eine Auswahl an Mikroschadstoffen. Die Auswahl beruht auf den Empfehlungen des Kompetenzzentrums Mikroschadstoffe NRW. 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 sowie den präventiven Vorsorgewerten bzw. PNEC-Werten gegenübergestellt worden. Die Bewertung der Ergebnisse erfolgte nach dem Schema in Tabelle 3-1.

Tabelle 3-1: Bewertungsmaßstab der Mikroschadstoffkonzentrationen im Oberflächengewässer im Ablauf der Kläranlage Sankt Augustin (BK: Bewertungskriterium)

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

Zur Feststellung der Belastung des Kläranlagenablaufs und des Gewässers ober- und unterhalb der Kläranlageneinleitung, wurden zwischen dem 15.11.2016 und dem 30.11.2016 24h-Mischproben des Kläranlagenablaufs und Stichproben des Gewässers sowohl bei Trocken- als auch bei Regenwetter gezogen. Dabei wurden neben einigen Basisparametern auch Mikroschadstoffe aus den Gruppen Arzneimittelwirkstoffe, Pestizide, Korrosionsschutzmittel, Süßstoffe, Per- und Polyfluorierte Chemikalien und Moschusduftstoffe bestimmt. Zusätzlich bestimmt wurde auch die östrogene Aktivität. Der Umfang der Analysen beruht auf den Empfehlungen des Kompetenzzentrums Mikroschadstoffe NRW (KOM-M.NRW, 2016). Die Auswertung bzw. farbliche Gestaltung erfolgt gemäß Tabelle 3-1, wobei das für die Substanz vorliegende Bewertungskriterium (BK) z.B. die UQN oder der präventive Vorsorgewert herangezogen werden. Die Ergebnisse der Mikroschadstoffanalytik sind in Tabelle 3-2 zusammengefasst.

Im Ablauf der Kläranlage konnten einige Überschreitungen der Bewertungskriterien festgestellt werden. Die Konzentrationen für die Arzneimittelwirkstoffe Carbamazepin, Clarithromycin, Diclofenac, Valsartan, Candesartan und Gabapentin liegen teilweise über dem Vierfachen des jeweiligen Bewertungskriteriums. Auch für den Süßstoff Acesulfam K und die Perfluorierte Chemikalie PFOS wurden Überschreitungen um mehr als das Vierfache festgestellt.

Für die vorgenannten Mikroschadstoffe konnten neben den Überschreitungen im Kläranlagenablauf ebenfalls Überschreitungen ähnlicher Größenordnung für das Gewässer analysiert werden. Aus den Messwerten ist kaum ein Einfluss der Kläranlageneinleitung auf die Gewässerkonzentration feststellbar. Zwar liegen die Konzentrationen unterhalb der Kläranlageneinleitung größtenteils über den Konzentrationen, die oberhalb gemessen wurden, dieser Unterschied ist teilweise jedoch sehr gering. Bei einigen der Analyseergebnisse, liegen die gemessenen Konzentrationen unterhalb der Kläranlageneinleitung

niedriger als die Konzentrationen, die oberhalb gemessen wurden. Begründet liegt dies u.a. in der Tatsache, dass die Gewässerproben lediglich als qualifizierte Stichproben gezogen werden. Am 16.11.2016 wurde für Ibuprofen ein außergewöhnlich hoher Wert im Gewässer von 1.400 ng/L gemessen. Da der Kläranlagenablauf als 24h-Mischprobe an diesem Tag unauffällig war, und das Regenüberlaufbecken an diesem Tag entlastet hat, ist davon auszugehen, dass der erhöhte Werte auf die Entlastung des Regenüberlaufbeckens zurückzuführen ist. Der Überlauf des Regenüberlaufbeckens nutzt als Einleitungsbauwerk in die Sieg das gleiche wie auch die ZABA Sankt Augustin.

Für den Blutdrucksenker Losartan liegen die gemessenen Konzentrationen des Kläranlagenablaufs zum größten Teil in einem unbefriedigenden Bereich (2 BK - 4 BK). Das Pestizid Terbutryn und das Korrosionsschutzmittel 1H-Benzotriazol weisen nur leicht höhere Konzentrationen als die jeweiligen Bewertungskriterien auf. Das Antibiotikum Ciprofloxacin weist ebenfalls Konzentrationen in einem mäßigen Bereich (BK – 2 BK) auf.

Als Zwischenfazit aus dem erweiterten Monitoring ist festzuhalten, dass die Konzentrationen der Indikatorsubstanzen Clarithromycin, Diclofenac, Valsartan, Losartan, Candesartan und Gabapentin im Ablauf der Kläranlage Sankt Augustin die Zielwerte der D4-Liste des MKULNV zur Bewertung der Oberflächengewässer nach dem Monitoringprogramm gemäß EG-WRRL überschreiten. Ebenfalls überschritten werden der präventive Vorsorgewert für Acesulfam K und die UQN für PFOS sowie der Orientierungswert für Carbamazepin und der PNEC-Wert für Ciprofloxacin.

Tabelle 3-2: Ergebnisse des erweiterten Monitorings des Kläranlagenablaufs bei Trocken- und Regenwetter

		Einheit	UQN nach D4-Liste (Stand 2016 unveröffentlicht), präventive Vorsorgewerte, Orientierungswerte	Ablauf KA 15.11.- 16.11.2016	Ablauf KA 16.11.- 17.11.2016	Ablauf KA 28.11.- 29.11.2016	Ablauf KA 29.11.- 30.11.2016
Arzneimittelwirkstoffe und Metabolite	Carbamazepin	ng/L	500	490	250	1.800	2.400
	Ciprofloxacin	ng/L	36	54	51	56	12
	Clarithromycin	ng/L	100	950	160	1.400	1.900
	Diclofenac	ng/L	50	5.100	2.200	6.800	5.300
	Ibuprofen	ng/L	10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Metoprolol	ng/L	7.300	2.400	740	3.300	2.600
	Sulfamethoxazol	ng/L	600	320	85	590	460
	Valsartan	ng/L	100	3.000	1.600	2.700	2.200
	Losartan	ng/L	100	390	140	300	220
	Candesartan	ng/L	100	3.000	1.100	4.800	3.400
	Gabapentin	ng/L	100	9.100	3.600	15.000	12.000
	Guanylharstoff	ng/L	100	4.100	2.900	5.500	5.700
Pestizide	Mecoprop P	ng/L	100	< 10	11	12	12
	Terbutryn	ng/L	65	66	59	64	69
	Isoproturone	ng/L	300	39	39	22	25
	Flufenacet	ng/L	40	29	20	< 10	< 10
	Tebuconazol	ng/L	1.000	32	< 20	< 20	< 20
	Propiconazol	ng/L	1.000	44	< 20	< 20	< 20
Korrosions- schutzmittel	1H-Benzotriazol	ng/L	10.000	7.500	3.100	11.000	8.800
Süßstoffe	Acesulfam K	ng/L	100	870	520	2.000	1.700
Per- und Polyfluorierte Chemikalien	PFOA	ng/L	100	< 10	< 10	< 10	< 10
	PFOS	ng/L	0,65	7,5	8,5	18	7,1
	H 4-PFOS	ng/L	100	< 10	< 10	< 10	< 10
Moschus- duftstoffe	Galaxolid	ng/L	7.000	1000	860	1100	1100
	Tonalid	ng/L	3.500	< 200	< 200	< 200	< 200
	Östrogene Aktivität	ng _{EEQ} /L	0,4**	0,032	0,027	0,027	0,027

** trigger-value zur Bewertung der östrogenen Aktivität von Oberflächengewässern nach Kienle et al. (2015)

Zusätzlich zum erweiterten Monitoring des Kläranlagenablaufs und des Gewässers Sieg wurde in Sankt Augustin ein Monitoring zur Datenverdichtung für den Ablauf der Kläranlage durchgeführt. Dazu wurden

in Abstimmung mit der Bezirksregierung Köln die Stoffe Carbamazepin, Clarithromycin, Diclofenac, Metoprolol, Sulfamethoxazol, Terbutryn und 1H-Benzotriazol nach der Empfehlung des Kompetenzzentrums Mikroschadstoffe NRW und zusätzlich die beim erweiterten Monitoring in relativ hohen Konzentrationen gemessenen Stoffe Candesartan, Valsartan, Gabapentin, PFOS und Acesulfam K in einem fünf-tägigen Monitoring des Kläranlagenablaufs bei Trockenwetter analysiert. Die Proben wurden gezogen am 15.02., 16.02, 13.03, 14.03 und am 15.03.2017. Tabelle 3-3 fasst die dabei gemessenen Mikroschadstoffkonzentrationen der oben aufgeführten Substanzen zusammen. Die gemessenen Konzentrationen wurden, wie auch bereits beim erweiterten Monitoring, nach dem Bewertungsmaßstab in Tabelle 3-1 bewertet.

Tabelle 3-3: Ergebnisse des Monitorings zur Datenverdichtung im Ablauf der Kläranlage Sankt Augustin im Februar und März 2017

	Einheit	UQN nach D4-Liste (Stand 2016 unveröffentlicht), präventive Vorsorgewerte, Orientierungswerte	Ablauf KA 15.-16.02.2017	Ablauf KA 16.-17.02.2017	Ablauf KA 13.-14.03.2017	Ablauf KA 14.-15.03.2017	Ablauf KA 15.-16.03.2017
Carbamazepin	ng/L	500	970	1100	790	850	920
Clarithromycin	ng/L	100	2500	3000	700	700	710
Diclofenac	ng/L	50	4300	4500	2600	3000	3200
Metoprolol	ng/L	7.300	2100	2300	1200	1400	1600
Sulfamethoxazol	ng/L	600	290	360	220	250	250
Valsartan	ng/L	100	5500	5200	5600	5600	6800
Candesartan	ng/L	100	2600	2700	1300	1400	1600
Gabapentin	ng/L	100	9800	9500	7900	8100	9000
Terbutryn	ng/L	65	10	18	28	29	30
1H-Benzotriazol	ng/L	10.000	11000	9700	8400	10000	11000
Acesulfam K	ng/L	100	1600	1900	2300	1800	1900
PFOS	ng/L	0,65	9,4	8,4	10	9,2	12

Im Monitoring zur Datenverdichtung konnte bestätigt werden, dass es sich bei den Substanzen Valsartan, Candesartan, Gabapentin, Acesulfam K und PFOS um standortrelevante Substanzen handelt. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Konzentration von Acesulfam K auch in vielen anderen Kläranlagenabläufen hohe Werte in einem ähnlichen Bereich aufweist und Acesulfam K somit weniger eine standortrelevante Substanz als eher eine Indikatorsubstanz für kommunales Abwasser darstellt. Die Ergebnisse des erweiterten Monitorings konnten auch für die weiteren Substanzen bestätigt werden. Dabei konnten neben den bereits genannten Überschreitungen auch Überschreitungen der Bewertungskriterien für Clarithromycin, Diclofenac und Carbamazepin festgestellt werden. Das Korrosionsschutzmittel 1H-Benzotriazol weist ebenfalls in mehreren der Proben eine leichte Überschreitung des Bewertungskriteriums auf.

Vor dem Hintergrund, dass auch der ökologische Zustand der Sieg unterhalb der Einleitstelle als „mäßig“ bewertet wird und die Kläranlage Sankt Augustin die größte Kläranlage im Einzugsgebiet der Sieg ist, könnten zukünftig Maßnahmen zur Reduzierung der Mikroschadstoffe in den Maßnahmenprogrammen zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie gefordert werden.

3.2 Bromidkonzentrationen und Ozonzehrung

Aus Bromid kann bei der Ozonung des Kläranlagenablaufs das Transformationsprodukt Bromat gebildet werden, welches als potentiell kanzerogen gilt. Aus diesem Grund sind vorab die Bromid- und die Bromatkonzentrationen der beiden Trockenwetterproben des erweiterten Monitorings im Ablauf der Kläranlage ermittelt worden. Zusätzlich dazu wurden im Monitoring zur Datenverdichtung an fünf Tagen ebenfalls noch einmal die Bromidkonzentrationen bestimmt. Dabei wurden Bromidkonzentrationen zwischen 590 und 180 µg/L gemessen. Der Mittelwert lag dabei bei ca. 380 µg/L.

Tabelle 3-4: Ermittelte Konzentrationen von DOC, Bromid und Bromat im Kläranlagenablauf mit Zugabe von 5 und 10 mgO₃/L

		DOC mg/L	Bromid µg/L	Bromat µg/L	Z _{spez.} mgO ₃ /mgDOC
Ablauf Kläranlage 28.-29.11.2016	Ausgangsprobe	7,9	580	< 1,0	
	Zugabe 5 mgO ₃ /L		520	13	0,60
	Zugabe 10 mgO ₃ /L		450	52	1,2
Ablauf Kläranlage 29.-30.11.2016	Ausgangsprobe	7,4	590	< 1,0	
	Zugabe 5 mgO ₃ /L		520	22	0,68
	Zugabe 10 mgO ₃ /L		450	86	1,4

Die hohen Bromatkonzentrationen bei einer Zugabe von 10 mgO₃/L für die beiden Proben können durch die hohe spezifische Ozondosierung von > 1 mgO₃/mgDOC erklärt werden (siehe Tabelle 3-4). Üblicherweise liegt die spezifische Ozondosierung bei < 0,7 mgO₃/mgDOC. Bei einer Zugabe von 5 mgO₃/L liegt die spezifische Ozondosierung bei unter 0,7 mgO₃/mgDOC. Dabei wurden jedoch auch relativ hohe Bromatkonzentrationen von bis zu 22 µg/L gemessen. Aufgrund der hohen gemessenen Bromidkonzentrationen im Kläranlagenablauf und den vergleichsweise hohen Bromatkonzentrationen bei einer spezifischen Ozondosierung von < 0,7 mgO₃/mgDOC, liegen die Bromatwerte über dem Grenzwert von Bromat im Trinkwasser von 10 µg/L. Daher wird für den Fall, dass Ozon zur Entfernung von Mikroschadstoffen großtechnisch eingesetzt werden soll, empfohlen weitere Versuche zur Bromatbildung durch Ozon durchzuführen, um die Ergebnisse zu verifizieren. Sollten dabei ebenso hohe Bromid- bzw. Bromatkonzentrationen gemessen werden, sollte die Ozonung als Verfahrensvariante nicht mehr in Betracht gezogen werden und es sollte ein Verfahren mit Adsorption zur Mikroschadstoffelimination gewählt werden.

Zusätzlich zum Bromatbildungspotential wurde für den Kläranlagenablauf das Ozonzehrungsverhalten mit einer Zugabe von 5 bzw. 10 mgO₃/L bestimmt. Für den Ozonzehrungsversuch der Ablaufprobe vom 28.-29.11.2016 mit einer Ozonzugabe von 5 mgO₃/L, zeigt sich, dass nach ca. 2,5 Minuten kein gelöstes Ozon mehr detektiert werden kann. Bei einer Zugabe von 10 mgO₃/L beträgt die Zeit bis zur vollständigen Ozonzehrung ca. 15 Minuten. Die Ergebnisse des zweiten Ozonzehrungsversuchs mit der Ablaufprobe vom 29.-30.11.2016 zeigen bei einer Ozonzugabe von 5 mgO₃/L, dass nach ca. 7 Minuten kein gelöstes Ozon mehr detektiert werden kann. Bei einer Zugabe von 10 mgO₃/L beträgt die Zeit bis zur vollständigen Ozonzehrung ca. 15 Minuten.

3.3 Schüttelversuche mit Pulveraktivkohle

Zur Vorauswahl geeigneter Pulveraktivkohlen (PAK) und zur Überprüfung der notwendigen Dosiermenge wurden im Rahmen der Machbarkeitsstudie anhand von zwei Proben PAK-Schüttelversuche durchgeführt. Dabei wurden die Eliminationsleistungen von drei verschiedenen PAK-Sorten untersucht. Es wurde jeweils eine Dosierung von 10 und 20 mgPAK/L und die damit mögliche Elimination der Stoffe 1H-Benzotriazol, Carbamazepin, Clarithromycin, Diclofenac, Metoprolol, Sulfamethoxazol und Terbutryn ermittelt. In Tabelle 3-5 dargestellt sind die mittleren Eliminationsleistungen der drei Aktivkohlen für die vorgenannten Stoffe und die mittleren Eliminationsleistungen ohne Terbutryn in Anlehnung an die vom Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW empfohlenen Indikatorsubstanzen zur Bewertung der Reinigungsleistung. Die Eliminationsleistungen der Einzelsubstanzen sind dem Anhang zu entnehmen.

Tabelle 3-5: Eliminationsleistungen dreier unterschiedlicher Aktivkohlen für ausgewählte Mikroschadstoffe bei einer Dosierung von 10 und 20 mg_{PAK}/L

PAK-Dosierung		CSC	Donau Carbon	Jacobi Carbons
		PHC HL 1050 [%]	Carbopal AP [%]	AquaSorb 5000 P [%]
10 mg _{PAK} /L	29.11.2016	77	75	76
	30.11.2016	81	77	79
	Mittelwert	79	76	77
	Mittelwert ohne Terbutryn	78	74	75
20 mg _{PAK} /L	29.11.2016	88	82	84
	30.11.2016	90	86	89
	Mittelwert	89	84	87
	Mittelwert ohne Terbutryn	89	83	86

Aus den Ergebnissen der PAK-Schüttelversuche wird deutlich, dass mit einer Dosierung von 10 mg/L mittlere Eliminationsleistungen bezogen auf die oben genannten sieben Mikroschadstoffe zwischen 76 und 79 % erreicht werden können. Mit einer Dosierung von 20 mg_{PAK}/L können Eliminationsleistungen zwischen 84 und 89 % erreicht werden. Dabei zeigt die Kohle PHC HL 1050 von CSC die besten Ergebnisse für beide Dosierkonzentrationen. Betrachtet man die mittleren Eliminationsleistungen bezogen auf die vorgenannte Stoffauswahl ohne Terbutryn erreichen die Kohlen bei 10 mg_{PAK}/L 74-78 % bzw. mit 20 mg_{PAK}/L zwischen 83 und 89 %.

3.4 Auslegungswassermenge

Der mittlere Niedrigwasserabfluss (MNQ) der Sieg beträgt bei Menden 6.706 L/s. Für die Kläranlage Sankt Augustin liegt der Anteil des Kläranlagenablaufs (bei $Q_M = 4.536 \text{ m}^3/\text{h}$) am MNQ der Sieg bei Sankt Augustin bei knapp 20 %. In Abstimmung mit der Bezirksregierung Köln wird für die Machbarkeitsstudie die Betrachtung einer Teilstrombehandlung und zusätzlich eine Vollstrombetrachtung durchgeführt. Begründet ist dies unter anderem darin, dass es sich bei der Kläranlage Sankt Augustin um die größte Kläranlage im Einzugsgebiet der Sieg handelt. Die Auslegungswassermenge bei einer Teilstrombehandlung sollte mindestens dem nach ATV-DVWK A 198 bestimmten maximalen Trockenwetterabfluss $Q_{T,h,max}$ entsprechen (KOM-M.NRW, 2016). Weiterhin sind die Nachweise zu führen, dass mit der Auslegungswassermenge mindestens die gesamte Jahresschmutzwassermenge und 70 % der Jahresabwassermenge behandelt werden können.

Aus der Auswertung der Wassermengen wird deutlich, dass unerkannte Regentage vorliegen, z.B. aus Nachläufen oder Regenbeckenentleerungen. Bei der Auswertung für die Ermittlung der Auslegungswassermenge wurden daher lediglich die Trockenwettertage als tatsächliche Trockenwettertage berücksichtigt, deren Tagesabfluss kleiner als $38.280 \text{ m}^3/\text{d}$ ist. Aufgrund der oben erwähnten Unstimmigkeiten bei den Messungen bzw. der Bestimmung der Trockenwettertage wurde in Abstimmung mit der Bezirksregierung Köln die Auslegungswassermenge (Teilstrom) auf den Trockenwetterabfluss von $2.435 \text{ m}^3/\text{h}$ festgelegt, auf den die Kläranlage ausgelegt ist. Für die Vollstrombehandlung wird der maximale Mischwasserzufluss von $4.658 \text{ m}^3/\text{h}$ inkl. Filterspülwasser herangezogen.

Aus Abbildung 3-1 geht hervor, dass mit der Auslegungswassermenge von $2.435 \text{ m}^3/\text{h}$ ca. 87 % der Jahresabwassermenge behandelt werden können. Damit ist der geforderte Nachweis einer Behandlung

von mindestens 70 % der Jahresabwassermenge erbracht (KOM-M.NRW, 2016). Bei einer Jahresabwassermenge im Jahr 2014 in Höhe von 12.384.724 m³/a können in der Stufe zur Mikroschadstoffelimination jährlich 11.022.404 m³/a behandelt werden. Im Jahr 2015 können von der Jahresabwassermenge in Höhe von 13.566.830 m³/a 11.803.142 m³/a behandelt werden.

Im Falle einer konkreten Planung ist die Auslegungswassermenge der Anlage zur Mikroschadstoffelimination in Absprache mit den Genehmigungsbehörden festzulegen.

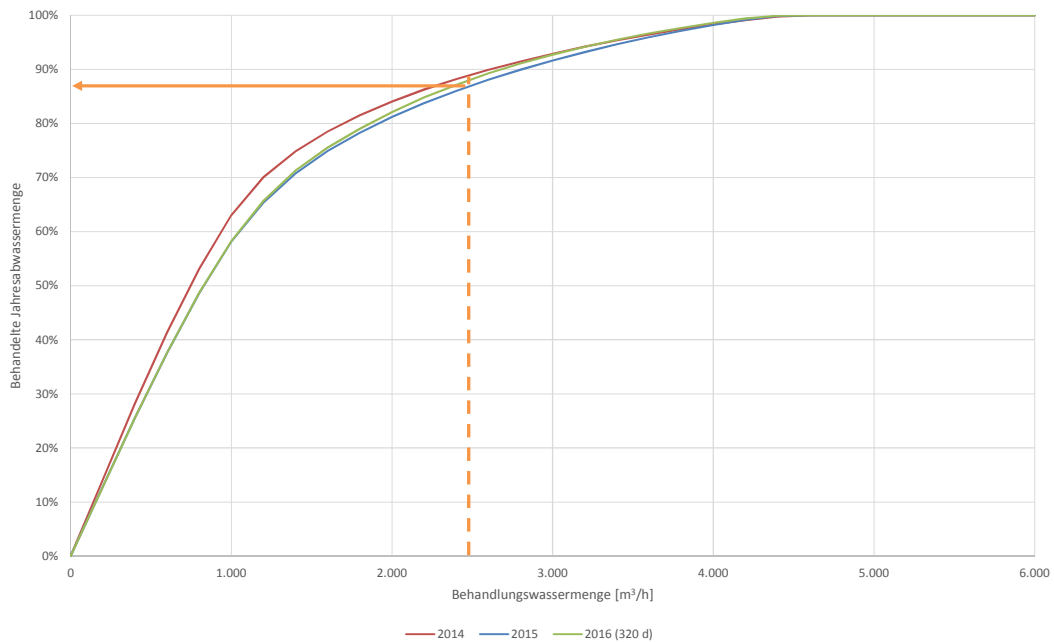


Abbildung 3-1: Auslegungswassermenge und damit behandelbare Jahresabwassermenge

3.5 Eliminationsraten

Die Auslegung der Stufe zur Mikroschadstoffelimination erfolgt derart, dass eine Elimination der am Standort in hohen Konzentrationen gemessenen Substanzen und der sensitiven Leitparameter Metoprolol, Carbamazepin, Clarithromycin, Diclofenac, Sulfamethoxazol, 1H-Benzotriazol und Terbutryn zu 80 % sichergestellt wird. Die Elimination wird ermittelt durch Messungen im Zulauf zur biologischen Stufe und dem Gesamtablauf der Kläranlage und bezieht sich auf die Summe der weiteren zu berücksichtigenden Substanzen für die Datenverdichtung und die Indikatorsubstanzen, siehe dazu Tabelle 3-6 (KOM-M.NRW, 2016). Durch die Bilanzierung zwischen dem Zulauf zur biologischen Stufe und dem Gesamtablauf der Kläranlage wird gewährleistet, dass bei Verfahren mit Pulveraktivkohle und der Rückführung dieser in die biologische Stufe, die dortige Elimination Berücksichtigung findet.

Tabelle 3-6: Weitere zu berücksichtigende Substanzen zur Datenverdichtung und Indikatorsubstanzen

Weitere zu berücksichtigende Substanzen zur Datenverdichtung	Indikatorsubstanzen (KOM-M.NRW, 2016)
Candesartan, Valsartan, Gabapentin, Acesulfam K und PFOS	Carbamazepin, Diclofenac, Metoprolol, Sulfamethoxazol, Clarithromycin, 1H-Benzotriazol

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

4 Ausarbeitung von technischen Anlagenkonzepten

4.1 Randbedingungen für mögliche Varianten und Variantenauswahl

Mögliche strukturelle Randbedingungen, die bei der Vorauswahl der zu betrachtenden Varianten zu berücksichtigen sind, sind die Nutzbarkeit vorhandener Bausubstanz, die Flächenverfügbarkeit für Neubauten und die Hydraulik der bestehenden Anlage.

Wie bereits beschrieben, kommt in der ZABA Sankt Augustin die Tuchfiltration zur Einbindung in eine Stufe zur Mikroschadstoffelimination in Frage. Dabei kann in die bestehenden Fällungs- bzw. Flockungskammern die PAK dosiert werden. Die Tuchfiltration ist zudem auch als Vor- bzw. Nachbehandlung im Rahmen der Ozonung und als Abscheideeinheit bei der PAK-Dosierung nutzbar.



Abbildung 4-1: Potentielle Flächen zum Bau einer Stufe zur Mikroschadstoffelimination auf der ZABA Sankt Augustin (ELWAS-WEB, 2016)

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 ZABA Sankt Augustin ist die Errichtung der Stufe zur Mikroschadstoffelimination an zwei verschiedenen Stellen auf der bestehenden Anlage möglich. Zum

einen kann der Bau auf einer Fläche südlich des Gebäudes der Tuchfiltration erfolgen, die zurzeit nicht genutzt wird. Eine Alternative stellt die Errichtung der vierten Stufe auf einer Fläche westlich des Betriebsgebäudes dar. Eine Veranschaulichung der möglichen Nutzungsflächen ist Abbildung 4-1 zu entnehmen.

Als drittes Kriterium bei der Auswahl möglicher Varianten ist die Hydraulik der bestehenden Anlage heranzuziehen. Ziel der Betrachtung ist es, den Pumpaufwand der einzelnen Varianten zu erkennen. Die Wasserspiegeldifferenz zwischen der Nachklärung und dem Zulauf zur Tuchfiltrationsanlage beträgt lediglich wenige cm. Die Einbindung einer Stufe zur Mikroschadstoffelimination an den Schacht vor der Tuchfiltration benötigt demnach eine Anhebung des Abwassers.

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 potentiell kanzerogenes Bromat gebildet werden kann. In Sankt Augustin wurden Bromidwerte bei Trockenwetter von 180 bis 590 µg/L gemessen. Zusätzlich zu den Bromidkonzentrationen wurde auch das Bromatbildungspotential für eine Ozonzugabe von 5 und 10 mg_{o3}/L bestimmt. Bei einer spezifischen Ozondosierung von ca. 0,7 mg_{o3}/mg_{DOC} wurden dabei Bromatkonzentrationen von 13 bzw. 22 µg/L gemessen. Vom Ökotoxzentrum wird für Bromat ein chronisches Qualitätskriterium (zulässige durchschnittliche Jahreskonzentration) von 50 µg/L vorgeschlagen (Ökotoxzentrum, 2017). Wird zudem die Verdünnung im Gewässer berücksichtigt, liegt der gemessene maximale Wert von 22 µg/L unter dem vorgeschlagenen Qualitätskriterium. Im Falle einer Umsetzung einer Variante mit Ozon sollten die gemessenen Werte zusätzlich verifiziert werden.

Zum anderen stellen die Konzentrationen der abfiltrierbaren Stoffe sowie die DOC-Konzentrationen 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 bzw. der gelöste Kohlenstoff bei der Elimination aus dem Abwasser Konkurrenzstoffe für die Mikroschadstoffe darstellen. Die angesetzte DOC-Konzentration liegt bei 7,6 mg/L. Der AFS wurde bei jeder Messung mit kleiner 10 mg/L angegeben. Die Konzentrationen liegen im für Anlagen zur Mikroschadstoffelimination unbedenklichen Bereich, so dass sich keine Einschränkungen hinsichtlich der Auswahl der zu betrachtenden Varianten ergeben. Im Fall einer großtechnischen Realisierung einer Stufe zur Mikroschadstoffelimination sollten die angenommenen Werte jedoch durch zusätzliche separate Messungen verifiziert werden.

Zu beachten ist, dass betriebliche Probleme mit der Nachklärung 4 bestehen. In den Tauchrohren der Nachklärung 4, aus denen das von Feststoffen befreite Abwasser ablaufen soll, kommt es bei Änderungen der hydraulischen Belastung zu Schlammablagerungen. Diese Probleme treten auch an den anderen Nachklärbecken auf, jedoch augenscheinlich nicht in dem gleichen Maße. Zu beachten ist, dass dies den Betrieb einer nachgeschalteten Stufe zur Mikroschadstoffelimination nachteilig beeinflussen kann. Daher ist bei einem Ausbau der Kläranlage darauf zu achten, die Nachklärung ggf. mit Unterstützung von CFD-Simulationen zu begutachten, um bauliche Änderungen am Einlaufbauwerk bzw. den Tauchrohren vorzusehen. Der Umbau der Nachklärung wird bei der kostentechnischen Bewertung in allen Varianten jeweils mitbetrachtet.

Bei Vergleich der im Monitoring zur Datenverdichtung bestätigten auffälligen Substanzen hinsichtlich der Eliminierbarkeit, ergibt sich für die Substanzen Valsartan, PFOS und 1H-Benzotriazol eine leicht höhere Tendenz zu einer Aktivkohlebehandlung. Für keine der auffälligen Substanzen liegt eine bessere Elimination mittels Ozon vor. Für Gabapentin, Acesulfam K, Carbamazepin, Clarithromycin, Losartan, Candesartan und Diclofenac ist die Eliminierbarkeit mit beiden Verfahren ähnlich. Somit ergibt sich für

die Aktivkohlebehandlung bezüglich der analysierten Substanzen eine geringfügig bessere Tendenz hinsichtlich deren Eliminierbarkeit.

Auf Basis der oben geschilderten Randbedingungen, können die grundsätzlich umsetzbaren Varianten für die Kläranlage Sankt Augustin ausgewählt werden. Es wurden die Varianten PAK-Dosierung in die Tuchfiltration, die PAK-Dosierung in eine separate Adsorptionsstufe, die Kombination aus Ozonung und nachfolgender PAK-Dosierung in die Tuchfiltration und die Ozonung mit biologischer Nachbehandlung in einem Wirbelbettreaktor und anschließender Tuchfiltration ausgewählt. Die Variante der PAK-Dosierung in eine separate Adsorptionsstufe wird mit einer platzsparenden Abscheideeinheit (Actiflo®-Carb) vorgesehen. Neben den vorgenannten Varianten wird zusätzlich die Variante der PAK-Dosierung in das Belebungsbecken mitbetrachtet.

Es werden für die nähere Betrachtung demnach die folgenden fünf Varianten detailliert ausgearbeitet:

- Variante 1: PAK-Dosierung in die Tuchfiltration
- Variante 2: PAK-Dosierung in ein separates Reaktionsbecken und Abscheidung in einem Kombibecken (ACTIFLO®-Carb)
- Variante 3: Vorgeschaltete Ozonung mit Wirbelbettreaktor und anschließende Tuchfiltration
- Variante 4: Kombination der vorgeschalteten Ozonung und PAK-Dosierung in die Tuchfiltration
- Variante 5: PAK-Dosierung in das Belebungsbecken

Die Berechnung der Varianten erfolgt jeweils für eine Teil- als auch für eine Vollstrombehandlung. Dabei werden für die Berechnung der Bedarfsmengen an Betriebsmitteln jeweils Lastfaktoren angesetzt. Mit Hilfe der Lastfaktoren soll die tatsächliche Auslastung der Stufe zur Mikroschadstoffelimination berücksichtigt werden. Sie geben an, wie hoch die tatsächliche Auslastung in Bezug zur angenommenen behandelten Wassermenge ist. Berechnet wurden die Lastfaktoren mittels der Jahresabwassermenge des Jahres 2014 und der jeweils mit der Teil- bzw. Vollstromwassermenge von 2.435 m³/h bzw. 4.658 m³/h auf ein Jahr hochgerechneten behandelbaren Wassermenge. Es wurde dabei das Jahr 2014 ausgewählt, da dieses Jahr repräsentativ bzgl. des Abwasserzuflusses zur Kläranlage Sankt Augustin ist. Für die Teilstrombehandlung wurde dabei ein Lastfaktor von 50 % und für die Vollstrombehandlung von 30% ermittelt. Für die Ermittlung des Lastfaktors bei Teilstrombehandlung werden dabei die mit der Teilstrombehandlungsmenge von 2.435 m³/h behandelbaren 87 % der Jahresabwassermenge angesetzt.

- Lastfaktor Teilstrom: $(12.384.724 \text{ m}^3/\text{a} \cdot 0,87) / (2.435 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 365 \text{ d/a} \cdot 24 \text{ h/d}) = 0,50 = 50 \%$
- Lastfaktor Vollstrom: $12.384.724 \text{ m}^3/\text{a} / (4.658 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 365 \text{ d/a} \cdot 24 \text{ h/d}) = 0,30 = 30 \%$

4.2 Variante 1: PAK-Dosierung in die Tuchfiltration

Die erste Variante für die Stufe zur Mikroschadstoffelimination auf der ZABA Sankt Augustin ist die PAK-Dosierung in die bestehende Tuchfiltration. Bei dieser Variante zur Mikroschadstoffelimination wird der gesamte Zulauf der Kläranlage behandelt. Für diese Variante sind lediglich die Dosiereinrichtung und das Silo für die PAK zusätzlich vorzusehen. Diese können auf einer Fläche südlich der Tuchfiltration aufgestellt werden (siehe Abbildung 4-2). Sollte die Betrachtung der Vollstrombehandlung eine Notwendigkeit zum Ausbau der Filtration ergeben, ist deren Erweiterung um bis zu 4 zusätzliche Filter möglich. Da bautechnisch diese Erweiterung bereits vorgesehen ist, sind zur Nachrüstung lediglich die eigentlichen Tuchfiltereinheiten nachzurüsten und die Zulaufvorrichtungen für diese zusätzlichen Beckenkapazitäten anzupassen. Für eine Anwendung mit Pulveraktivkohle sind auch die Polstoffe zu wechseln, da diese für den Einsatz bei PAK-Anwendung nicht geeignet sind. Es ist dazu ein Wechsel auf Mikrofasertücher vorzusehen. Statt der mit dem Standardpolstoff maximal möglichen Feststoffflächenbelas-

tion von 350 g/(m²*h) sind mit den Mikrofaserfiltertüchern maximal 200 g/(m²*h) möglich. Da die Filtration auf der ZABA Sankt Augustin zur Nachfällung des Phosphors eingesetzt wird und dies auch zukünftig so beibehalten werden soll, muss bei einer Umrüstung auf die Mikrofaserfiltertücher die maximale Filterflächenbelastung von 200 g/(m²*h) bei der Höhe der PAK-Dosierung berücksichtigt werden. Im Rahmen der Studie wird außerdem geprüft, ob der Ausbau der vorhandenen Reserve von 4 Filterkammern notwendig bzw. ausreichend ist, um die Filterflächenbelastung nicht zu überschreiten.

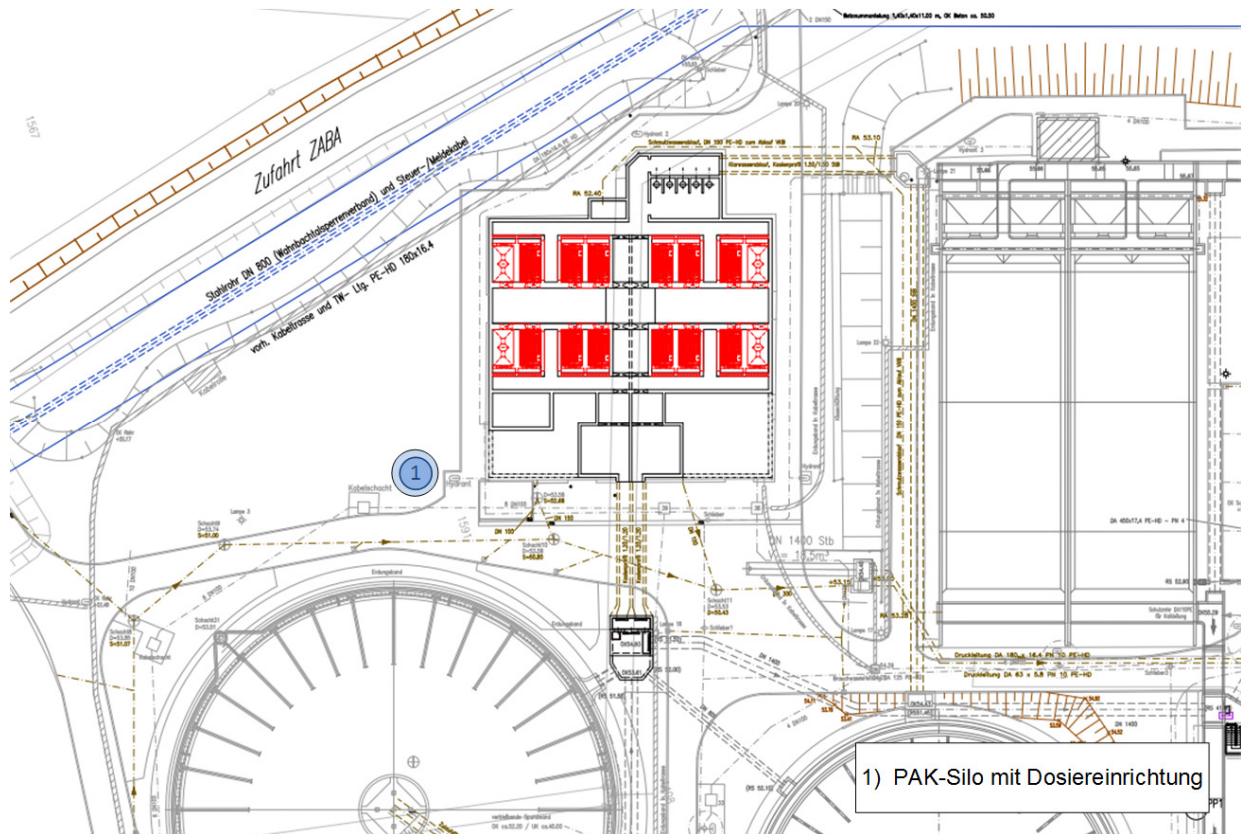


Abbildung 4-2: Anordnungsskizze der Variante 1 auf der ZABA Sankt Augustin

Aufgrund der vorliegenden PAK-Schüttelversuche, die bereits bei einer PAK-Dosierkonzentration von 10 mg_{PAK}/L Eliminationsleistungen von knapp unter 80 % aufwiesen und da durch den Abbau in der biologischen Stufe ebenfalls eine Mikroschadstoffelimination stattfindet, wird für die Variante 1 eine Dosierung in Höhe von 15 mg_{PAK}/L angesetzt. Die Dosierung der Aktivkohle erfolgt volumenstromabhängig. Für diese mittlere PAK-Dosierkonzentration spricht zusätzlich die Rückführung des Kohleschlammes in die biologische Stufe. Im Falle einer großtechnischen Umsetzung der Variante 1 ist die Annahme von 15 mg_{PAK}/L auf Grundlage der lokalen Abwassermatrix mit Hilfe von Laborversuchen zu verifizieren.

Neben der Dosierung von Pulveraktivkohle ist die Dosierung von Fällmitteln für Variante 1 nötig. Da bereits eine Fällmitteldosierung im Zulaufbereich des Tuchfilters besteht, wird davon ausgegangen, dass diese für eine Fällmitteldosierung genutzt werden kann. Die Dosierrate der bestehenden Fällmitteldosierung muss gegebenenfalls angepasst werden. Gegebenenfalls ist neben der Fällmitteldosierung auch eine Dosierung von Flockungshilfsmitteln notwendig. Auch dazu könnte die bestehende Flockungsmitteldosierstation genutzt werden.

4.3 Variante 2: PAK-Dosierung in ein separates Reaktionsbecken und Abscheidung in einem Kombibecken (ACTIFLO®-CARB)

Die zweite Variante ist die PAK-Dosierung in ein neu zu errichtendes Reaktionsbecken mit anschließender Abscheidung in einem Kombibecken (Actiflo®-Carb). Die Anlage wird dabei als vollständiger Neubau konzipiert.

Das Wasser wird zunächst dem separaten Reaktionsbecken zugeleitet und dort mit PAK beaufschlagt. 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 sind. Das Actiflo®-Verfahren besteht aus den vier Elementen Koagulationsbecken, Injektionsbecken, Reifebecken und Absetzbecken/ Lamellenklärer. Durch die Zugabe von Flockungsmitteln findet bereits in dieser Stufe eine P-Elimination statt, wodurch die nachgeschaltete P-Fällung in der Tuchfiltration reduziert werden kann.

Das Actiflo®-Verfahren wird verfahrenstechnisch der Nachklärung nachgeschaltet. Das Wasser wird dazu dem der Tuchfiltration vorgeschalteten Schacht entnommen. Da die zur Verfügung stehende Wasserspiegeldifferenz zwischen diesem Schacht und der Tuchfiltration für eine Beschickung im freien Gefälle nicht ausreichend ist, ist für diese Variante die Errichtung eines Pumpwerks notwendig, die das Wasser in das Reaktionsbecken anhebt. Die Errichtung der notwendigen Bauwerke für diese Variante wird auf der südlichen Fläche unterhalb der Nachklärung vorgesehen (siehe dazu Abbildung 4-3).

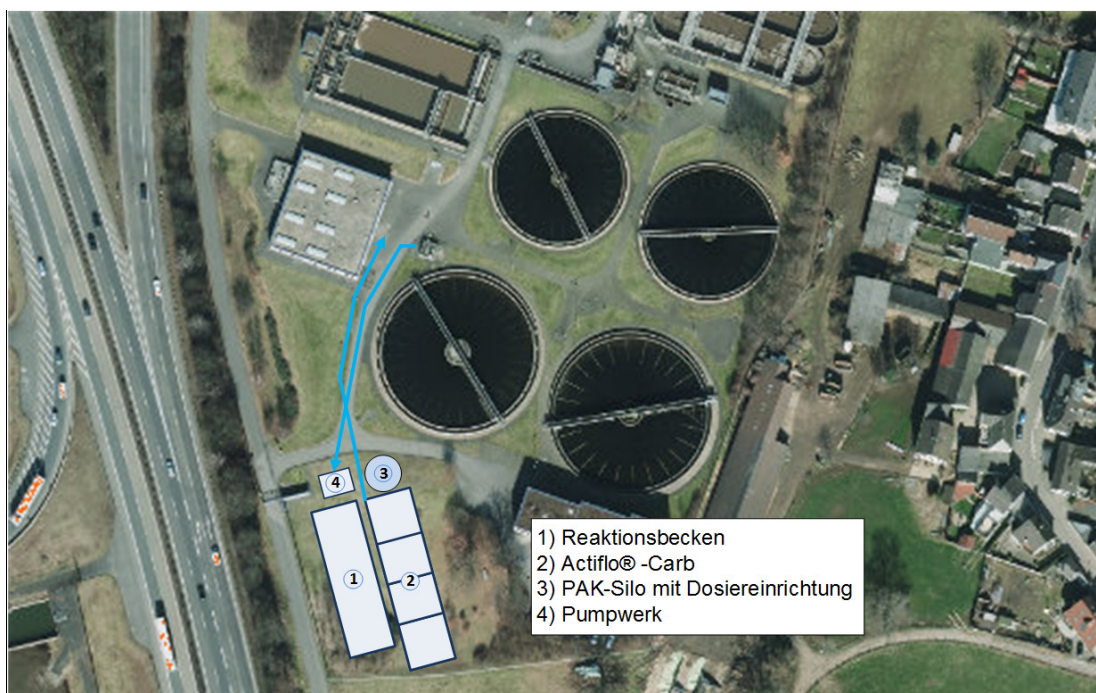


Abbildung 4-3: Lageplan mit Reaktionsbecken, Actiflo®-Carb-Einheit und PAK-Silo mit Dosiereinrichtung auf der Freifläche südlich der Nachklärung auf der ZABA Sankt Augustin

Als PAK-Dosierung wird eine Konzentration von $10 \text{ mg}_{\text{PAK}}/\text{L}$ vorgesehen, da bei den PAK-Schüttelversuchen bereits bei $10 \text{ mg}_{\text{PAK}}/\text{L}$ gute Eliminationsleistungen erreicht werden konnten. Die Dosierung der Aktivkohle erfolgt volumenproportional.

Neben der Dosierung von Pulveraktivkohle ist die Dosierung von Fällmitteln für die Variante nötig. Aufgrund der örtlichen Entfernung der bestehenden Fällmitteldosierung im Zulaufbereich des Filters sind bei dieser Variante die Fäll- und Flockungshilfsmitteldosierung neu einzurichten.

4.4 Variante 3: Vorgeschaltete Ozonung mit Wirbelbettreaktor und anschließende Tuchfiltration

Die Ozonung wird in der bestehenden Prozessfolge auf der ZABA Sankt Augustin der Nachklärung nachgeschaltet. Direkt nach der Ozonung durchläuft das Abwasser einen Wirbelbettreaktor zur biologischen Nachbehandlung. Als letzten Verfahrensschritt wird das Wasser in die Tuchfiltration geleitet und fließt von dort in die Sieg. Die Konzeption der Ozonanlage und des Wirbelbettreaktors erfolgt als Neubau auf der Freifläche südlich der Tuchfiltrationsanlage.

Das zu behandelnde Abwasser wird dem Vereinigungsbauwerk, in dem die Abwasserströme aus den Nachklärbecken zusammengeführt werden, entnommen. Die Ozonanlage wird neben der Filteranlage errichtet (Abbildung 4-4). Demnach ist die Verlegung einer Rohrleitung vom Vereinigungsbauwerk zur Ozonanlage notwendig. Die Ozonung ist in zwei Beckenbereiche unterteilt. Es findet im ersten Beckenbereich die Ozonung des Abwassers statt. Im Anschluss an die Behandlung mit Ozon wird das Abwasser dem Wirbelbettreaktor zugeleitet. Die Beschickung der Ozonanlage kann aufgrund der geringen Wasserspiegeldifferenzen nicht im freien Gefälle erfolgen. Daher ist das Abwasser vor Einleitung in den Ozonreaktor anzuheben. Für die vorliegende Ausarbeitung der technischen Anlagenkonzepte wird angenommen, dass unter diesen Umständen die Errichtung eines neuen Pumpwerks notwendig ist.

Um die AFS-Fracht im Zulauf zur Ozonanlage zu reduzieren, empfiehlt sich auch bei der Variante 3 die Optimierung der Nachklärung.

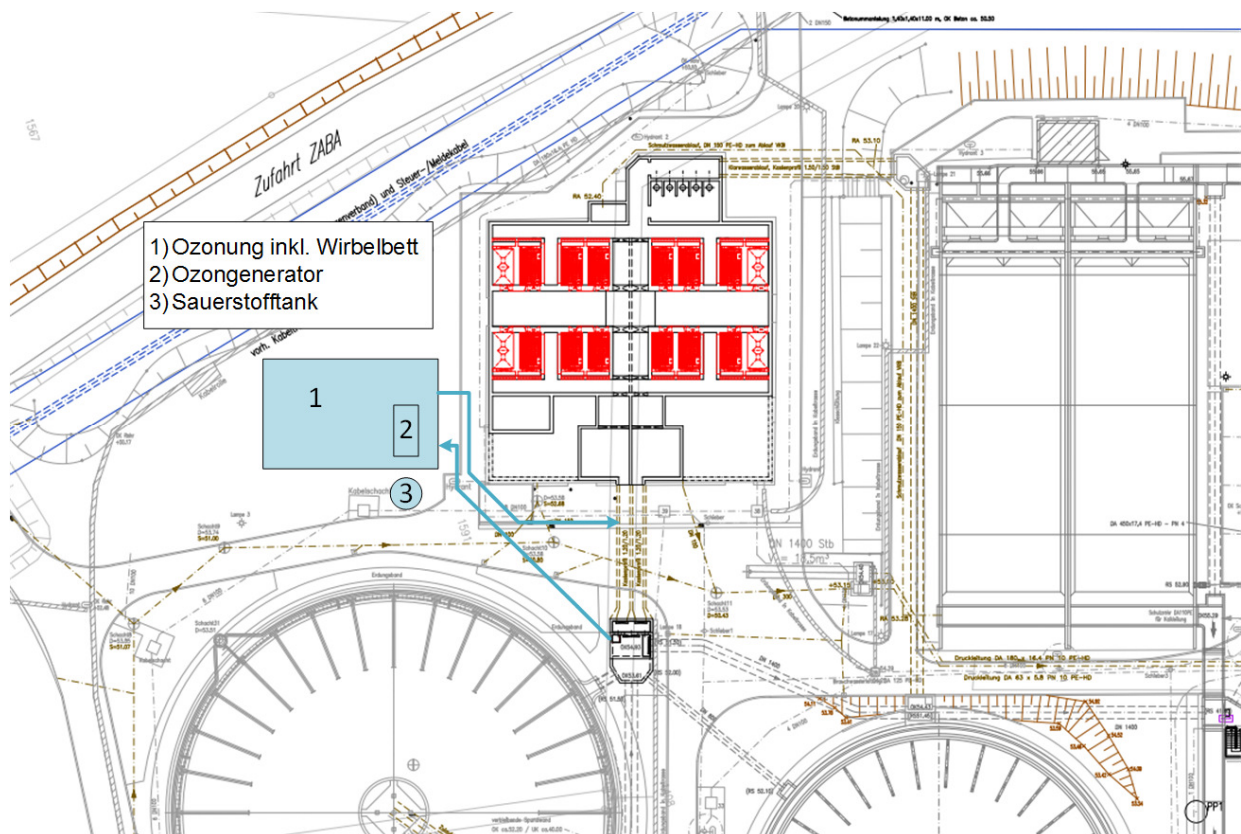


Abbildung 4-4: Anordnungsskizze der Variante 3 auf der ZABA Sankt Augustin

Die zusätzlich zum Kontaktreaktor erforderliche Maschinenteknik wie Ozongeneratoren, Restozonvernichter, EMSR-Technik etc. wird in einem neuen Betriebsgebäude untergebracht. Das Betriebsgebäude kann direkt über dem Ozonreaktor errichtet werden, da dieses Becken verfahrensbedingt abgedeckt werden muss.

4.5 Variante 4: Kombination der vorgeschalteten Ozonung und PAK-Dosierung in die Tuchfiltration

Ebenso wie bei Variante 3 wird die Ozonung der Nachklärung nachgeschaltet. Das Abwasser aus der Ozonung wird der Tuchfiltration zugeleitet. Dort wird dem Abwasser PAK zudosiert. Im Anschluss fließt das Abwasser in das Gewässer Sieg. Die Konzeption der Ozonanlage erfolgt als Neubau auf der Freifläche südlich der Tuchfiltrationsanlage. Die Dosiereinrichtung und das Silo für die PAK werden ebenfalls auf der Fläche südlich der Tuchfiltration vorgesehen (siehe Abbildung 4-5).

Das zu behandelnde Abwasser wird dem Vereinigungsbauwerk, in dem die Abwasserströme aus den Nachklärbecken zusammengeführt werden, entnommen. Dazu ist die Verlegung einer Rohrleitung vom Vereinigungsbauwerk zur Ozonanlage notwendig. Im Anschluss an die Behandlung mit Ozon wird das Abwasser zurück in den Zulaufkanal der Tuchfiltration geleitet. Die Planung sieht diesbezüglich vor, eine Rohrleitung von der Ozonanlage zum Verteilbauwerk der Tuchfiltration zu verlegen.

Die Beschickung der Ozonanlage kann aufgrund der geringen Wasserspiegeldifferenzen nicht im freien Gefälle erfolgen. Daher ist das Abwasser vor Einleitung in den Ozonreaktor anzuheben. Dies kann z.B. mittels einer Tauchmotorpumpe realisiert werden. Für die vorliegende Ausarbeitung der technischen Anlagenkonzepte wird angenommen, dass unter diesen Umständen die Errichtung eines Pumpwerks notwendig ist. Im Falle einer späteren Realisierung der Variante 4, sollte in der Vorplanung die Fragestellung der Hydraulik detailliert betrachtet werden.

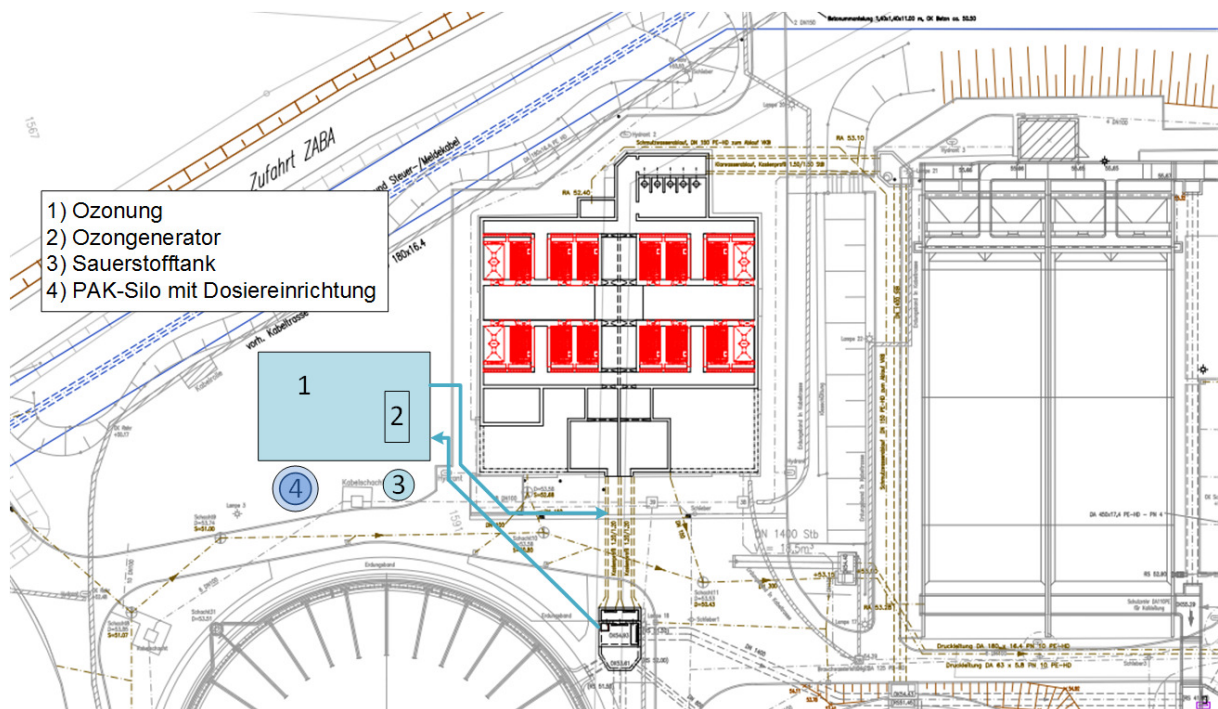


Abbildung 4-5: Anordnungsskizze der Variante 4 auf der ZABA Sankt Augustin

Die weiteren erforderlichen Elemente einer Ozonanlage, wie Flüssigsauerstofftank, Ozongeneratoren, Restozonvernichter sowie Mess- und Steuerungstechnik werden in einem neuen Betriebsgebäude untergebracht. Dieses kann auf dem Dach des Ozonbeckens vorgesehen werden.

Aufgrund der vorgeschalteten Ozonung wird davon ausgegangen, dass eine niedrigere PAK-Dosierung als bei der PAK-Dosierung in ein Reaktionsbecken und interner Rückführung (Variante 2) ausreichend ist. Daher wird für die geplante Variante 4 im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie eine Pulveraktivkohle-dosierung in Höhe von 8 mg_{PAK}/L angenommen.

Neben der Dosierung von Pulveraktivkohle ist die Dosierung von Fällmitteln für Variante 4 nötig. Da bereits eine Fällmitteldosierung im Zulaufbereich der Tuchfiltration besteht, kann diese für eine Fällmitteldosierung genutzt werden. Die Dosierate der bestehenden Fällmitteldosierung muss gegebenenfalls angepasst werden. Eventuell ist neben der Fällmitteldosierung auch eine Dosierung von Flockungshilfsmitteln notwendig. Auch dazu könnte die bestehende Flockungsmitteldosierstation genutzt werden.

4.6 Variante 5: PAK-Dosierung in das Belebungsbecken

Als Variante 5 wird für die ZABA Sankt Augustin die simultane PAK-Dosierung in das Belebungsbecken ausgearbeitet. Diese Variante ist nur als Vollstrombehandlung realisierbar, da es sich dabei nicht um eine separate Stufe, sondern um eine simultane Zugabe der PAK handelt. Eine Änderung der Prozessabfolge sowie hydraulische Anpassungen sind nicht notwendig. Für diese Variante ist lediglich die Zudosierung von PAK in das Belebungsbecken erforderlich. Eine Nachbehandlung ist für diese Variante nicht erforderlich. Die PAK wird durch die Nachklärung vom Abwasser getrennt und über den Überschussschlamm aus dem System entfernt. Über den Rücklaufschlamm gelangt sie zurück in den Zulauf der biologischen Stufe, wodurch die Verweilzeit der Kohle im System erhöht und die Beladung optimiert werden. Zusätzlich dazu dient die Tuchfiltration als Polzeifilter, um noch verbliebene PAK-Partikel zurückzuhalten.

Für diese Variante sind baulich ein PAK-Silo und die dazugehörige PAK-Dosiervorrichtung für den Eintrag der PAK in das Belebungsbecken vorzusehen.

Für die Variante 5 wird eine PAK-Dosierkonzentration von 20 mg_{PAK}/L vorgesehen. Begründet liegt diese im Vergleich zu den anderen Verfahren höhere PAK-Dosierkonzentration in der höheren organischen Belastung im Belebungsbecken im Vergleich zu den nachgeschalteten Verfahren.

Neben der Dosierung von Pulveraktivkohle kann die Dosierung von Fällmitteln und Flockungshilfsmitteln für Variante 5 nötig sein. Da bereits eine Fällmitteldosierung an der Dosierstelle für PAK besteht, wird davon ausgegangen, dass diese für eine Fällmitteldosierung genutzt werden kann. Die Dosierate der bestehenden Fällmitteldosierung muss gegebenenfalls angepasst werden. Für die Dosierung der Flockungshilfsmittel wird eine FHM-Polymerdosierstation eingeplant.

5 Vorzugsvarianten bei Teil- und Vollstrombehandlung

5.1 Vorgehensweise zur Ermittlung der Vorzugsvariante

Die Verfahrensempfehlung wird aufgrund der Bewertung verschiedener monetärer, betrieblicher und baulicher Aspekte ausgesprochen. 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. Bei der Ermittlung der Investitionskosten wird die mögliche Förderung des Landes NRW nicht mit einbezogen, was insbesondere für Varianten mit hohen Investitionskosten nachteilig sein kann. Ebenfalls unberücksichtigt bleiben Kostenreduzierungen der Abwasserabgabe z.B. durch eine weitergehende Reduzierung der CSB- und Phosphor-Konzentration im Kläranlagenablauf.

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

- die Eliminationsleistung bzgl. der Mikroschadstoffe
- die Beeinflussung der Reinigungsleistung der ZABA Sankt Augustin
- die Bildung von Nebenprodukten
- der Betriebs- und Wartungsaufwand
- der Stand der Technik – Wissenschaft (Umsetzung vergleichbarer Referenzlage bzw. Erfahrungen in unterschiedlichen Pilotprojekten oder Forschungsanlagen mit den vorgestellten Techniken) sowie
- der Flächenbedarf der Varianten auf der ZABA Sankt Augustin.

Für jeden Bewertungsaspekt werden anschließend Wichtungsfaktoren festgelegt, die den einzelnen Bewertungsaspekten unterschiedliche Bedeutung zumessen und in der Summe 100 % ergeben. Den monetären Bewertungsfaktoren wird dabei ebenso viel Bedeutung zugemessen wie den baulichen und betrieblichen Aspekten, weshalb die Wichtungsfaktoren beider Bereiche in Summe jeweils 50 % ergeben.

Dabei wurden bei der monetären Bewertung 15 Punkte an die Variante mit den niedrigsten Jahreskosten vergeben. Die Punkte der anderen Varianten wurden durch Multiplikation der maximal möglichen Punktzahl mit dem Verhältniswert aus niedrigsten Jahreskosten zu den Jahreskosten der zu bewertenden Variante abgemindert. Die Punkte der Varianten ergeben sich dabei wie folgt:

$$\text{Punkte Variante } x = 15 \text{ Punkte} * \text{JK}_{\min} \text{ Variante} / \text{JK Variante } x$$

Die eigentliche Bewertung der verschiedenen, nicht monetären Aspekte, erfolgt über die Vergabe von Punkten. Die höchste Punktzahl beträgt 15 Punkte Die jeweils zugeteilten Punkte werden anschließend entsprechend der Wichtungsfaktoren der einzelnen Bewertungsaspekte gewichtet und aufaddiert und ergeben in Summe die Gesamtpunktzahl einer Variante.

Im Rahmen der Kostenermittlung werden die Investitions- und Betriebskosten der Varianten bestimmt. Die Investitionskosten umfassen dabei die Kosten für Bau-, Maschinen- 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 die Bautechnik wird eine Abschreibungsdauer von 30 Jahren, für die Maschinentechnik von 15 Jahren und für die Elektrotechnik von 10 Jahren angenommen. Den Berechnungen wird der von den Leitlinien empfohlene reale Zinssatz von 3 % zugrunde gelegt. Die gesetzliche Umsatzsteuer ist in den Kosten nicht enthalten.

5.2 Vorzugsvarianten für die Teil- und Vollstrombehandlung

In Tabelle 5-2 sind die Ergebnisse der Bewertung zunächst für die Teilstrombehandlung für die ZABA Sankt Augustin aufgeführt. Es gilt, dass die größte Punktzahl der besten Bewertung entspricht und umgekehrt. Für die Bewertung wurde die Eliminationsleistung der Varianten mit PAK etwas besser eingestuft als für die Ozonvariante, da damit für die betrachteten Mikroschadstoffe leicht bessere Eliminationsleistungen zu erwarten sind. Zur Bewertung der Möglichkeit zur Bildung von Nebenprodukten wurde das Kriterium „Bildung von Nebenprodukten“ in das Bewertungsschema mit aufgenommen. Die Ozonvarianten werden hinsichtlich dieses Kriteriums als hoch eingestuft, da durch die vergleichsweise hohen Bromidkonzentrationen die Bromatbildung möglich ist. Bei Bestätigung der in Sankt Augustin gemessenen Bromidkonzentrationen, ist die Ozonung ganz auszuschließen. Die PAK-Varianten, bei denen die PAK zurück in die Belebung geführt wird, erhalten unter dem Bewertungskriterium „Allg. Beeinflussung der Reinigungsleistung der ZABA Sankt Augustin“ eine schlechtere Bewertung, da dadurch die Feststoffbelastung der Tuchfiltration erhöht wird.

Bei der Bewertung der Teilstrombehandlung erhält die Variante 2 „PAK in separates Reaktionsbecken und Abscheidung im Actiflo®-Carb“ die höchste Bewertung. Ausschlaggebend für die gute Bewertung der Variante 2 ist insbesondere die gute Bewertung bei den technischen Bewertungskriterien. Dabei ist insbesondere der geringe Einfluss auf die Reinigungsleistung der ZABA Sankt Augustin zu nennen. Auch bei den Betriebskosten kann diese Variante punkten. Die Variante 2 erhält bezüglich dieses Bewertungskriteriums eine höhere Punktzahl, da durch die zusätzliche Stufe bereits eine Phosphatfällung und ein AFS-Rückhalt stattfinden und die Feststoffbelastung der Tuchfiltration dadurch reduziert werden kann. Zusätzlich besteht bei dieser Variante die Möglichkeit, falls notwendig, den Schlammkreislauf von dem der Belebungsstufe zu trennen bzw. nur einen Teil des PAK-Schlammes in die Belebung zu führen.

Tabelle 5-1: Ranking der Varianten bei einer Teilstrombehandlung

Ranking	Variante
1. Empfehlung	Variante 2: PAK in separates Reaktionsbecken und Abscheidung im Actiflo®-Carb
2.	Variante 3: Ozonung mit NB im Wirbelbett (ggf. Ausschlusskriterium Bromat)
3.	Variante 5: PAK-Dosierung in das Belebungsbecken
4.	Variante 1: PAK-Dosierung in die Tuchfiltration
5.	Variante 4: Ozonung und PAK-Dosierung in die Tuchfiltration

Tabelle 5-2: Bewertungstabelle der betrachteten Varianten für die Teilstrombehandlung

Variante	Wichtung [%]	Variante 1			Variante 2			Variante 3			Variante 4			Variante 5		
		PAK-Dosierung in die Tuchfiltration			PAK in separates Reaktionsbecken und Abscheidung im Actiflo-Carb			Ozonung mit NB im Wirbelbett			Ozonung und PAK-Dosierung in die Tuchfiltration			PAK-Dosierung in das Belebungsbecken (Vollstrom)		
		Punkte	Wertung	Punkte	Wertung	Punkte	Wertung	Punkte	Wertung	Punkte	Wertung	Punkte	Wertung	Punkte	Wertung	
Investitionskosten (netto)		2.476.000 €		5.372.400 €		4.502.400 €		5.763.360 €		830.000 €						
Investiver Anteil der Jahreskosten (netto)	10%	180.438 €/a	6,1	355.196 €/a	3,1	339.697 €/a	0,3	460.775 €/a	2,4	73.278 €/a	15,0	1,5				
Betriebskosten (netto)	40%	491.030 €/a	9,7	450.242 €/a	10,5	316.057 €/a	4,2	573.879 €/a	8,3	551.441 €/a	8,6	3,4				
Wertungspunkte Monetär (gerundet)	50%	4,5			4,5			6,3			3,5			4,9		
Eliminationsleistung Mikroschadstoffe	7%	mittel-hoch	12,5	0,9	mittel-hoch	12,5	0,9	mittel (aufgrund PFOS)	10,0	0,7	hoch	15,0	1,1	mittel-hoch	12,5	0,9
Beeinflussung der Reinigungsleistung der ZABA Sankt Augustin	20%	hoch	5,0	1,0	sehr gut	15,0	3,0	mittel	10,0	2,0	hoch	5,0	1,0	hoch	5,0	1,0
Bildung von Nebenprodukten	5%	gering	15,0	0,8	gering	15,0	0,8	Hohes Bromatbildungspotential *	1,0	0,1	Hohes Bromatbildungspotential *	1,0	0,1	gering	15,0	0,8
Betriebs- und Wartungsaufwand	5%	mittel	10,0	0,5	mittel	10,0	0,5	mittel	10,0	0,5	hoch	5,0	0,3	mittel	10,0	0,5
Stand der Technik - Wissenschaft	8%	geringe großtechnische Erfahrung	5,0	0,4	bereits Anlage in Betrieb	15,0	1,2	bereits Anlagen in Betrieb	15,0	1,2	geringe großtechnische Erfahrung	5,0	0,4	geringe großtechnische Erfahrung	5,0	0,4
Flächenbedarf	5%	gering	15,0	0,8	hoch	5,0	0,3	hoch	5,0	0,3	hoch	5,0	0,3	gering	15,0	0,8
Wertungspunkte Technik (gerundet)	50%	4,3			6,6			4,7			3,0			4,3		
Gesamtpunkte (gerundet)	100%	8,7 Punkte			11,1 Punkte			11,0 Punkte			6,5 Punkte			9,2 Punkte		

* ggf. Ausschlusskriterium

In Tabelle 5-4 ist das Ergebnis der Bewertung der Varianten für die Vollstrombehandlung aufgeführt. Es gilt auch hier, dass die größte Punktzahl der besten Bewertung entspricht und umgekehrt.

Für die Vollstrombehandlung ändert sich die Rangfolge im Vergleich zur Teilstrombehandlung nicht. Auch hier erhält die Variante 2 „PAK in separates Reaktionsbecken und Abscheidung im Actiflo-Carb die höchste Gesamtpunktzahl. Für die gute Bewertung der Variante 2 bei der Vollstrombehandlung sind auch hier die technischen Bewertungskriterien zu nennen. Das Ranking der Varianten für die Vollstrombehandlung ist der Tabelle 5-3 zu entnehmen.

Tabelle 5-3: Ranking der Varianten bei Vollstrombehandlung

Ranking	Variante
1. Empfehlung	Variante 2: PAK in separates Reaktionsbecken und Abscheidung im Actiflo®-Carb
2.	Variante 3: Ozonung mit NB im Wirbelbett (ggf. Ausschlusskriterium Bromat)
3.	Variante 5: PAK-Dosierung in das Belebungsbecken
4.	Variante 1b: PAK-Dosierung in die Tuchfiltration
5.	Variante 4b: Ozonung und PAK-Dosierung in die Tuchfiltration

Tabelle 5-4: Bewertungstabelle der betrachteten Varianten für die Vollstrombehandlung

Variante	Wichtung [%]	Variante 1b			Variante 2			Variante 3			Variante 4b			Variante 5		
		PAK-Dosierung in die Tuchfiltration + Erweiterung Tuchfiltration			PAK in separates Reaktionsbecken und Abscheidung im Activflo-Carb			Ozonung mit NB im Wirbelbett			Ozonung und PAK-Dosierung in die Tuchfiltration + Erweiterung Tuchfiltration			PAK-Dosierung in das Belebungsbecken		
		Punkte	Wertung	Punkte	Wertung	Punkte	Wertung	Punkte	Wertung	Punkte	Wertung	Punkte	Wertung			
Investitionskosten (netto)		6.285.000 €		7.667.400 €		6.080.400 €		9.352.360 €		830.000 €						
Investiver Anteil der Jahreskosten (netto)	10%	437.415 €/a	2,5	492.276 €/a	2,2	429.867 €/a	2,6	673.083 €/a	1,6	73.278 €/a	15,0	1,5				
Betriebskosten (netto)	40%	567.565 €/a	12,2	648.263 €/a	10,7	460.697 €/a	15,0	639.533 €/a	10,8	551.441 €/a	12,5	5,0				
Wertungspunkte Monetär (gerundet)	50%	5,1			4,5			6,3			4,5			6,5		
Eliminationsleistung Mikroschadstoffe	7%	mittel-hoch	12,5	0,9	mittel-hoch	12,5	0,9	mittel (aufgrund PFOS)	10,0	0,7	hoch	15,0	1,1	mittel-hoch	12,5	0,9
Allg. Beeinflussung der Reinigungsleistung der ZABA Sankt Augustin	20%	hoch	5,0	1,0	sehr gut	15,0	3,0	mittel	10,0	2,0	hoch	5,0	1,0	hoch	5,0	1,0
Bildung von Nebenprodukten	5%	gering	15,0	0,8	gering	15,0	0,8	Hohes Bromatbildungspotential *	1,0	0,1	Hohes Bromatbildungspotential *	1,0	0,1	gering	15,0	0,8
Betriebs- und Wartungsaufwand	5%	mittel	10,0	0,5	mittel	10,0	0,5	mittel	10,0	0,5	hoch	5,0	0,3	mittel	10,0	0,5
Stand der Technik - Wissenschaft	8%	geringe großtechnische Erfahrung	5,0	0,4	bereits Anlage in Betrieb	15,0	1,2	bereits Anlagen in Betrieb	15,0	1,2	geringe großtechnische Erfahrung	5,0	0,4	geringe großtechnische Erfahrung	5,0	0,4
Flächenbedarf	5%	gering	15,0	0,8	hoch	5,0	0,3	hoch	5,0	0,3	hoch	5,0	0,3	gering	15,0	0,8
Wertungspunkte Technik (gerundet)	50%	4,3			6,6			4,7			3,0			4,3		
Gesamtpunkte (gerundet)	100%	9,4 Punkte			11,1 Punkte			11,0 Punkte			7,5 Punkte			10,8 Punkte		

* ggf. Ausschlusskriterium

5.3 Kosten für das zu errichtende Pumpwerk

Da für die Varianten 2 bis 4 die Errichtung eines Pumpwerks zur Anhebung des Wassers in die jeweilige Verfahrensstufe notwendig ist, werden die dafür anzusetzenden Kosten im Folgenden dargestellt. Die Kosten für die Errichtung und den Betrieb des Pumpwerks werden separat aufgeführt, da sie nicht in allen Varianten zu berücksichtigen sind. Es erfolgt eine getrennte Betrachtung sowohl für eine Teilstrombehandlung von 2.435 m³/ als auch für die Vollstrombehandlung von 4.658 m³/h. Es wird davon ausgegangen, dass das Wasser ca. 1 m in die Becken angehoben werden muss. Im Rahmen einer Umsetzung einer der Varianten ist diese Annahme zu verifizieren. Zu berücksichtigen ist, dass die Baukosten für das neu zu errichtende Pumpwerk in Verbindung mit dem Neubau von Bausubstanz bzw. Becken deutlich günstiger ist, als bei einem alleinigen Neubau eines Pumpwerks.

In Tabelle 5-5 sind die Kosten für das Pumpwerk bei einer Teilstrombehandlung aufgeführt. Die Investitionskosten belaufen sich auf 323.400 € woraus inklusive der Betriebskosten von 17.944 €/a Jahreskosten von 47.724 €/a resultieren.

Tabelle 5-5: Kosten für das neu zu errichtende Pumpwerk bei einer Teilstrombehandlung

Investitionskosten			Betrach- tungs- zeitraum	Nutzungs- dauer 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			
Zulaufpumpwerk												
Bauwerk	KG 300	15.400 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			786 €/a	
Pumpen	KG 400	180.000 €	30	MT	15	3,0%	0,0510	15	0,6419		15.078 €/a	
E / MSR - Technik	KG 400	63.000 €	30	ET	10	3,0%	0,0510	10	0,7441	20	0,5537	10.600 €/a
Baunebenkosten	KG 700	65.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			3.316 €/a	
Summe		323.400 €										29.780 €/a

laufende Kosten	Kennwerte	Betriebsmittelbedarf bei					spezifische Kosten	Kosten pro Tag	Betriebskosten 0 m ³ /a
		Wassermenge 2.435 m ³ /h pro Stunde	pro TW-Tag 24 h/d	mit Lastfaktor	pro Tag	pro Tag			
Energie Zulaufpumpwerk	13,3 kWh	13,3 kWh/h	318,5 kW/d	50%	159,2	0,18 €/kWh	28,7 €	10.462 €/a	
Instandhaltung (1,25 % BT, 3% MT/ET)								7.483 €/a	
Summe								17.944 €/a	

Jahreskosten (netto)	11.022.404 m ³ /a	behandelte Wassermenge	0,004 € pro m ³	47.724 €/a
-----------------------------	------------------------------	------------------------	----------------------------	-------------------

Die Kosten durch die Errichtung eines neuen Pumpwerks bei einer Vollstrombehandlung sind in Tabelle 5-6 dargestellt. Es fallen dabei Investitionskosten von 475.400 € an. Die Jahreskosten belaufen sich auf 58.682 €/a.

Tabelle 5-6: Kosten für das neu zu errichtende Pumpwerk bei einer Vollstrombehandlung

Investitionskosten			Betrach- tungs- zeitraum	Nutzungs- dauer 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			
Zulaufpumpwerk												
Bauwerk	KG 300	15.400 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			786 €/a	
Pumpen	KG 400	270.000 €	30	MT	15	3,0%	0,0510	15	0,6419		13.775 €/a	
E / MSR - Technik	KG 400	95.000 €	30	ET	10	3,0%	0,0510	10	0,7441	20	0,5537	15.984 €/a
Baunebenkosten	KG 700	95.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			4.847 €/a	
Summe		475.400 €										35.391 €/a

laufende Kosten	Kennwerte	Betriebsmittelbedarf bei				spezifische Kosten	Kosten pro Tag	Betriebskosten 0 m³/a
		Wassermenge 4.658 m³/h pro Stunde	pro TW-Tag 24 h/d	mit Lastfaktor	pro Tag			
Energie Zulaufpumpwerk	25,4 kWh	25,4 kWh/h	609,2 kW/d	30%	184,9	0,18 €/kWh	33,3 €	12.149 €/a
Instandhaltung (1,25 % BT, 3% MT/ET)								11.143 €/a
Summe								23.291 €/a

Jahreskosten (netto)	12.384.724 m³/a	behandelte Wassermenge	0,005 € pro m³	58.682 €/a
-----------------------------	-----------------	------------------------	----------------	-------------------

5.4 Kosten der Vorzugsvarianten bei Teil- und Vollstrombehandlung

Teilstrom

Die Berechnung der Kosten für die Vorzugsvariante 2 bei Teilstrombehandlung ist der Tabelle 5-7 zu entnehmen. Dabei sind die Kosten für das erforderliche Pumpwerk noch nicht mit einberechnet. Darin aufgeführt sind Investitionskosten in Höhe von 5.049.000 € und jährliche Betriebskosten in Höhe von 432.297 €/a. Der investive Anteil der Jahreskosten beträgt 325.417 €/a, woraus Jahreskosten in Höhe von 757.714 €/a resultieren. Die spezifischen Kosten pro Kubikmeter behandeltem Abwasser betragen 0,07 €/m³.

Wesentlich zu den Betriebskosten tragen die Anschaffung der PAK, die Energiekosten für das Actiflo®-Verfahren sowie die Entsorgung des Schlammes bei.

Tabelle 5-7: Kosten der Variante 2 bei Teilstrombehandlung „PAK-Dosierung in ein separates Kontaktbecken und Abscheidung in einem Kombibecken (Actiflo®-Carb)“

Investitionskosten			Betrach- tungs- zeitraum	Nutzungs- dauer n	Zinssatz i	KFAKR (i;n)	Re- invest nach	DFAKE (i;n)	Re-invest nach	DFAKE (i;n)	Investiver Anteil der Jahreskosten	
Variante 2: PAK in separates Reaktionsbecken und Abscheidung im Actiflo-Carb	KG	€										Jahre
Zu/Ablaufanbindung												
Rohrleitungen/Betonarbeiten	KG 300	200.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			10.204 €/a	
Adsorptionsstufe												
Baukonstruktion	KG 300	2.500.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			127.548 €/a	
Technische Anlagen	KG 400	500.000 €	30	MT	15	3,0%	0,0510	15	0,6419		41.883 €/a	
PAK Lager- & Dosiereinrichtung												
Technische Anlagen	KG 400	320.000 €	30	MT	15	3,0%	0,0510	0	1,0000		32.652 €/a	
Gründung	KG 300	25.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			1.275 €/a	
Polymerstation Lager- & Dosiereinrichtung												
Technische Anlagen	KG 400	20.000 €	30	MT	15	3,0%	0,0510	15	0,6419		1.675 €/a	
Gründung	KG 300	10.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			510 €/a	
E-Raum												
Baukonstruktion	KG 300	40.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			2.041 €/a	
E / MSR - Technik	KG 400	294.000 €	30	ET	10	3,0%	0,0510	10	0,7441	20	0,5537	49.465 €/a
Wegeanbindung/Außenanlagen etc.	KG 500	20.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			1.020 €/a	
Optimierung Nachklärung												
CFD-Simulation	KG 700	10.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			510 €/a	
Änderung Zu-/ Ablaufbedingungen	KG 300	100.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			5.102 €/a	
Baunebenkosten	KG 700	1.010.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			51.529 €/a	
Summe		5.049.000 €									325.417 €/a	

Laufende Kosten	Kennwerte	Betriebsmittelbedarf bei				spezifische Kosten	Kosten pro Tag	Betriebskosten 11.022.404 m³/a
		Wassermenge 2.435 m³/h pro Stunde	pro TW-Tag 24 h/d	mit Lastfaktor	pro Tag			
PAK	10 g PAK/m³	24,4 kg/h	584,4 kg/d	50%	292,2	1,8 €/kg	526,0 €	191.975 €/a
Lösewasser	0,05 m³/kg PAK	1,2 m³/h	29,2 m³/d	50%	14,6	1 €/m³	14,6 €	5.333 €/a
Fällmittel (Wirksubstanz)	0,10 kgFe/kgPAK	2,4 kg/h	58,4 kg/d	50%	29,2			
(Fällmittelmenge)	0,138 kgFe/kgFM				211,7	0,15 €/kg	31,8 €	11.593 €/a
Mikrosand	pauschal							1.000 €/a
Polymerdosierung	0,6 gFHM/m³	1,5 kg/h	35,1 kg/d	67%	23,5	3 €/kg	15,7 €	5.745 €/a
Energie PAK-Dosierung	0,5 kWh	0,5 kWh/h	12 kW/d	67%	8,0	0,18 €/kWh	1,4 €	528 €/a
Energie Räumsystem	1 kWh	1,0 kWh/h	24 kW/d	67%	16,1	0,18 €/kWh	2,9 €	1.056 €/a
Energie Überschusshleabzug	4 kWh	4,0 kWh/h	96 kW/d	67%	64,3	0,18 €/kWh	11,6 €	4.226 €/a
Energie Rezirkulation (PAK und Mikrosand)	30,0 kWh	30,0 kWh/h	720 kW/d	67%	482,4	0,18 €/kWh	86,8 €	31.694 €/a
Energie Umwälzung Kontaktbecken	3,0 kWh	3,0 kWh/h	72 kW/d	67%	48,2	0,18 €/kWh	8,7 €	3.169 €/a
Energie Umwälzung Koagulations- Injektionsbecken	30,0 kWh	30,0 kWh/h	720 kW/d	67%	482,4	0,18 €/kWh	86,8 €	31.694 €/a
Energie Umwälzung Reifebecken	30,0 kWh	30,0 kWh/h	720 kW/d	67%	482,4	0,18 €/kWh	86,8 €	31.694 €/a
Schlammensorgung	27 %TS	0,001 m³/h	0,02 m³/d		1,4	66,9 €/m³	90,5 €	33.033 €/a
Pulveraktivkohle	100 % von PAK	24,4 kg/h	584,4 kg/d	50%	292,2			69.958 €/a
Fällschlamm	2,5 kgTS/kgFe	6,1 kg/h	146,1 kg/d	50%	73,1			9.600 €/a
Instandhaltung (1,25 % BT, 3% MT/ET)								
Personalkosten	20 h/Monat					40 €/h	38 €	
Summe								432.297 €/a
Jahreskosten (netto)		11.022.404 m³/a	behandelte Wassermenge			0,07 € pro m³		757.714 €/a
Variante 2								

Vollstrom

Die Berechnung der Kosten für die Variante 2 bei Vollstrombehandlung ist der Tabelle 5-8 zu entnehmen. Dabei sind die Kosten für das erforderliche Pumpwerk noch nicht mit einberechnet. Darin aufgeführt sind Investitionskosten in Höhe von 7.192.000 € und jährliche Betriebskosten in Höhe von 624.972 €/a. Der investive Anteil der Jahreskosten beträgt 456.884 €/a, woraus Jahreskosten in Höhe von 1.081.856 €/a resultieren. Die spezifischen Kosten pro Kubikmeter behandeltem Abwasser betragen 0,09 €/m³.

Die wesentlichen Kostenfaktoren dieser Variante sind die Betriebsmittelkosten insbesondere für die Pulveraktivkohle, die Kosten für die Entsorgung des Schlammes sowie die Kosten für das Fällmittel.

Tabelle 5-8: Kosten der Variante 2 bei Vollstrombehandlung „PAK-Dosierung in separates Kontaktbecken und Abscheidung im Kombibecken (Actiflo®-Carb)“

Investitionskosten				Betrach-tungs-zeitraum	Nutzungsdauer n	Zinssatz i	KFAKR (i;n)	Re-invest nach	DFAKE (i;n)	Re-invest nach	DFAKE (i;n)	Investiver Anteil der Jahreskosten	
Variante 2: PAK in separates Reaktionsbecken und Abscheidung im Actiflo-Carb													
				Jahre			Jahren		Jahren				
Zu/Ablaufanbindung													
	Rohrleitungen/Betonarbeiten	KG 300	200.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			10.204 €/a	
Adsorptionsstufe													
	Baukonstruktion	KG 300	4.000.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			204.077 €/a	
	Technische Anlagen	KG 400	800.000 €	30	MT	15	3,0%	0,0510	15	0,6419		67.013 €/a	
PAK Lager- & Dosiereinrichtung													
	Technische Anlagen	KG 400	320.000 €	30	MT	15	3,0%	0,0510	0	1,0000		32.652 €/a	
	Gründung	KG 300	25.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			1.275 €/a	
Polymerstation Lager- & Dosiereinrichtung													
	Technische Anlagen	KG 400	20.000 €	30	MT	15	3,0%	0,0510	15	0,6419		1.675 €/a	
	Gründung	KG 300	10.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			510 €/a	
E-Raum													
	Baukonstruktion	KG 300	40.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			2.041 €/a	
E / MSR - Technik													
		KG 400	399.000 €	30	ET	10	3,0%	0,0510	10	0,7441	20	0,5537	67.132 €/a
Wegeanbindung/Außenanlagen etc.													
		KG 500	20.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			1.020 €/a	
Optimierung Nachklärung													
	CFD-Simulation	KG 700	10.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			510 €/a	
	Änderung Zu-/ Ablaufbedingungen	KG 300	100.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			5.102 €/a	
Baunebenkosten													
		KG 700	1.248.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			63.672 €/a	
Summe			7.192.000 €									456.884 €/a	

Laufende Kosten	Kennwerte	Betriebsmittelbedarf bei						
		Wassermenge 4.658 m³/h pro Stunde	pro TW-Tag 24 h/d		mit Lastfaktor pro Tag	spezifische Kosten	Kosten pro Tag	Betriebskosten 12.384.724 m³/a
			pro Stunde	pro Tag				
PAK	10 g PAK/m³	46,6 kg/h	1.117,9 kg/d	30%	335,4	1,8 €/kg	603,7 €	220.342 €/a
Lösewasser	0,05 m³/kg PAK	2,3 m³/h	55,9 m³/d	30%	16,8	1 €/m³	16,8 €	6.121 €/a
Fällmittel (Wirksubstanz)	0,10 kgFe/kgPAK	4,7 kg/h	111,8 kg/d	67%	74,5			
(Fällmittelmenge)	0,138 kgFe/kgFM pauschal				540,1	0,15 €/kg	81,0 €	29.568 €/a
Mikrosand								1.000 €/a
Polymerdosierung	0,6 gFHM/m³	2,8 kg/h	67,1 kg/d	67%	44,9	3 €/kg	30,1 €	10.990 €/a
Energie PAK-Dosierung	0,5 kWh	1,0 kWh/h	23 kW/d	67%	15,4	0,18 €/kWh	2,8 €	1.010 €/a
Energie Räumsystem	1 kWh	1,9 kWh/h	46 kW/d	67%	30,8	0,18 €/kWh	5,5 €	2.021 €/a
Energie Überschusskohleabzug	4 kWh	7,7 kWh/h	184 kW/d	67%	123,0	0,18 €/kWh	22,1 €	8.084 €/a
Energie Rezirkulation (PAK und Mikrosand)	30,0 kWh	57,4 kWh/h	1.377 kW/d	67%	922,8	0,18 €/kWh	166,1 €	60.628 €/a
Energie Umwälzung Kontaktbecken	3,0 kWh	5,7 kWh/h	138 kW/d	67%	92,3	0,18 €/kWh	16,6 €	6.063 €/a
Energie Umwälzung Koagulations-Injektionsbecken	30,0 kWh	57,4 kWh/h	1.377 kW/d	67%	922,8	0,18 €/kWh	166,1 €	60.628 €/a
Energie Umwälzung Reifebecken	30,0 kWh	57,4 kWh/h	1.377 kW/d	67%	922,8	0,18 €/kWh	166,1 €	60.628 €/a
Schlamm Entsorgung	27 %TS	0,00 m³/h	0,0 m³/d		1,9	66,9 €/m³	129,3 €	47.182 €/a
Pulveraktivkohle	100 % von PAK	46,6 kg/h	1.117,9 kg/d	30%	335,4			
Fällschlamm	2,5 kgTS/kgFe	11,6 kg/h	279,5 kg/d	67%	186,3			
Instandhaltung (1,25 % BT, 3% MT/ET)								101.108 €
Personalkosten	20 h/Monat					40 €/h	38 €	9.600 €/a
Summe								624.972 €/a

Jahreskosten (netto)			
Variante 2	12.384.724 m³/a	behandelte Wassermenge	0,09 € pro m³
			1.081.856 €/a

6 Empfehlung

6.1 Erfordernis zur Mikroschadstoffelimination

Anhaltspunkte für das Erfordernis zum Ausbau der ZABA Sankt Augustin ist der Zustand der Sieg, die der Kläranlage als Vorfluter dient und zurzeit einen mäßigen ökologischen Zustand aufweist. Im Rahmen des erweiterten Monitorings wurden für mehrere Parameter aus der Gruppe der Arzneimittelwirkstoffe, Süßstoffe und für PFOS Überschreitungen der Bewertungskriterien im Ablauf der Kläranlage festgestellt. Diese Überschreitungen wurden auch im Monitoring zur Datenverdichtung bestätigt. Die entsprechenden Substanzen und die Höhe der Überschreitung im Rahmen des Monitorings zur Datenverdichtung sind der Tabelle 6-1 zu entnehmen.

Tabelle 6-1: Zusammenfassung der Überschreitungen der Bewertungskriterien im Ablauf der Kläranlage Sankt Augustin aus dem Monitoring zur Datenverdichtung

		UQN nach D4-Liste (Stand 2016 unveröffentlicht), präventive Vorsorgewerte, Orientierungswerte	Ablauf KA 15.-16.02.2017	Ablauf KA 16.-17.02.2017	Ablauf KA 13.-14.03.2017	Ablauf KA 14.-15.03.2017	Ablauf KA 15.-16.03.2017
Carbamazepin	ng/L	500	970	1100	790	850	920
Clarithromycin	ng/L	100	2500	3000	700	700	710
Diclofenac	ng/L	50	4300	4500	2600	3000	3200
Valsartan	ng/L	100	5500	5200	5600	5600	6800
Candesartan	ng/L	100	2600	2700	1300	1400	1600
Gabapentin	ng/L	100	9800	9500	7900	8100	9000
1H-Benzotriazol	ng/L	10.000	11000	9700	8400	10000	11000
Acesulfam K	ng/L	100	1600	1900	2300	1800	1900
PFOS	ng/L	0,65	9,4	8,4	10	9,2	12
sehr gut		gut	mäßig		unbefriedigend		schlecht
< ½ BK		½ BK – BK	BK – 2 BK		2 BK – 4 BK		> 4 BK

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 relevanten 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 Sankt Augustin würde jedoch voraussichtlich zu einer verbesserten Ablaufqualität führen und wäre als freiwillige Maßnahme aus Gewässersicht zu befürworten.

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 bzw. der teilweise erheblichen Überschreitungen der Bewertungskriterien, sollte der Ausbau der Kläranlage Sankt Augustin um eine Stufe zur Mikroschadstoffelimination jedoch in Betracht gezogen werden.**

6.2 Verfahrensempfehlung

Aufgrund der guten Bewertung der Variante 2, sowohl bei der Teil- als auch bei der Vollstrombehandlung, wird diese bei einer Umsetzung eines Verfahrens zur Mikroschadstoffelimination empfohlen. Die Rückführung von PAK-Schlamm in die Belebung hat grundsätzlich einen positiven Effekt auf den Schlammindex und damit die Absetzbarkeit des Schlammes. Falls dieser Effekt den u. U. negativen Effekt der Verdrängung von Belebtschlamm durch PAK im Belebungsbecken nicht mehr ausgleichen kann, hat die Variante 2 den Vorteil, dass der Schlammkreislauf der PAK-Stufe getrennt oder zum Teil getrennt vom Schlammkreislauf der biologischen Stufe gefahren werden kann. Bei der angenommenen PAK-Dosierkonzentration ist ein Einfluss auf die biologische Reinigungsleistung der Kläranlage jedoch nicht zu erwarten. Ein weiterer Vorteil dieser Variante ist, dass in der PAK-Stufe bereits eine nachgeschaltete Phosphatfällung stattfindet und durch die Absetzeinheit Feststoffe zurückgehalten werden. Da in der Tuchfiltration somit weniger Fällmittelzugabe zur Phosphatfällung notwendig ist, reduziert sich die AFS-Belastung der Tuchfiltration.

Zwar liegen die Investitionskosten der Variante 2 im Vergleich zu den anderen Varianten im mittleren Bereich, dafür weist diese Variante vergleichsweise geringe jährliche Betriebskosten auf. Die Betriebskosten wirken sich vor dem Hintergrund einer bis zu 70 %-igen Förderung bis einschließlich Antragsjahr 2019 bzw. 50 % ab 2020 von Investitionskosten für Maßnahmen zur Mikroschadstoffelimination durch das Land NRW langfristig stärker auf die Jahreskosten aus, als Investitionskosten. Auch vor diesem Hintergrund wird die Umsetzung von Variante 2 empfohlen. Bei der Reduzierung von abwasserabgabenrelevanter Schadstofffrachten, wie z. B. des CSB um mind. 20 % und gleichzeitiger Minderung der Gesamtschadstofffracht besteht die Möglichkeit zur Verrechnung der Investitionskosten mit der Abwasserabgabe. Nach Rücksprache mit dem MKULNV kann für die Maßnahme keine Doppelförderung stattfinden. Das bedeutet, dass entweder eine Förderung von bis zu 70 % möglich ist oder eine Verrechnung mit der Abwasserabgabe stattfinden kann. Zu erwähnen ist außerdem, dass eine Förderung der Maßnahme nur bei einer freiwilligen Durchführung selbiger gewährt wird.

Die Umsetzung einer Ozonung wird aufgrund der hohen Bromidkonzentrationen nicht empfohlen. Hier ist zu prüfen, woher die hohen Bromidkonzentrationen resultieren und ob diese durch Maßnahmen an der Quelle reduziert werden können. Bei erfolgreicher Senkung der Bromidkonzentrationen, ist die großtechnische Umsetzung einer Ozonung allerdings interessant, da sie im Vergleich zu den Varianten mit Aktivkohle geringere Betriebskosten verursacht.

Bezüglich zukünftiger Anforderungen an die Mikroschadstoffelimination kann derzeit nicht abgeschätzt werden, ob eine Ozonung oder eine Adsorption an Aktivkohle zur Entfernung bestimmter Stoffe geeigneter sein werden. Beide Verfahren besitzen eine Breitbandwirkung und gelten derzeit als gleichermaßen geeignet. Weitere denkbare zukünftige Anforderungen an die Reinigungsleistung von Kläranlagen können die Desinfektion oder die Elimination von Mikroplastik betreffen. Bezüglich einer Desinfektion hat die Ozonung gegenüber dem Einsatz von Aktivkohle den Vorteil, dass Ozon desinfizierend wirkt. Allerdings sind hierfür höhere Ozondosen als zur Mikroschadstoffelimination nötig. Des Weiteren kann es durch die biologische Nachbehandlung nach einer Ozonung zu einer Rückverkeimung des Abwassers kommen. Aktivkohle kann hingegen nicht gezielt zur Desinfektion genutzt werden. Die ZABA Sankt Augustin wäre demnach durch z. B. eine UV-Behandlung aufzurüsten. Zur Elimination von Mikroplastik sind sowohl eine Ozonung als auch eine Behandlung mit Aktivkohle wenig geeignet. Allerdings ist die ZABA Sankt Augustin bereits durch die vorhandene Tuchfiltration voraussichtlich gut aufgestellt. Durch Scheibentuchfilter können Mikroplastikfrachten um 97 % reduziert werden (Mintenig, et al., 2014).

Vor der Umsetzung der Variante 2 „PAK-Dosierung in ein separates Reaktionsbecken und Abscheidung im Kombibecken (Actiflo®-Carb)“ wird empfohlen, die folgenden Voruntersuchungen durchzuführen:

- **Adsorptionsschüttelversuche mit unterschiedlichen Pulveraktivkohlen zur Auswahl der leistungsfähigsten Kohle für die vorliegende Abwassermatrix, der notwendigen Kontaktzeit zur Erreichung der gewünschten Elimination und der notwendigen Dosierkonzentration.**
- **Großtechnische Untersuchung einer Aktivkohledosierung in einer der Tuchfilterkammern, um die Wirksamkeit der Filtertücher hinsichtlich des PAK-Rückhalts bzw. dessen max. Filterflächenbelastung zu untersuchen, insbesondere vor dem Hintergrund eines möglichen Wechsels auf Mikrofasertücher. Dazu wäre dann der Wechsel auf diese Mikrofasertücher bei dem zu untersuchenden Filter notwendig. Zusätzlich kann dabei die tatsächliche Feststoffbelastung der Tuchfiltration durch die Phosphatfällung und der AFS-Belastung aus der Nachklärung sowie die erzielbare Mikroschadstoffelimination untersucht werden.**

Mittels der vorgenannten Voruntersuchungen kann zudem auch die Durchführbarkeit der Variante 1 bzw. die dort berücksichtigte Erweiterung der Tuchfiltration aufgrund der geringen max. Feststoffflächenbelastung der Mikrofasertücher überprüft werden. Eventuell ergibt sich in der großtechnischen Untersuchung eine höhere max. Feststoffflächenbelastung als die angenommene oder auch eine geringere Feststofffracht aus der Nachklärung bzw. der Phosphatfällung.

Wie in Kapitel 1 erläutert, wird über das Förderprogramm „Ressourceneffiziente Abwasserbeseitigung NRW II“ der Ausbau großtechnischer Anlagen zur Mikroschadstoffelimination gefördert. **Für die erforderlichen Untersuchungen und die dazugehörige Analytik etc. vor dem großtechnischen Ausbau zur Mikroschadstoffelimination zur Reduzierung von Stoffeinträgen, besteht ebenfalls grundsätzlich die Möglichkeit einer Förderung über Zuwendungen des Landes NRW.** Für die Kläranlage Sankt Augustin ist insbesondere der Einsatz der Tuchfiltration zur Mikroschadstoffelimination von Bedeutung, da dazu bisher noch kaum Erfahrungen vorliegen und wichtige Erkenntnisse z.B. über die Notwendigkeit von Mikrofaserfiltertüchern fehlen. Für die Entscheidung, ob der Umbau des Zulaufs der Nachklärbecken ebenfalls eine förderfähige Investition darstellt, erfolgt seitens der Bezirksregierung eine Prüfung. Daher kann im Vorhinein nicht mit abschließender Sicherheit festgestellt werden, ob und in welcher Höhe diese Investitionen förderfähig sind.

7 Literaturverzeichnis

DSADS. 2017. DSADS - Den Spurenstoffen auf der Spur. Projekt des Landes Nordrhein-Westfalen, der Stadt Dülmen und des Lippeverbands. www.dsads.de. [Online] 2017. [Zitat vom: 16. 02 2017.]
www.dsads.de.

ELWAS-WEB. 2016. Elektronisches wasserwirtschaftliches Verbundsystem für die Wasserwirtschaftsverwaltung. www.elwasweb.nrw.de/elwas-web/index.jsf. [Online] 2016.

Kienle et al. 2015. *Grobbeurteilung der Wasserqualität von abwasserbelasteten Gewässern anhand von ökotoxikologischen Biotests*. Dübendorf : Studie im Auftrag des BAFU. Schweizerisches Zentrum für angewandte Ökotoxikologie Eawag-EPFL, 2015.

KOM-M.NRW. 2016. *Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination*. 2016.

KVR-Leitlinien. 2012. *Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen*. 2012.

Mintenig, S., et al. 2014. *Mikroplastik in ausgewählten Kläranlagen des Oldenburgisch-Ostfriesischen Wasserverbandes (OOWV) in Niedersachsen Probenanalyse mittels Mikro-FTIR Spektroskopie*. s.l. : Oldenburgisch-Ostfriesischer Wasserverband (OOWV), Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), 2014.

Ökotoxzentrum. 2017. Qualitätskriterienvorschläge Oekotoxzentrum. [Online] 2017.
<http://www.oekotoxzentrum.ch/expertenservice/qualitaetskriterien/qualitaetskriterienvorschlaege-oekotoxzentrum/>.

Umweltbundesamt. 2011. *Zusammenstellung von Monitoringdaten zu Umweltkonzentrationen von Arzneimitteln*. Texte 66/2011. ISSN 1862-4804. Dessau-Roßlau : s.n., 2011.