


Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Münster-Geist - Kurzbericht -

STADT  MÜNSTER

 Tiefbauamt

Impressum

Auftraggeber: Stadt Münster

Auftragnehmer: **Grontmij GmbH**

Postfach 30 01 06
50771 Köln

Graeffstraße 5
50823 Köln

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

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: Mai 2015 - Februar 2016

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung	3
2	Kurzbeschreibung des Einzugsgebiets, der Kläranlage und des Gewässers	4
3	Abwassereigenschaften und Screening auf Mikroschadstoffe	6
4	Ausarbeitung von technischen Anlagenkonzepten	8
5	Kostenabschätzung	13
6	Empfehlung	14
7	Literaturverzeichnis	17

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Luftbild der Kläranlage Münster-Geist (Quelle Tiefbauamt Stadt Münster)	4
Abbildung 2-2: Einleitung Galgenbach in den Getterbach und der ökologische Zustand des Getterbachs in der Gesamtbewertung (Quelle ELWAS-WEB)	5
Abbildung 4-1: Lageplan der Ozonung auf der Münster-Geist	9
Abbildung 4-2: Fließbild der Ozonung	9
Abbildung 4-3: Lageplan PAK-Anlage auf der Münster-Geist	11
Abbildung 4-4: Fließbild der PAK-Anlage mit nachgeschalteter Tuchfiltration	11
Abbildung 4-5: Lageplan GAK-Filteranlage auf der Münster-Geist	12
Abbildung 4-6: Fließbild der GAK-Anlage	13

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Bewertungsmaßstab der Mikroschadstoffkonzentrationen im Oberflächengewässer oberhalb und unterhalb der Einleitung des Klärwerks Münster-Geist.	6
Tabelle 3-2: Konzentrationen oberhalb und unterhalb der Einleitung der Kläranlage Münster-Geist mit Einordnung hinsichtlich der Gewässergüte.	7
Tabelle 5-1: Gegenüberstellung der Investitions-, Betriebs- Kapital- und Jahreskosten sowie spezifische Jahreskosten bezogen auf die behandelte Jahresabwassermenge der betrachteten Varianten	14
Tabelle 6-1: Variantenbewertung	16

1 Veranlassung

Der Begriff „Mikroschadstoffe“ rückt in den vergangenen Jahren immer mehr in den Fokus der Wissenschaft sowie der Öffentlichkeit. 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, Flamm- schutzmitteln, Biozide und weitere Industriechemikalien in dieser Gruppe zu nennen. Mikroschadstoffe befinden sich in der Regel in sehr niedrigen Konzentrationen, dennoch konnte in den letzten Jahren die Ökotoxizität einer Vielzahl von Mikroschadstoffen in der Umwelt nachgewiesen werden bzw. von vielen Stoffen ist zukünftig aufgrund der steigenden Verbrauchsmengen ein hohes Gefährdungspotenzial zu erwarten [Umweltbundesamt, 2011].

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

Die umweltschädlichen Stoffe sollen in der Regel möglichst an der Quelle minimiert und ggf. mit un- schädlichen 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 per- sistenten Mikroschadstoffe können während der biologischen Behandlung im Abwasserreinigungspro- zess 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 Mik- roschadstoffe 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 Ver- fahren realisiert werden. Hierbei kann zwischen der dezentralen Mikroschadstoffelimination am Anfallort (z.B. Industriebetriebe, Krankenhäuser, Pflegeeinrichtungen) und zentralen in der kommunalen Kläran- lage oder bei der zentralen Trinkwasseraufbereitung unterschieden werden. Eine weitgehende Verbes- serung der Ablaufqualität bzw. Elimination der Mikroschadstoffe auf Kläranlagen ist durch weitergehen- de (additive) Maßnahmen realisierbar. Hierzu haben sich bisher die Techniken der Ozonung und der Aktivkohleadsorption zurzeit als umsetzbare Techniken herauskristallisiert.

NRW setzt bei dem Thema der Mikroschadstoffelimination auf einen ganzheitlichen Ansatz auf unter- schiedlichen Ebenen. Ein Ansatz ist es, Stoffe möglichst an der Quelle zu verhindern, z.B. durch die Substitution gefährlicher Stoffe durch ungefährlichere Alternativen. Einen anderen Ansatz verfolgte das Projekt „Den Spurenstoffen auf der Spur“ des Landes Nordrhein-Westfalen, der Stadt Dülmen und des LIPPEVERBANDS (www.dsads.de). Dieses hatte u.a. das Ziel, die Bevölkerung aufzuklären bzw. zu sensibilisieren hinsichtlich eines bewussteren Umgangs mit Arzneimitteln. Zudem sollen aber auch die Abwasserreinigungsanlagen ausgebaut und die Trinkwasseraufbereitungstechnik modernisiert werden (euwid Wa Nr. 45, 09.11.2010). Das Umweltministerium des Landes NRW fördert derzeit dazu durch das Investitionsprogramm „Ressourceneffiziente Abwasserbeseitigung NRW“ u. a. großtechnische An- lagen zur Mikroschadstoffelimination.

Ziel dieser Studie ist auf Basis eines Screenings des Kläranlagenablaufes auf Mikroschadstoffe Mög- lichkeiten zur Einbindung einer Anlage zur Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Münster-Geist 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 Einzugsgebiets, der Kläranlage und des Gewässers

Das Einzugsgebiet der Kläranlage Münster-Geist umfasst die Ortsteile Mecklenbeck, Lövelingloh und Geist, die im Trennsystem entwässert werden. Die Gesamtfläche des Einzugsgebiets beträgt rd. 350 ha. An die Kläranlage angeschlossen sind zudem vier Regenklärbecken. Das überwiegend kommunale Abwasser kann im Hinblick auf Mikroschadstoffe durch die im Einzugsgebiet vorhandenen Indirekteinleiter maßgeblich beeinflusst werden. Zu nennen sind hier insbesondere ein Farben- und Lackproduzent und ein Arzneimittelentwickler. Diese Abwässer können u.a. mit Schwermetallen, den Komplexbildnern Ethylendiamintetraacetat (EDTA) und Nitritotriessigsäure (NTA), lineare Alkylbenzolsulfonate (LAS), Terbutryn und Tensiden belastet sein. Im Einzugsgebiet der Kläranlage Münster-Geist liegt zudem das Clemenshospital mit 403 Betten und 14 Fachabteilungen sowie die Pflegeheime Haus Simeon und das Maria – Hütte – Stift.

Die Kläranlage Münster-Geist wurde 1980 in Betrieb genommen und Ende der 1980er-Jahre erweitert. Die Abwasserbehandlung ist für 18.000 EW ausgelegt mit derzeit 16.000 (Stand 2013) angeschlossenen Einwohnerwerten [ELWAS-Web, 2015].



Abbildung 2-1: Luftbild der Kläranlage Münster-Geist (Quelle Tiefbauamt Stadt Münster)

Die Verfahrenstechnik der Kläranlage ist wie folgt ausgeführt:

- Rechenanlage Stababstand ca. 6 mm (Feinrechen)
- Sandfang belüfteter Sandfang mit seitlicher Fettfangrinne
 - Länge = 19,0 m
 - Breite = 2,3 m

2 Kurzbeschreibung des Einzugsgebiets, der Kläranlage und des Gewässers

- | | | | |
|---|----------------|--|-------------------------------|
| | Fläche | = | 7,0 m ² |
| | Volumen | = | 133 m ³ |
| • | Belebung | zweistufig mit intermittierender Denitrifikation | |
| | Volumen | = | 5.400 m ³ (gesamt) |
| • | Nachklärung | 2 Rundbecken | |
| • | Schönungsteich | Volumen | = 4.000 m ³ |

Die Kläranlage Münster-Geist leitet das gereinigte Abwasser in den Galgenbach bzw. in den Getterbach als nächst aufnehmendes Gewässer ein. Der ökologische Zustand des Getterbachs ist als schlecht zu bezeichnen (siehe auch Abbildung 2-2) [ELWAS-WEB, 2015]. Die Datengrundlage bzw. die im Rahmen eines Monitorings ermittelten Schadstoffkonzentrationen, die zu dieser Einstufung führen, können dem Erlaubnisbescheid aus dem Jahr 2013 entnommen werden [Erlaubnisbescheid, 2013]. Nach 7,1 km Länge fließt er in den Emmerbach.



Abbildung 2-2: Einleitung Galgenbach in den Getterbach und der ökologische Zustand des Getterbachs in der Gesamtbewertung (Quelle ELWAS-WEB)

3 Abwassereigenschaften und Screening auf Mikroschadstoffe

Um eine fundierte Verfahrensauswahl zu treffen bzw. die Anlage optimal auszulegen, müssen die standortspezifischen Abwassereigenschaften auf der Anlage berücksichtigt werden. Die Abwasserinhaltsstoffe werden in zwei Gruppen betrachtet.

In der ersten Gruppe werden die Konzentration der Standardabwasserparameter berücksichtigt. Zur Auswertung der Standardparameter wurden Konzentrationen zu CSB, NO₂-N, AFS und TOC im Ablauf des Schönungsteichs der Kläranlage der Jahre 2012, 2013, 2014 zusammengefasst. Die ausgewerteten Daten umfassten ca. 60 Werte pro Jahr.

Die zweite Gruppe beinhaltet eine Auswahl an sogenannten Mikroschadstoffen. Durch ein zweitägiges Screening auf Mikroschadstoffe im Zu- und Ablauf der Kläranlage Münster-Geist wurden abwasserspezifische relevante Stoffe ermittelt. Ergänzend wurden bei den Indirekteinleitern und dem Clemens Hospital Stichproben sowie an den Gewässermessstellen ober- und unterhalb der Kläranlagelage qualifizierte Stichproben genommen und analysiert.

Nachfolgend werden exemplarisch die Konzentrationen einiger Mikroschadstoffe oberhalb und unterhalb der Einleitung der Kläranlage Münster-Geist mit Einordnung hinsichtlich der Gewässergüte aufgezeigt. Die vollständigen Ergebnisse sind der Langfassung der Studie zu entnehmen.

Durch fehlende Grenzwerte von Mikroschadstoffen für Kläranlagenabläufe kann eine Bewertung dieser nur über den Umweg der Bewertung der Oberflächengewässer vorgenommen werden. Dazu wurde das Gewässer vor und nach der Einleitung der Kläranlage untersucht. Die ermittelten Konzentrationen der Mikroschadstoffe im Gewässer sind den Umweltqualitätsnormen (UQN) zur Beurteilung des chemischen und biologischen Status der Oberflächengewässer nach Wasserrahmenrichtlinie gegenübergestellt worden. Eine Übersicht über die verschiedenen Substanzen mit Umweltqualitätsnormen und Vorsorgewerten ist in der sogenannten „D4-Liste“ zu finden

(http://www.flussgebiete.nrw.de/index.php/Leitfaden_Monitoring_Oberfl%C3%A4chengew%C3%A4sser_Teil_D/_Anlage_4).

Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte bei Vorliegen einer Umweltqualitätsnorm (UQN) oder eines Orientierungswertes nach D4-Liste gemäß der Oberflächengewässerverordnung (OGewV).

Tabelle 3-1: Bewertungsmaßstab der Mikroschadstoffkonzentrationen im Oberflächengewässer oberhalb und unterhalb der Einleitung des Klärwerks Münster-Geist.

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

Die Auswirkungen der Einleitung der Kläranlage auf das Gewässer bewirken bei nahezu allen Mikroschadstoffen einen erwarteten Anstieg der messbaren Konzentrationen unterhalb der Einleitung der Kläranlage. Exemplarisch sind die Stoffe mit einem UQN-Vorschlag in folgender Tabelle aufgelistet.

Tabelle 3-2: Konzentrationen oberhalb und unterhalb der Einleitung der Kläranlage Münster-Geist mit Einordnung hinsichtlich der Gewässergüte.

				WEG 3 Gewässer vor Kläranlage		WEG 2 Gewässer nach Kläranlage	
				23.3.15	24.3. 15	23.3. 15	24.3. 15
	Probenahmedatum						
	Parameter	Einheit	UQN				
RKM	Amidotrizoessäure	ng/L	100 ^a	< 20	< 20	10.000	10.000
	lomeprol	ng/L	100 ^a	< 50	< 50	230	160
	lopamidol	ng/L	100 ^a	< 100	< 100	10.000	9.400
	lopromide	ng/L	100 ^a	< 100	< 100	18.000	14.000
	loversol	ng/L	100 ^a	< 10	< 10	< 10	< 10
Benzo- triazole	1H-Benzotriazol*	ng/L	10.000	58	180	6.100	6.100
	Dimethylbenzotriazol*	ng/L	10.000	< 20	< 20	< 20	< 20
	Summe 4 + 5-Methyl Benzotriazol	ng/L	10.000	< 10	< 10	970	1.100
P	Diuron*	ng/L	1.800	< 20	< 20	2	< 20
	Terbutryn*	ng/L	65	15	11	140	130
Arzneimittelwirkstoffe	Bisoprolol	ng/L	100	< 20	< 20	270	270
	Carbamazepin*	ng/L	500	< 20	< 20	430	430
	Clarithromycin*	ng/L	20	12	< 10	820	900
	Diclofenac*	ng/L	100	29	32	2.400	2.400
	Ibuprofen*	ng/L	10	< 20	< 20	< 20	< 20
	Metoprolol*	ng/L	7.300	< 20	< 20	2.000	1.900
	Ofloxacin	ng/L	1.800	< 50	< 50	< 50	< 50
	Sulfadiazin	ng/L	100	< 20	< 20	< 20	< 20
	Sulfadimethoxin	ng/L	100	< 20	< 20	< 20	< 20
	Sulfamethoxazol*	ng/L	150	< 20	< 20	670	710
	Trimethoprim	ng/L	100	< 50	< 50	170	160
PFC	Perfluorbutansäure (PFBA)*	ng/L	100	< 10	< 10	< 10	< 10
	Perfluorpentansäure (PFPeA)*	ng/L	100	< 10	< 10	< 10	< 10
	Perfluorhexansäure (PFHxA)*	ng/L	100	< 20	< 20	< 20	< 20
	Perfluorheptansäure (PFHpA)*	ng/L	100	< 10	< 10	< 10	< 10
	Perfluoroctansäure (PFOA)*	ng/L	0,65	< 10	< 10	< 10	< 10
	Perfluorononansäure (PFNA)*	ng/L	100	< 20	< 20	< 20	< 20
	Perfluordekansäure (PFDA)*	ng/L	100	< 50	< 50	< 50	< 50
	Perfluorbutansulfonsäure (PFBS)*	ng/L	100	< 10	< 10	< 10	< 10
	Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS)*	ng/L	100	< 10	< 10	< 10	< 10
	Perfluoroctansulfonsäure (PFOS)*	ng/L	100	< 10	< 10	< 10	< 10
OP/ NP	4-tert-Octylphenol	ng/L	10	< 10	< 10	< 10	< 10
	4-n-Nonylphenol	ng/L	10.000	< 10	< 10	< 10	< 10
DEHP	Diethylhexylphthalat	µg/L	1,3	< 1	< 1	< 1	< 1
Metal- le	Cadmium	µg/L	0,08 - 0,25	0,068	0,084	0,033	0,040
	Nickel	µg/L	20	2,7	3,8	2,9	2,4

				WEG 3 Gewässer vor Kläranlage		WEG 2 Gewässer nach Kläranlage	
				23.3.15	24.3. 15	23.3. 15	24.3. 15
	Probenahmedatum						
	Parameter	Einheit	UQN				
	Blei	µg/L	7,2	1,2	1,1	0,51	1,0
	Zinn	µg/L	3,5	< 0,10	< 0,10	0,097	0,20
	Antimon	µg/L	20	0,63	0,90	0,31	0,39
	Vanadium	µg/L	2,4	0,98	1,1	0,53	0,68
	Selen	µg/L	2,5	0,65	0,67	0,99	0,84

^a Präventiver Vorsorgewert (Orientierungswert, der auf einer Konvention beruht und fachlich nichtabgeleitet ist)
 Die mit * gekennzeichneten Parameter sind durch die DAkKS (Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH) nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 akkreditiert. Die Akkreditierung gilt nur für den in der Urkundenanlage D-PL-19759-01-00 festgelegten Umfang.

Überschreitungen von vorgeschlagenen Umweltqualitätsnormen im Gewässer nach Zuleitung der Kläranlage konnten für die gesetzlich nicht geregelten Stoffe Bisoprolol, Carbamazepin, Clarithromycin, Diclofenac, Metoprolol, Terbutryn, Trimethoprim und Sulfamethoxazol beobachtet werden. Vor der Einleitung des Ablaufs der Kläranlage Münster-Geist zeigte das Gewässer für diese Substanzen jedoch keine Überschreitung der UQN auf. Auch die Konzentrationen der Röntgenkontrastmittel liegen deutlich über dem in der D4-Liste vorgeschlagenen UQN-Wert für NRW. Bei diesem Wert handelt es sich jedoch um einen präventiven Vorsorgewert, welcher nicht wissenschaftlich abgeleitet ist.

4 Ausarbeitung von technischen Anlagenkonzepten

Da auf der Kläranlage Münster-Geist keine freien Ressourcen zur Nutzung bereitstehen wird die vierte Reinigungsstufe als Neubau konzipiert. Für die Kläranlage Münster-Geist werden folgende spezifischen Anlagenkonzepte ausgearbeitet:

1. Variante 1: Ozonung - biologische Nachbehandlung im Schönungsteich
2. Variante 2: PAK-Reaktionsraum und Sedimentation im Kombibauwerk – Tuchfiltration
3. Variante 3: Filter mit granulierter Aktivkohle (GAK)

Alle Varianten beinhalten eine maximale Beschickung der Stufe zur Mikroschadstoffelimination von 125 l/s. Details zur Auslegung der einzelnen Varianten sind der Langfassung des Berichts zu entnehmen.

Variante 1: Ozonung mit biologischer Nachbehandlung

Die Ozonung wird der biologischen Abwasserbehandlung nachgeschaltet und als kompletter Neubau zweistraßig konzipiert. Die Ozonanlage mit einem erforderlichen Volumen von 149 m³ wird mittels frequenz geregelter Pumpen über eine Druckleitung beschickt. Die Pumpen sorgen für die Begrenzung des Anlagenzuflusses. Die notwendige Förderhöhe wird mit 0,5 m abgeschätzt. In die Druckleitung erfolgt über einen statischen Mischer die Einleitung des ozonierten Injektorstroms. Das ozonierte Wasser wird anschließend zur biologischen Nachbehandlung dem nachgeschalteten Schönungsteich zugeführt.

Der Flüssigsauerstofftank und die Ozongeneratoren mit einer erforderlich Leistung von 4,85 kg O₃/h werden neben dem Becken aufgestellt. Die Ozongeneratoren können mit der erforderlichen Anlagentechnik in einem fertigen Containermodul geliefert und aufgestellt werden oder in einem massiven Be-

triebsgebäude untergebracht werden. Für das Aufstellen des Tanks sind entsprechende Fundamente vorzusehen und der Bereich ist zu befestigen.

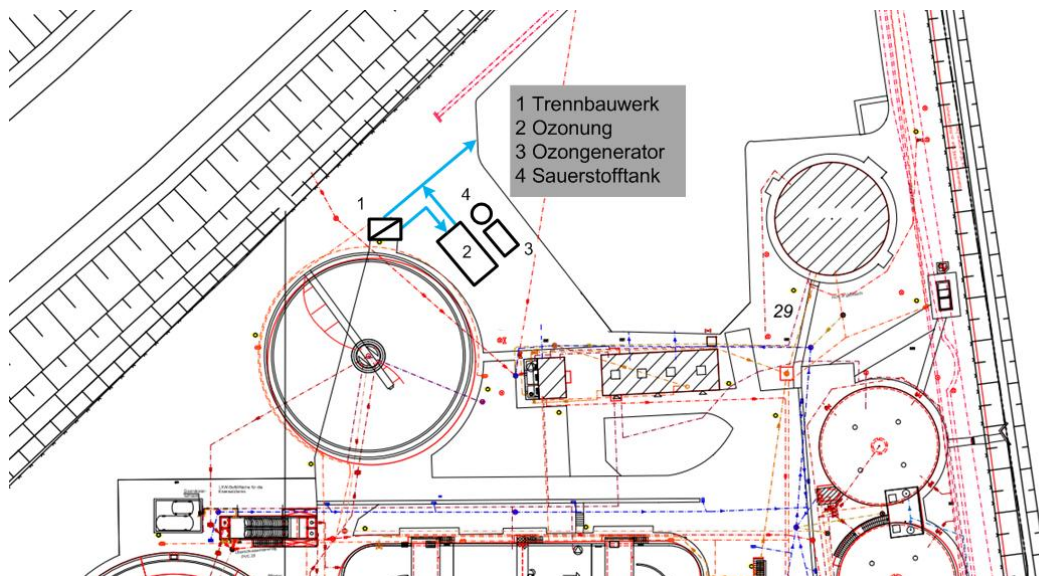


Abbildung 4-1: Lageplan der Ozonung auf der Münster-Geist

Im Ozonreaktor finden zunächst der Eintrag und die Mischung von Ozon in das Abwasser statt. Das Ozon reagiert dabei mit den Abwasserinhaltsstoffen. CFD-Simulationen von Herbst et al., (2011) zeigten, dass auf eine aufwändige Unterteilung des Reaktorvolumens in Kompartimente verzichtet werden kann. Kurzschlussströmungen im Reaktor sind jedoch zu vermeiden. Aus Gründen der Arbeitssicherheit ist das Reaktionsbecken mit einer gasdichten Abdeckung zu versehen. Ozonhaltige Abluftströme werden über zwei katalytische Restozonvernichter geleitet. Die Räume, in denen potenziell Ozon austreten könnte, sind mit Ozonwarngeräten auszustatten (vgl. Abbildung 4-2).

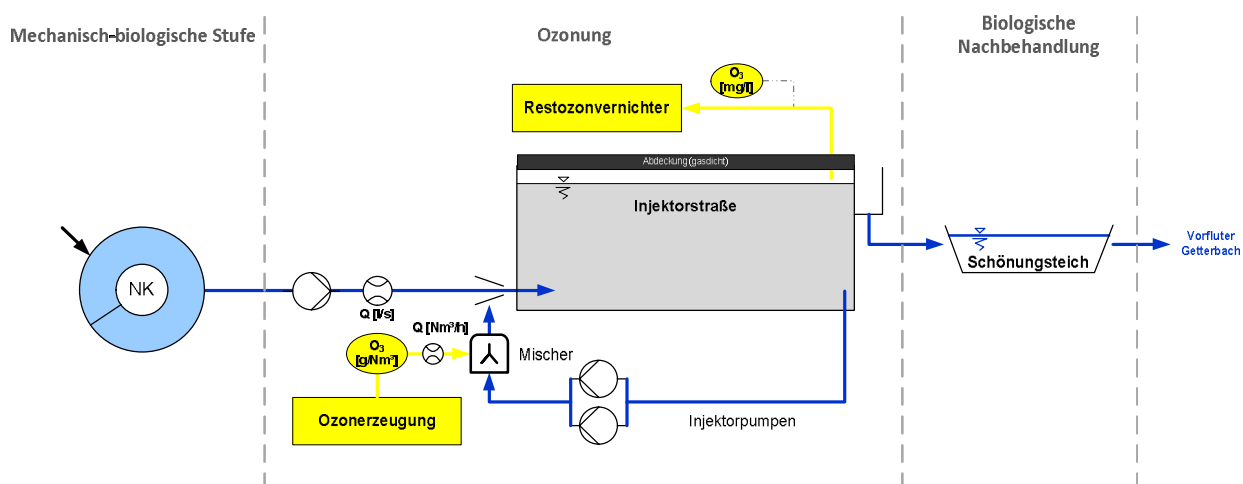


Abbildung 4-2: Fließbild der Ozonung

Variante 2: PAK-Reaktionsraum und Sedimentation im Kombibauwerk – Tuchfiltration

Die Adsorptionsstufe mit nachgeschalteter Tuchfiltration wird als Neubau konzipiert. Aus dem neu zu errichtenden Trennbauwerks wird zunächst das Kontaktbecken mittels frequenz geregelter Rohrpropellerpumpen beschickt. Die Förderhöhe wird mit 1 m abgeschätzt. Durch die Förderleistung der Pumpe wird zugleich der Zulauf zur Mikroschadstoffelimination geregelt. Das Kontaktbecken wird in zwei Kaskaden unterteilt. In jeder Kaskade wird zur energieoptimalen Umwälzung ein Rührwerk am Beckenboden montiert.

Im Zulauf zum Kontaktbecken bzw. ins Kontaktbecken werden die PAK und das Fällmittel dosiert. Angenommen wird aufgrund der vorliegenden Abwassermatrix eine Dosierung von 20 mg PAK/l [KOMM.NRW, 2015]. Es wird empfohlen, die genaue, den örtlichen Bedingungen angepasste Dosierung im Vorfeld einer großtechnischen Realsierung mittels Labortests zu ermitteln. Die Lager- und Dosieranlagen für die Pulveraktivkohle und für das Fällmittel werden ortsnah neben der Dosierstelle aufgestellt. Die Pulveraktivkohle wird volumenstromabhängig zu dosiert. Pulveraktivkohle lässt sich nur schwer befeuchten und staubt. Um eine homogene Vermischung der Kohle ohne Staubeentwicklung zu gewährleisten, wird die Kohle über einen Schneckenförderer aus dem Silo in einen speziellen Ansetzbehälter gefördert. Die Kohle wird in eine Vorlage mit einem getauchten Rohrdispersierger hinein staubfrei dispergiert. Die Kohle-Suspension wird mit einer Wasserstrahlpumpe verdünnt und zur Dosierstelle gefördert. Das Treibwasser wird aus dem Kläranlagenablauf entnommen. Die PAK-Dosieranlage wird im unteren Bereich der Zarge des PAK-Silos angeordnet.

Aus dem Kontaktbecken fließt das mit PAK beladene Wasser im Freigefälle dem Sedimentationsbecken zu. Zur Bildung von gut absetzbaren Makroflocken wird in dem Zulaufstrom ein Flockungshilfsmittel und Fällmittel dosiert. Im Becken sedimentiert der PAK-Schlamm und wird als Rücklaufkohle zurück in das Kontaktbecken gefördert. Es wird ein Kohlealter von ca. 2 bis 5 Tage in der Anlage zur Mikroschadstoffelimination angestrebt. Auf eine Rückführung der überschüssigen Kohle in die Belebungsstufe wird aus dem Grund verzichtet, da der Schlamm derzeit noch nach der Weiterbehandlung auf der Kläranlage Coerde landwirtschaftlich verwertet wird. Sollte sich zukünftig die Schlammbehandlung dahin gehend ändern, dass eine thermische Verwertung angestrebt wird, sollte eine Rückführung der Kohle in die Belebungsstufe zur Ausnutzung der Beladungskapazitäten erfolgen.

Die Klarphase aus dem Sedimentationsbecken wird noch feindisperse PAK-Partikel aufweisen. Zur Abtrennung wird ein Tuchfilter nachgeschaltet. Die Tuchfiltration kann als Scheibenfilteranlage in einem relativ kleinen Becken installiert werden. Aufgrund des kontinuierlichen Betriebs sind Filtrat- und Schlammwasserspeicher nicht erforderlich. Die Filteranlage wird direkt neben dem Kontakt- und Sedimentationsbecken angeordnet. Zum besseren Rückhalt der restlichen PAK wird in den Zulauf zur Filtration Fällungsmittel dosiert. Das gereinigte Wasser wird anschließend im Freigefälle in den Schönungs- teich geleitet. In Abbildung 4-4 ist schematisch das Fließbild für diese Variante dargestellt.

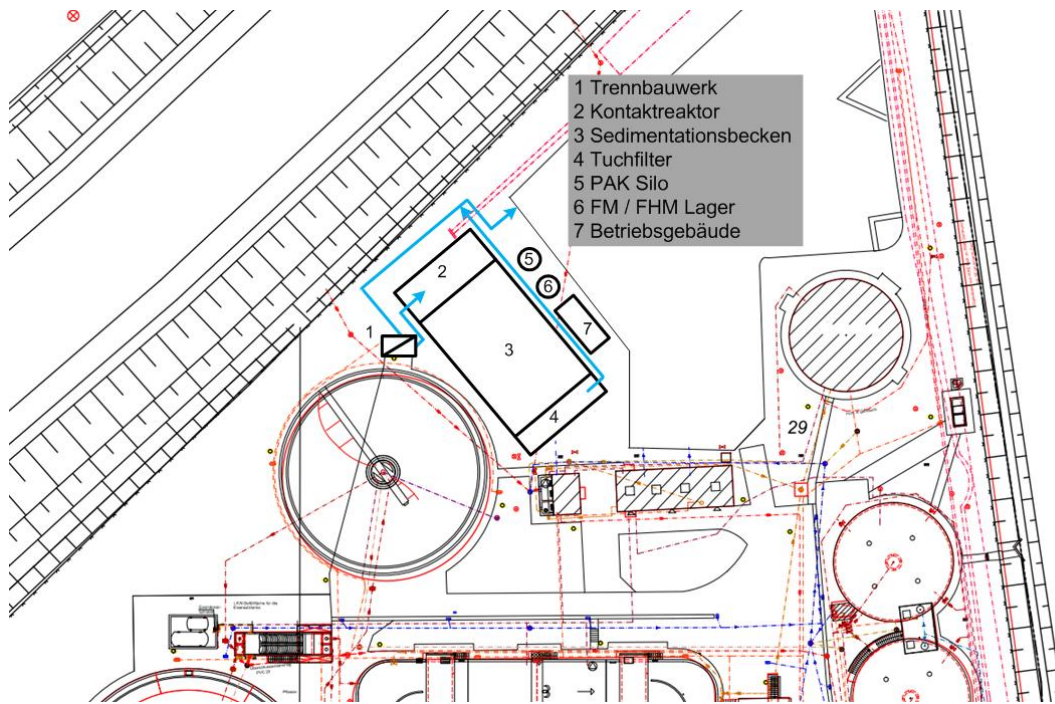


Abbildung 4-3: Lageplan PAK-Anlage auf der Münster-Geist

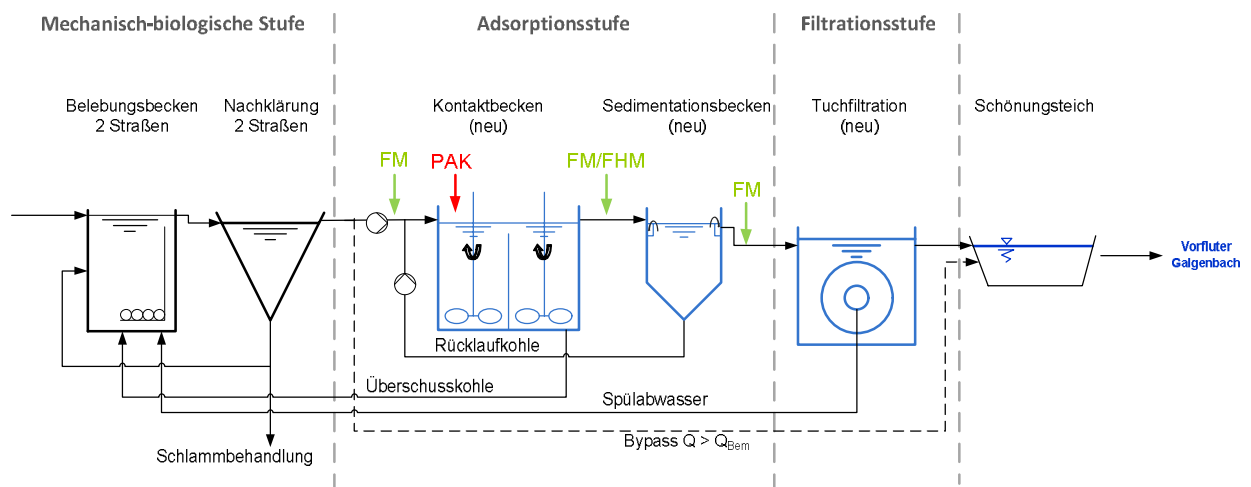


Abbildung 4-4: Fließbild der PAK-Anlage mit nachgeschalteter Tuchfiltration

Variante 3: Filter mit granulierter Aktivkohle (GAK)

Die Kläranlage Münster-Geist verfügt über keine Filtrationsstufe, so dass die GAK-Filteranlage als Neubau konzipiert werden muss. Die Filteranlage wird aus dem Ablauf der Nachklärbecken über das neu zu errichtende Trennbauwerk beschickt.

Die Filteranlage wird mit einem Zulaufpumpwerk ausgerüstet. Die Förderhöhe wird mit 1 m abgeschätzt. Die Filter werden abwärts durchströmt. Die körnige Kohle mit typischen Korngrößen zwischen 0,4 und 3,0 mm liegt auf einer Stützkonstruktion als Festbett auf. Das Filtrat wird anschließend in den Schönungsteich eingeleitet.

Bei nachlassender Filterdurchlässigkeit werden die Filter mit Luft und Filtrat gespült. Um eine ausreichende Filtratmenge bereitzustellen, ist ein Filtratspeicher vorzusehen. Das anfallende Spülabwasser wird über einen Schlammwasserspeicher vergleichmäßig in den Zulauf zur Belebung geleitet. Das Filterbett wird bei der Spülung fluidisiert und soll sich dabei um ca. 25% ausdehnen. Die max. Spülgeschwindigkeit ist in Abhängigkeit von der Dichte und Körnung der verwendeten Kohle zu wählen, um ein Austrag der GAK zu vermeiden. Im Trinkwasserbereich reichen Filtergeschwindigkeiten von 25 bis 35 m/h aus. Auf der Kläranlage Obere Lutter wurde durch Versuche eine Spülgeschwindigkeit von 27 m/h ermittelt, um zu vermeiden, dass Aktivkohle bei der Spülung aus dem Filter ausgetragen wird [Rölle und Kuch, 2011]. Zur Minimierung der Abrasion der GAK muss nach Erfahrungen aus der Schweiz ferner ein möglichst schonendes Spülprogramm gewählt werden [Böhler et al., 2013].

Eine weitere wesentliche Betriebsgröße kann derzeit nur grob eingegrenzt werden und zwar die Filterstandzeit, die bezogen auf Mikro Schadstoffe von 3.000 bis 16.000 Filterbettvolumina diskutiert wird, aber noch nicht ausreichend belegt ist [KOM-M.NRW, 2015]. In weiteren Versuche wäre, wenn diese Technologie in Frage kommt, die Anzahl der Filterbettvolumina zunächst in Laborversuchen zu verifizieren. Der Einfluss der Hintergrundbelastung, hier vor allem die erhöhte CSB-Belastung, ist für die Standzeit noch nicht hinreichend geklärt. Im Rahmen der Machbarkeitsstudie für die Einbindung einer Anlage zur Spurenstoffelimination mittels Aktivkohle in die Abwasserfiltration der Kläranlage Neuss Ost, Phase II [Herbst und Maus, 2013] wurden umfangreiche Labor- bzw. halbertechnische Adsorptionsversuche durchgeführt hinsichtlich des Durchbruchverhaltens. Das untersuchte Abwasser zeigte in Bezug auf die Parameter CSB und DOC eine im Vergleich zu Münster-Geist noch höhere Abwasserbelastung, was dem hohen industriellen Abwasseranteil dort geschuldet ist. Wurde noch im Vorfeld von 16.000 Bettvolumina ausgegangen, die der Literatur entnommen wurden, wurden aufgrund der Ergebnisse aus den Untersuchungen für die weiteren Betrachtungen nur noch 3.000 Bettvolumina angesetzt. Für die Auslegung einer Adsorptionsstufe mit granulierter Aktivkohle für die Kläranlage Münster-Geist wird so konservativ von 5.000 Bettvolumina ausgegangen. In Abbildung 4-5 und Abbildung 4-6 ist die GAK-Anlage sowohl im Lageplan als auch als Fließbild dargestellt.

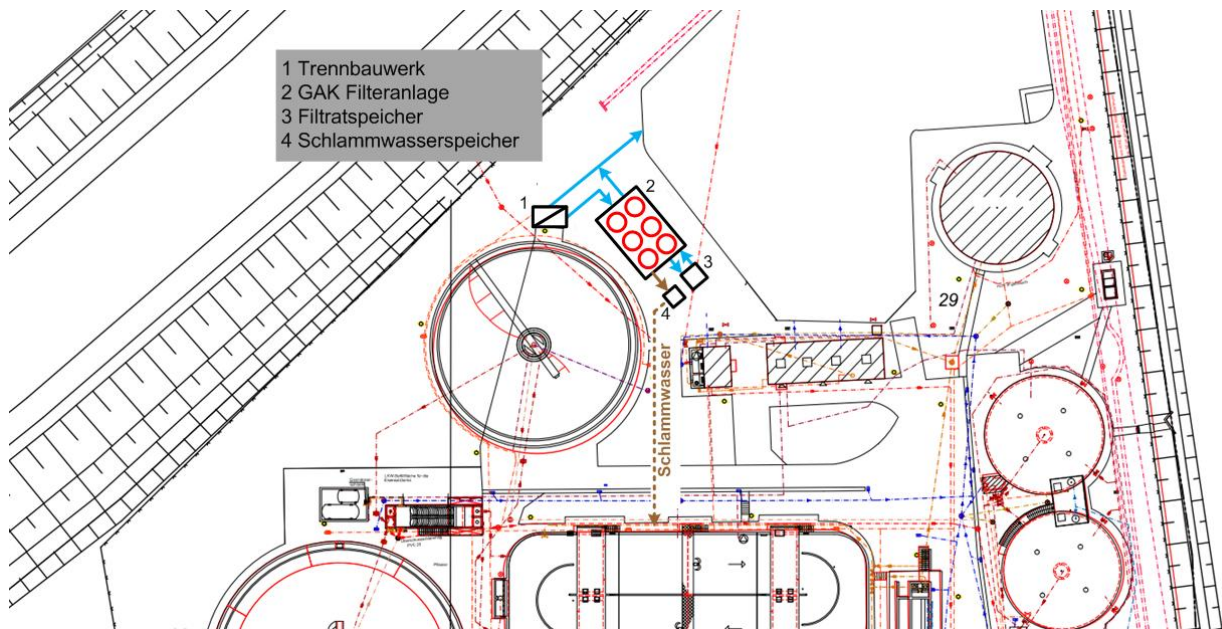


Abbildung 4-5: Lageplan GAK-Filteranlage auf der Münster-Geist

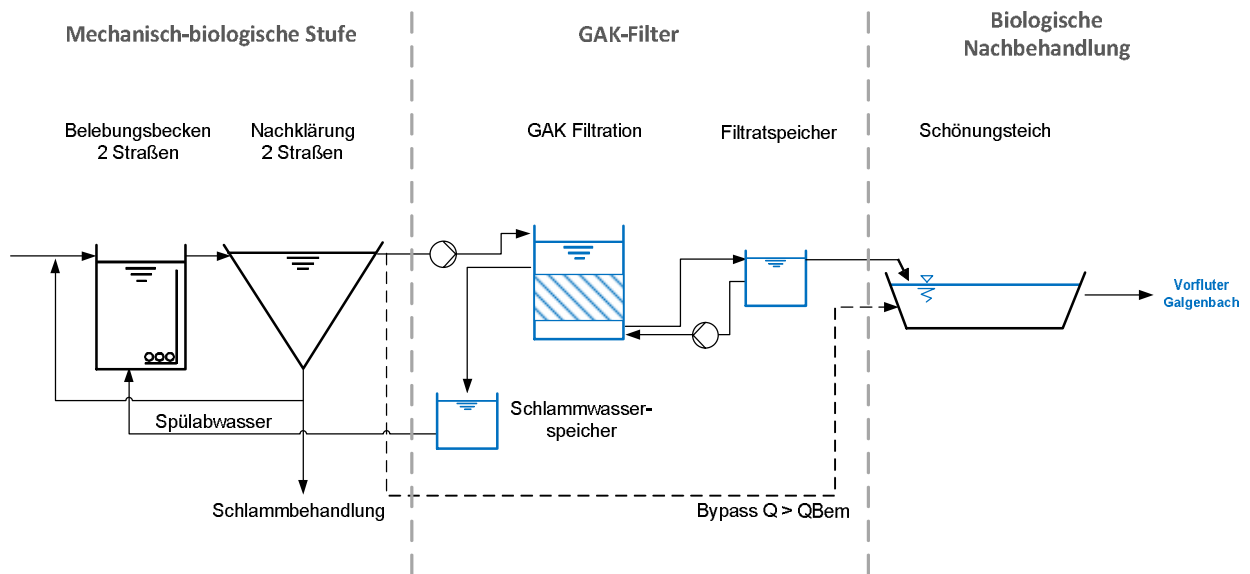


Abbildung 4-6: Fließbild der GAK-Anlage

5 Kostenabschätzung

Im Rahmen der Kostenabschätzung werden die erwarteten Investitions- und Betriebskosten der Varianten ermittelt. Bei den Investitionskosten werden Kosten für die Bautechnik, die Maschinenteknik, die Elektrotechnik sowie Nebenkosten berücksichtigt. Die Betriebskosten enthalten die jährlich anfallenden Kosten für elektrische Energie, Personal, Wartung und Instandhaltung sowie für die verschiedenen verfahrensspezifischen Betriebskosten (Sauerstoff, PAK, GAK etc.).

Die Kostengegenüberstellung erfolgt auf Grundlage der „Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen“ (KVR-Leitlinien, 2012). Hinsichtlich des Anfalls dieser Reinvestitionskosten werden die nachfolgenden Lebensdauern/Abschreibungszeiträume angenommen:

- Bautechnik, Nebenkosten 30 a
- Maschinenteknik 15 a
- Elektrotechnik 10 a

Den Berechnungen wird der von den Leitlinien empfohlene Zinssatz von real 3 % zu Grunde gelegt.

In der nachfolgenden Tabelle 5-1 sind die abgeschätzten Kosten für die einzelnen Varianten gegenübergestellt. Dabei wurden keine Fördermittel für den Anlagenumbau bzw. für die Erweiterung und Reduzierungen aus der Abwasserabgabe berücksichtigt.

Tabelle 5-1: Gegenüberstellung der Investitions-, Betriebs- Kapital- und Jahreskosten sowie spezifische Jahreskosten bezogen auf die behandelte Jahresabwassermenge der betrachteten Varianten

Variante	V 1 Ablauf Nachklärung – Ozonung – Schönungsteich	V 2 Ablauf Nachklärung – PAK – Tuchfiltration- Schönungsteich	V 3 Ablauf Nachklärung – GAK – Schönungsteich
Investitionskosten (netto)	1.131.000 €	1.643.500 €	1.269.000 €
Kapitalkosten	93.004 €/a	128.714 €/a	79.889 €/a
Betriebskosten	59.262 €/a	86.329 €/a	146.367 €/a
Jahreskosten (netto)	152.266 €/a	215.043 €/a	226.256 €/a
Jahreskosten (brutto)	181.196 €/a	255.902 €/a	269.245 €/a
Spezifische Jahreskosten (netto) <small>778.800</small>	0,196 €/m ³	0,276 €/m ³	0,291 €/m ³
Spezifische Jahreskosten (brutto) <small>778.800</small>	0,233 €/m ³	0,329 €/m ³	0,346 €/m ³

Als Ergebnis der Kostenabschätzung stellt Variante 1 „Ozonung mit biologischer Nachbehandlung“ für die Kläranlage Münster-Geist mit spezifischen Netto-Jahreskosten in Höhe von 19,6 Cent/m³ behandeltem Abwasser die wirtschaftlichste Variante dar gefolgt von Variante 2 mit 27,6 Cent/m³ und Variante 3 mit 29,1 Cent/m³. Allgemein lässt sich festhalten, dass bei den Variante 1 und 2 die Kapitalkosten 60 % bzw. die Betriebskosten 40 % der Jahreskosten ausmachen. Bei Variante 3 wird nochmal deutlich, dass hier die Betriebskosten der wesentliche Kostenträger sind. Die Betriebskosten machen hier rd. 65 % der Jahreskosten aus.

6 Empfehlung

Erfordernis zur Mikroschadstoffelimination

Anhaltspunkte für das Erfordernis zur Einbindung einer Stufe zur Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Münster-Geist ergeben sich aus dem Zustand des Vorfluters, der zurzeit einen schlechten ökologischen Zustand aufweist. Im Rahmen des Screenings wurden für mehrere Stoffe Überschreitungen der UQN-Vorschläge im Ablauf der Kläranlage Münster-Geist bzw. unterhalb der Einleitung der Kläranlage festgestellt. Die entsprechenden Stoffe und die Höhe der Überschreitung sind der Tabelle 3-2 zu entnehmen. Einige der relevanten Stoffe im Zulauf der Kläranlage konnte schwerpunktmäßig einzelnen Indirekteinleitern zugeordnet werden. Der kommunale Anteil des Kläranlagenzulaufs trägt jedoch für viele Parameter wesentlich zum Eintrag von Mikroschadstoffen in das Gewässer bei.

Ein eindeutiger kausaler Zusammenhang zwischen dem ökologischen Zustand und den ermittelten Ablaufkonzentrationen der Kläranlage kann aus den Ergebnissen zurzeit nicht zweifelsfrei hergeleitet werden. Eine Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Münster-Geist würde jedoch zu einer deutlich verbesserten Ablaufqualität führen und wäre als freiwillige Maßnahme und ggf. gekoppelt mit Maßnah-

men an den Stoffquellen aus Gewässersicht zu befürworten. So könnte für den Stoff Terbutryn ggf. eine dezentrale Maßnahme bei einem Indirekteinleiter zum Erreichen des UQN-Vorschlags ausreichen. Für eine belastbare Aussage sind jedoch weitere Messungen erforderlich.

Verfahrensempfehlung

Auf Basis der Kostenabschätzung (Kapitel 5) sowie betrieblicher und baulicher Aspekte werden die unterschiedlichen Varianten bewertet. Bei der Ermittlung der Investitionskosten werden keine Förderungen des Landes eingerechnet. Ebenso werden Kostenreduzierungen der Abwasserabgabe z.B. durch eine weitergehende Reduzierung der CSB- und Phosphor-Konzentration im Kläranlagenablauf nicht berücksichtigt. An betrieblichen und baulichen Aspekten werden bewertet:

- Eliminationsleistung Mikroschadstoffe
- Verbesserung der Reinigungsleistung (CSB, AFS, P_{ges})
- Betriebs- und Wartungsaufwand
- Stand der Technik – Wissenschaft (Umsetzung vergleichbarer Referenzlage bzw. Erfahrungen in unterschiedlichen Pilotprojekten oder Forschungsanlagen mit den vorgestellten Techniken)
- Integration in die KA Münster-Geist (z.B. Größe der zu errichtenden Bauwerke bzw. der erforderliche Flächenbedarf).

Von großer Bedeutung sind die Kosten (hier in Form von Kapital- und Betriebskosten, die in Summe die Jahreskosten ausmachen), die zu erwartenden Eliminationsleistungen der Mikroschadstoffe wie auch die Verbesserung der Reinigungsleistung.

Für Bewertungsparameter wird ein Bewertungssystem in Anlehnung an Schulnoten vergeben und dieses mit Punkten belegt. Die Note 1 entspricht 15 Punkten, die Note 2 entsprechend 10 Punkten und die Note 3 entspricht 5 Punkten. Die kleinste Teilung sind Halbnotenschritte (2,5 Punkte). Die einzelnen Bewertungskriterien werden gewichtet.

In der nachfolgenden

Tabelle 6-1 werden die unterschiedlichen Varianten relativ zu einander bewertet (Punktwertung: größte Punktzahl = beste Bewertung)

Tabelle 6-1: Variantenbewertung

Variante	Wichtung [%]	V 1 Ablauf Nachklärung – Ozonung – Schönungsteich		V 2 Ablauf Nachklärung – PAK – Tuchfiltration-Schönungsteich		V 3 Ablauf Nachklärung – GAK – Schönungsteich				
		Punkte	Wertung	Punkte	Wertung	Punkte	Wertung			
Investitionskosten (netto)		1.131.000 €		1.643.500 €		1.269.000 €				
Kapitalkosten (netto)	15%	93.004 €/a	12,9	1,9	128.714 €/a	9,3	1,4	79.889 €/a	15,0	2,3
Betriebskosten (netto)	35%	59.262 €/a	15,0	5,3	86.329 €/a	10,3	3,6	146.367 €/a	6,1	2,1
Wertungspunkte Monetär (gerundet)	50%		7,2			5,0			4,4	
Eliminationsleistung Mikroschadstoffe	20%	hoch	12,5	2,5	sehr hoch	15,0	3,0	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
Betriebs- und Wartungsaufwand	10%	gering	12,5	1,3	mittel	10,0	1,0	mittel	10,0	1,0
Stand der Technik - Wissenschaft	5%	größentechnisch erprobt	12,5	0,6	größentechnisch erprobt	12,5	0,6	größentechnisch erprobt	12,5	0,6
Flächenbedarf	5%	mittel	10,0	0,5	sehr groß	7,0	0,4	groß	9,0	0,5
Wertungspunkte Technik (gerundet)	50%		5,4			6,2			6,3	
Gesamtpunkte (gerundet)	100%		12,6			11,2			10,7	

Die Variante 1 „Ozonung mit biologischer Nachbehandlung“ hat mit 12,6 Punkten die höchste Bewertung bekommen und stellt demnach die Vorzugsvariante für den Bau einer möglichen 4. Reinigungsstufe auf der Kläranlage Münster-Geist dar. Ausschlaggebend für die gute Bewertung sind die monetären Aspekte, da sich hier die Variante 1 deutlich in den Wertungspunkten von Variante 2 und 3 abhebt. Ein so deutlicher Unterschied der einzelnen Varianten ist im Wertungsbereich „Technik“ nicht zu verzeichnen. Einzig beim Bewertungskriterium „Verbesserung der Reinigungsleistung“ werden die Varianten 2 und 3 als effektiver bewertet. Es ergibt sich somit als Ergebnis der Bewertung das Ranking V1 > V2 > V3.

7 Literaturverzeichnis

Böhler, M., Wittmer, A., Heisele, A., Wohlhauser, A., Salhi, L., von Gunten, U., Mc Ardell, C., Longrée, P., Beck, P. und Siegrist, H. (2013): Berichterstattung - Ergänzende Untersuchungen zur Elimination von Mikroverunreinigungen auf der Ara Neugut, Bafu, Bern

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

Erlaubnisbescheid (2013): Erlaubnisbescheid zur Einleitung von gereinigtem Abwasser aus der Kläranlage Münster-Geist in den Galgenbach/ Getterbach

Herbst, H.; Kauffmann, M.; Türk, J.; Launer, M., (2011): Abwasser ozonierung der Kläranlage Duisburg-Vierlinden, Karlsruher Flockungstage 2011 KIT Karlsruher Institut für Technologie, Verlag Siedlungswasserwirtschaft Karlsruhe Schriftenreihe SWW Band 151, Karlsruhe

Herbst, H.; Maus, C. (2013): Einbindung einer Anlage zur Spurenstoffelimination mittels Aktivkohle in die Abwasserfiltration der Kläranlage Neuss Ost, Phase II – Machbarkeitsstudie. http://www.lanuv.nrw.de/wasser/abwasser/forschung/pdf/Abschlussbericht_spurenstoffeliminatio_nPhasell.pdf [Letzter Zugriff 09.07.201]

KOM-M.NRW (2015): Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination. Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW. Hrsg.: ARGE Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW. Stand: 20.03.2015.

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

Rölle, R.; Kuch, B., (2011): „Die Aktivkohlebehandlungsstufe auf der Kläranlage Kressbronn“, In: KA – Korrespondenz Abwasser, Abfall (58), Nr. 11, S. 1038 ff., Hrsg.: GFA – Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e. V., Hennef, ISSN 1866-0029

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