



Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Emsdetten-Austum

Kurzbericht

November 2016

Impressum

Auftraggeber: Stadt Emsdetten

Auftragnehmer: **Sweco GmbH**
Postfach 30 01 06
50771 Köln

Graeffstraße 5
50823 Köln

Bearbeitung: Dipl.-Ing. (FH) Christian Maus M. Sc.
Juliane Schulz, M. Sc.
Dr. Demet Antakyali

Laboranalytik: **OWL Umweltanalytik GmbH**
Westring 93
33818 Leopoldshöhe

Dr. Reinhard Noll

Bearbeitungszeitraum: September 2015 – November 2016

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	II
Abkürzungsverzeichnis	III
1 Veranlassung	1
2 Kläranlage Emsdetten-Austum und Einzugsgebiet	1
3 Abwassereigenschaften und Auslegungswerte der Stufe zur Mikroschadstoffelimination	3
3.1 Standardabwasserparameter und Mikroschadstoffe	3
3.2 Bewertung des Mikroschadstoffeintrags über den Kläranlagenablauf in die Ems – Vergleich zu anderen Mikroschadstoffeinträgen in der Region	4
3.3 Bromidkonzentrationen	5
3.4 Auslegungswassermenge	6
3.5 Eliminationsraten	6
4 Ausarbeitung von technischen Anlagenkonzepten	7
4.1 Variantenauswahl	7
4.2 Variante 1: Ozonung im Bereich des Schönungsteichs	9
4.3 Variante 2: PAK-Dosierung vor den bestehenden Flockungsfilter	9
4.4 Variante 3: PAK-Dosierung in eine nachgeschaltete Membranstufe in den Becken der bestehenden Flockungsfiltration	10
4.5 Variante 4: GAK-Filtration in bestehender Flockungsfiltration	11
5 Vorzugsvariante	12
5.1 Feststellung der Vorzugsvariante	12
5.2 Kosten der Vorzugsvarianten	15
6 Empfehlung	17
6.1 Erfordernis zur Mikroschadstoffelimination	17
6.2 Verfahrensempfehlung	18
Literaturverzeichnis	20

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abbildung 2-1: Luftaufnahme der Kläranlage Emsdetten-Austum mit der Ems als Vorfluter am oberen Bildrand (Google, 2015)	2
Abbildung 3-1: Anteil der behandelbaren Jahresabwassermenge in Abhängigkeit von der Behandlungswassermenge der Stufe zur Mikroschadstoffelimination	6
Abbildung 4-1: Potentielle Flächen zum Bau der vierten Reinigungsstufe in Emsdetten	7
Abbildung 4-2: Wasserspiegellagen auf der Kläranlage Emsdetten-Austum im Bereich Nachklärung – Ablauf Kläranlage (Angaben in m ü. NN)	8
Abbildung 4-3: Anordnungsskizze der Variante 1 auf der Kläranlage Emsdetten-Austum	9
Abbildung 4-4: Anordnungsskizze der Variante 2 auf der Kläranlage Emsdetten-Austum	10
Abbildung 4-5: Anordnungsskizze der Variante 3 auf der Kläranlage Emsdetten-Austum	11
Abbildung 4-6: Anordnungsskizze der Variante 4 auf der Kläranlage Emsdetten-Austum	11

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 3-1: Konzentrationen der Mikroschadstoffe im Ablauf der Nachklärung und Einordnung hinsichtlich der Gewässergüte	3
Tabelle 3-2: Vorschlag für Indikatorsubstanzen für das Monitoringprogramm	3
Tabelle 3-3: Mikroschadstoffkonzentrationen vor und nach der Einleitstelle des Kläranlagenablaufs in die Ems sowie im Ablauf der Kläranlage Emsdetten-Austum	5
Tabelle 3-4: Bromid- und Bromatkonzentrationen im Ablauf der Flockungfiltration	5
Tabelle 5-1: Bewertungstabelle der betrachteten Varianten ohne Berücksichtigung der Minderung der Abwasserabgabe	13
Tabelle 5-2: Bewertungstabelle der betrachteten Varianten unter Berücksichtigung der Minderung der Abwasserabgabe	14
Tabelle 5-3: Variantenempfehlung abhängig vom Schlammentsorgungsweg	14
Tabelle 5-4: Ranking der Varianten unter Berücksichtigung des Klärschlammensorgungsweges	15
Tabelle 5-5: Kosten für Variante 2 „PAK-Dosierung vor den bestehenden Filter“	16
Tabelle 5-6: Kosten für Variante 4 „GAK-Filtration im bestehenden Flockungsfilter“	17
Tabelle 6-1: Vergleich der Screening Ergebnisse aus Emsdetten mit den Screening Ergebnissen anderer Kläranlagen	18
Tabelle 6-2: Zusammenfassende Darstellung der betrachteten Varianten	19

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
AöR	Anstalt öffentlichen Rechts
AOP	Advanced Oxidation Processes
AOX	Adsorbierbare organisch gebundene Halogene
ARA	Abwasserreinigungsanlage
ARW	Arbeitsgemeinschaft der Rheinwasserwerke e. V.
ATT	Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren e. V.
AWBR	Arbeitsgemeinschaft Wasserwerke Bodensee-Rhein
AWWR	Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke an der Ruhr
BT	Bautechnik
CFD	Computational Fluid Dynamics (dt.: Numerische Strömungsmechanik)
DTPA	Diethylentriaminpentaessigsäure
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.
EBCT	Empty Bed Contact Time, Leerbettkontaktzeit
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure
ET	Elektrotechnik
FHM	Flockungshilfsmittel
FM	Fällmittel
GAK	Granulierte Aktivkohle
GOW	Gesundheitlicher Orientierungswert
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
LAS	lineare Alkylbenzolsulfonate
LAWA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
LOX	liquid oxygen, Flüssigsauerstoff
MID	Magnetisch-induktiver Durchflussmesser
MKULNV	Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen
MT	Maschinentechnik
OGewV	Oberflächengewässerverordnung
OW	Orientierungswert
PAK	Pulveraktivkohle
PFT	Perfluorierte Tenside
TCP	Tris(2-chlorisopropyl)phosphat
TS	Trockensubstanz
UFO Plan	Umweltforschungsplan
UQN	Umweltqualitätsnorm
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie

1 Veranlassung

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

Bei der Wahl der Maßnahmen zur Reduktion der Mikroschadstoffeinträge wird ein Multibarrierenansatz verfolgt. Die umweltschädlichen Stoffe sollen dabei möglichst an der Quelle minimiert und ggf. mit unschädlichen Alternativen ersetzt werden. Das ist jedoch nicht immer und für jeden Stoff möglich und eine Vielzahl der Mikroschadstoffe wird dann mit dem Abwasser in kommunale Kläranlagen transportiert oder im Rahmen der landwirtschaftlichen Nutzung sowie durch diffuse Quellen in die Gewässer eingetragen. Für Einträge aus der Landwirtschaft bzw. diffusen Quellen können zurzeit keine belastbaren Abschätzungen angegeben werden. Nachgewiesen ist jedoch, dass eine große Zahl an Mikroschadstoffparametern im Ablauf von Kläranlagen aufzufinden ist. Die persistenten Mikroschadstoffe können dort während der biologischen Behandlung im Abwasserreinigungsprozess nur in begrenztem Maße eliminiert werden und sind im Ablauf der Anlagen nach Stand der Technik noch nachweisbar. Die kommunalen Anlagen gehören daher zu den wichtigen Eintragspfaden der Mikroschadstoffe in die Oberflächengewässer.

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

Ziel dieser Studie ist es, auf Basis eines Screenings des Kläranlagenablaufes auf Mikroschadstoffe, Möglichkeiten zur Einbindung einer Anlage zur Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Emsdetten-Austum 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 Kläranlage Emsdetten-Austum und Einzugsgebiet

Die Kläranlage Emsdetten-Austum wurde 1979 in Betrieb genommen und in den Jahren 1989 bis 1992 um eine dritte Reinigungsstufe zur chemischen Abwasserbehandlung erweitert. Die so ausgebaute Anlage ist für 150.000 E ausgelegt und besaß im Jahr 2014 eine Anschlussgröße von 73.958 Einwohnern (EW_{CSB, 120}).

Das Einzugsgebiet der Kläranlage Emsdetten-Austum umfasst das Stadtgebiet der Stadt Emsdetten sowie das Industriegebiet Süd und damit eine befestigte Fläche von ca. 5,5 km². Die Entwässerung erfolgt primär im Trennsystem. Die Kanalisation der Stadt Emsdetten umfasst je 146 km Schmutz- und Regenwasserkanal und 8 km Mischkanalisation (Stadt Emsdetten, 2009). Ebenfalls an die Kläranlage angeschlossen sind mehrere Stauraumkanäle sowie zwei Regenklärbecken (ELWAS-WEB, 2015). Etwa ein Drittel des Abwassers stammt aus gewerblichen und industriellen Betrieben. Das Indirekteinleiter-Kataster benennt 95 Betriebe, die ihr Abwasser in die Kläranlage Emsdetten-Austum leiten. Von erhöhtem Interesse im Hinblick auf den Eintrag von Mikroschadstoffen sind dabei eine chemische Reinigung, die Metallrecycling Lohmann GmbH sowie die Textilhersteller Schmitz-Werke GmbH & Co. KG und die TWE Vliesstoffwerke GmbH & Co. KG. Darüber hinaus ist in Bezug auf die Mikroschadstoffbelastung des kommunal geprägten Abwassers mit erhöhten Arzneimittelkonzentrationen aus häuslichem Abwasser und verschiedenen Gesundheits- und Pflegeeinrichtungen zu rechnen.



Abbildung 2-1: Luftaufnahme der Kläranlage Emsdetten-Austum mit der Ems als Vorfluter am oberen Bildrand (Google, 2015)

Die Kläranlage Emsdetten-Austum ist eine konventionelle mechanisch-biologische Abwasserreinigungsanlage mit nachgeschaltetem Schönungsteich und abschließender Flockungsfilteranlage zur chemischen Reinigung. Die mechanische Reinigungsstufe umfasst zwei Gegenstrom Stufenrechen und einen Sandfang mit Fettfang. Die biologische Stufe besteht aus zwei Belebungs- und zwei Nachklärbecken, die als Rundbecken ausgeprägt sind. Von den Belebungsbecken befindet sich zurzeit nur ein Becken in Betrieb. Nach der weitergehenden Behandlung des Wassers im Schönungsteich und der Flockungsfilteranlage, gelangt das gereinigte Wasser über ein Auslaufbauwerk in die Ems. Für die Zukunft ist die Errichtung einer Schlammvererdungsanlage geplant. Der ökologische Zustand des Gewässers ist gemäß ELWAS-WEB (2015) an der Stelle der Einleitung als schlecht zu bezeichnen. Der chemische Zustand ist nicht gut. Der Anteil des geklärten Abwassers am MQ der Ems beträgt 0,3 % und der Anteil am MNQ beträgt 2,0 %.

3 Abwassereigenschaften und Auslegungswerte der Stufe zur Mikroschadstoffelimination

3.1 Standardabwasserparameter und Mikroschadstoffe

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

In der ersten Gruppe werden die Konzentrationen der **Standardabwasserparameter** berücksichtigt. Hier liegen die Jahresmittelwerte für die Parameter CSB, Ammoniumstickstoff, Nitrat-Stickstoff, anorganischer Stickstoff, Gesamtstickstoff sowie Phosphor für die Jahre 2012, 2013 und 2014 vor (Maus et al., 2016). Darüber hinaus wurden im Rahmen des Mikroschadstoffscreenings die Konzentrationen für AFS, TOC und CSB (homogenisiert und filtriert) im Ablauf der Nachklärung, im Ablauf des Schönungsteichs sowie im Ablauf der Kläranlage ermittelt. Der DOC wurde für die spätere Auslegung der vierten Stufe aus den während des Screenings gemessenen TOC-Konzentrationen abgeleitet und zu 15 mg/L angenommen. Im Fall der großtechnischen Realisierung einer vierten Reinigungsstufe durch separate Messungen sollte diese Annahme verifiziert werden. Die zweite Gruppe beinhaltet eine Auswahl an **Mikroschadstoffen**. Die zu untersuchenden Substanzen wurden vorab mit der Stadt Emsdetten und der Bezirksregierung Münster abgestimmt. Die Probenahme erfolgte in der Zeit vom 26.10.2015 bis zum 27.10.2015. Die untersuchten Mikroschadstoffe lassen sich den Gruppen Arzneimittelwirkstoffe, Röntgenkontrastmittel, Perfluorierte Substanzen, Benzotriazole, Phenole, Moschusduftstoffe, Pestizide und hormonell aktive Substanzen zuordnen. Die Parameter, für die eine Überschreitung der UQN-Vorschläge für Oberflächengewässer festgestellt wurde, sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt (Tabelle 3-1). Die Anzahl der Parameter mit Überschreitungen ist unter Umständen deshalb so gering, da bei einigen Parametern im Rahmen der Analyse die Bestimmungsgrenze erhöht werden (z.B. aufgrund von Matrixeffekten bzw. Substanzüberlagerungen) musste, so dass für einige Parameter keine Aussage zur genauen Konzentration im untersuchten Wasser gemacht werden konnte.

Tabelle 3-1: Konzentrationen der Mikroschadstoffe im Ablauf der Nachklärung und Einordnung hinsichtlich der Gewässergüte

Probenahmedatum				26.10.15	27.10.15
Parameter		Einheit	UQN		
Arzneimittelwirkstoffe	Carbamazepin	ng/L	500	1.100	1.100
	Diclofenac	ng/L	100	2.600	2.700
	Sulfamethoxazol	ng/L	150	230	320
Pestizide	Terbutryn	ng/L	65	84	99

Zur Datenverdichtung wird ein Monitoringprogramm für eine reduzierte Parameteranzahl und mit einem Probenumfang von mindestens fünf 24-Stunden-Mischproben bei Trockenwetter empfohlen.

Tabelle 3-2: Vorschlag für Indikatorsubstanzen für das Monitoringprogramm

Substanzgruppe	Substanzen
Arzneimittelwirkstoffe	Carbamazepin, Diclofenac, Metoprolol, Sulfamethoxazol
Pestizide	Terbutryn
Korrosionsschutzmittel	1H-Benzotriazol
Standortrelevante Stoffe	Amidotrizoesäure, para-tert-Octylphenol

3.2 Bewertung des Mikroschadstoffeintrags über den Kläranlagenablauf in die Ems – Vergleich zu anderen Mikroschadstoffeinträgen in der Region

Im Rahmen der Studie wurde untersucht, in welchem Verhältnis der Mikroschadstoffeintrag über den Kläranlagenablauf in die Ems zu den übrigen Mikroschadstoffeinträgen in die Ems in der Region Emsdetten steht. Zunächst ist hierfür festzustellen, welche Mikroschadstoffemittenten es in der Region gibt.

Zum einen sind Mikroschadstoffeinträge durch die **Landwirtschaft**, beispielsweise durch das Ausbringen von Düngemittel, möglich. In der Region Emsdetten gibt es eine intensive landwirtschaftliche Flächennutzung. Jedoch sind Mikroschadstoffeinträge durch die Landwirtschaft grundsätzlich nur sehr schwer zu quantifizieren und Erfahrungswerte liegen nicht vor. Es kann demzufolge keine Aussage über den Mikroschadstoffeintrag aufgrund landwirtschaftlicher Nutzung in der Region Emsdetten getroffen werden. Weitere Eintragsquellen für Mikroschadstoffe in die Ems stellen die kommunalen Kläranlagen sowie Direkteinleiter dar. Zu den Mikroschadstoffeinträgen der **Direkteinleitungen** liegen ebenfalls keine Angaben vor. Aufgrund der Art der Einleitungen (Niederschlagswasser von Hallendächern etc.) ist jedoch von keiner hohen Mikroschadstoffbelastung der Direkteinleitungen auszugehen (vgl. Maus et al., 2016). Quantifizierbar sind lediglich die Konzentrationen einzelner Mikroschadstoffe im Ablauf der **Kläranlagen** in der Region Emsdetten. Betrachtet wurden dabei die Kläranlagen Emsdetten-Austum, Saerbeck (Rummler und Harmjanßen, 2015)¹, Greven (Rummler und Harmjanßen, 2014)² und Rheine-Nord (Biebersdorf et al., 2015)³, für die bereits Machbarkeitsstudien und Mikroschadstoffscreenings im Ablauf durchgeführt wurden. Die Untersuchung zeigt, dass die Mikroschadstoffkonzentrationen im Auslauf der Kläranlage Emsdetten-Austum keine bedeutenden Unterschiede zu den Abläufen der anderen benannten Kläranlagen aufzeigen. Ein ausführlicher Vergleich ist leider nur für wenige Mikroschadstoffe möglich, da die Schnittmenge der untersuchten Parameter der Kläranlage Emsdetten-Austum und den übrigen Kläranlagen gering ist (vgl. Maus et al., 2016).

Aufgrund der geringen Datengrundlage hinsichtlich der Mikroschadstoffeinträge anderer Emittenten (z.B. Direkteinleiter oder Landwirtschaft) im Vergleich zu den Kläranlagen ist festzuhalten, dass ein Vergleich der Mikroschadstoffeinträge der Kläranlage Emsdetten-Austum mit anderen Mikroschadstoffeinträgen in der Region nur bedingt durchzuführen ist. Die Tabelle 3-1 lässt jedoch anhand der UQN-Vorschlags-Überschreitungen vermuten, dass die Kläranlagenabläufe im Zusammenhang mit den Mikroschadstoffkonzentrationen in Gewässern eine große Bedeutung besitzen und daher besonderer Berücksichtigung bedürfen. Untersuchungen, die im Vorfeld dieser Machbarkeitsstudie am 27.02.2015, am 28.05.2015 und am 17.07.2015 in der Ems unter- und oberhalb der Einleitstelle sowie im Ablauf der Kläranlage Emsdetten stattgefunden haben, stützen diese Vermutung (vgl. Tabelle 3-3).

Es zeigt sich, dass sich die Mikroschadstoffkonzentrationen oberhalb und unterhalb der Kläranlage voneinander unterscheiden. Dies lässt den Schluss zu, dass die Kläranlagenabläufe einen signifikant verunreinigenden Einfluss auf das Oberflächengewässer besitzen.

¹ Rummler, M; Harmjanßen, K. (2015): „Abschlussbericht - Möglichkeiten der Elimination anthropogener Mikroschadstoffe in der Kläranlage Saerbeck“. Ingenieurbüro Rummler + Hartmann GmbH. Havixbeck, Mai 2015. http://www.lanuv.nrw.de/uploads/tx_mmkresearchprojects/Machbarkeitsstudie_Saerbeck_Abschlussbericht.pdf [Letzter Zugriff: 02.02.2016].

² Rummler, M; Harmjanßen, K. (2014): „Abschlussbericht - Möglichkeiten der Elimination prioritäre Stoffe in der Kläranlage Greven“. Ingenieurbüro Rummler + Hartmann GmbH. Havixbeck, Mai 2014. http://www.lanuv.nrw.de/uploads/tx_mmkresearchprojects/Machbarkeitsstudie_Greven_Abschlussbericht.pdf [Letzter Zugriff: 02.02.2016].

³ Biebersdorf, N.; Kaub, J. M.; Urueta, F. (2015): „Kläranlage Rheine Nord – 4. Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroschadstoffen. Tutthahs und Meyer Ingenieurgesellschaft mbH. Bochum, Februar 2015. http://www.lanuv.nrw.de/uploads/tx_mmkresearchprojects/Studie_Rheine_20150216_m_Anlagen.pdf [Letzter Zugriff: 02.02.2016].

Tabelle 3-3: Mikroschadstoffkonzentrationen vor und nach der Einleitstelle des Kläranlagenablaufs in die Ems sowie im Ablauf der Kläranlage Emsdetten-Austum

Parameter	Konzentration in EMS - Vor Einleitung - [µg/l]	Konzentration - Ablauf Kläranlage - [µg/l]	Konzentration in EMS - Nach Einleitung - [µg/l]	Veränderung
27.02.2015				
Fluoranthen	<20	<20	120	
Carbamazepin	50	560	160	x 3,2
Diclofenac	180	1.800	490	x 2,7
Sulfamethoxazol	50	280	100	x 2,0
Metoprolol	140	1.100	340	x 2,4
Sotalol	<50	290	80	> x 1,6
Clarithromycin	80	480	180	x 2,3
Benzotriazol	1.800	14.000	3.000	x 1,7
28.05.2015				
Carbamazepin	250	980	330	x 1,3
Diclofenac	230	1.500	310	x 1,3
Sulfamethoxazol	40	70	40	x 1,0
Metoprolol	200	680	260	x 1,3
Sotalol	30	70	30	x 1,0
Clarithromycin	80	790	120	x 1,5
Benzotriazol	960	7.500	1.600	x 1,7
17.07.2015				
Carbamazepin	240	1.300	270	x 1,1
Diclofenac	110	2.800	230	x 2,1
Sulfamethoxazol	150	190	140	x 0,9
Metoprolol	490	4.000	580	x 1,2
Sotalol	29	410	41	x 1,4
Clarithromycin	<25	<25	<25	
Benzotriazol	2.400	9.500	2.800	x 1,2

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

3.3 Bromidkonzentrationen

Im Rahmen des durchgeführten Screenings wurden im Ablauf der Flockungsfiltration am 21.08.2015, am 01.09.2015 und am 01.10.2015 die Bromid- und Bromat-Konzentrationen im ablaufenden Wasser der Kläranlage Emsdetten ermittelt. Die Ergebnisse der Messung sind in der nachfolgenden Tabelle veranschaulicht.

Tabelle 3-4: Bromid- und Bromatkonzentrationen im Ablauf der Flockungsfiltration

Parameter	Einheit	21.08.2015	01.09.2015	01.10.2015
Bromid	µg/L	110	130	<50
Bromat	µg/L	<10	<10	<10

3.4 Auslegungswassermenge

Die Kläranlage ist zurzeit auf eine maximale stündliche Regenwassermenge in Höhe von 2.000 m³/h und einen maximalen stündlichen Trockenwetterzufluss in Höhe von 1.030 m³/h ausgelegt. Untersuchungen der Betriebstagebücher zeigen jedoch, dass die Mehrzahl der Abflüsse deutlich unterhalb des maximalen stündlichen Trockenwetterabflusses in Höhe von 1.030 m³/h liegt und von Regenergebnissen beeinflusste Abflüsse bis zu der maximalen stündlichen Regenwassermenge in Höhe von 2.000 m³/h nur sehr selten auftreten. Die Untersuchungen weisen darauf hin, dass die Kläranlage Emsdetten-Austum zurzeit hydraulisch nicht ausgelastet ist und eine tatsächliche Trockenwetterabfluss-Spitze von ca. 500 bis 600 m³/h vorliegt.

Für die nachfolgende Ausarbeitung der technischen Anlagenkonzepte wird eine Auslegungswassermenge der vierten Reinigungsstufe in Höhe von 550 m³/h gewählt. Hiermit würden ca. 95% der Jahresabwassermenge in Höhe von 2.624.000 m³/a behandelt. Die in der vierten Reinigungsstufe jährlich behandelte Abwassermenge würde somit 2.492.800 m³/a betragen. Im Falle einer konkreten Planung ist die Bemessungswassermenge der Anlage zur Mikroschadstoffelimination in Absprache mit den Genehmigungsbehörden festzulegen.

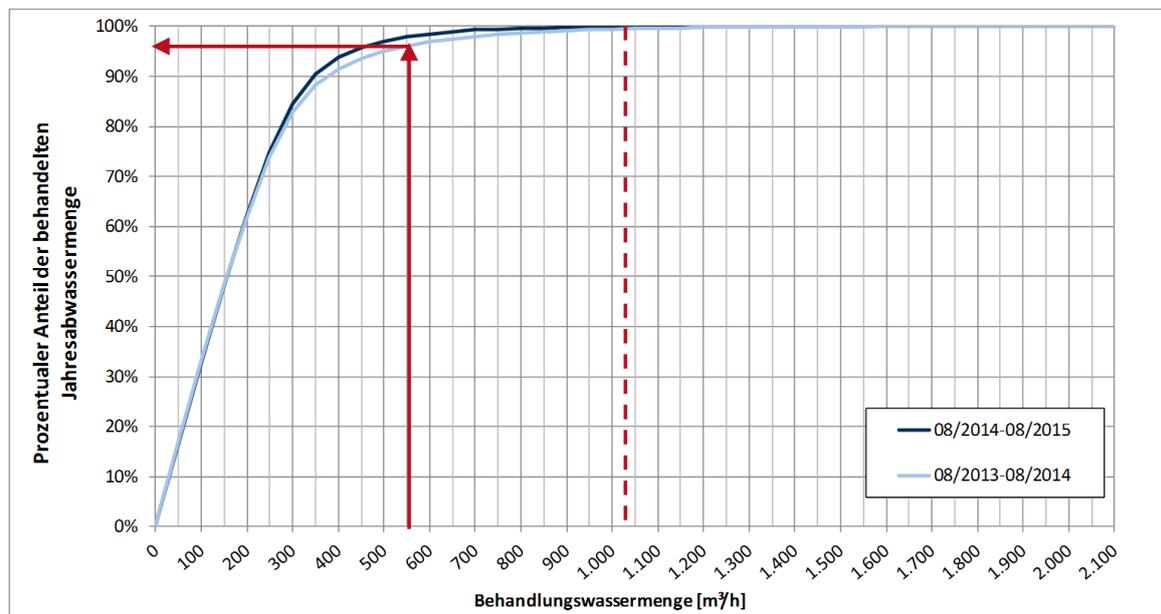


Abbildung 3-1: Anteil der behandelbaren Jahresabwassermenge in Abhängigkeit von der Behandlungswassermenge der Stufe zur Mikroschadstoffelimination

3.5 Eliminationsraten

Die Auslegung der vierten Reinigungsstufe erfolgt derart, dass eine Elimination der standortrelevanten Substanzen und der sensitiven Leitparameter Metoprolol, Carbamazepin, Diclofenac, Sulfamethoxazol, 1H-Benzotriazol und Terbutryn zu 80 % sichergestellt wird. Die Elimination wird bestimmt durch Messungen im Zulauf zur biologischen Stufe und dem Ablauf der vierten Reinigungsstufe und bezieht sich auf die Summe der standortrelevanten Substanzen und der sensitiven Leitparameter (KOM-M.NRW, 2015a).

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

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

4 Ausarbeitung von technischen Anlagenkonzepten

4.1 Variantenauswahl

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

In Emsdetten kommen verschiedene **vorhandene Ressourcen** zur Einbindung in eine vierte Reinigungsstufe in Frage. Zunächst kann die bestehende Flockungsfiltration zur Dosierung von Pulveraktivkohle in den Filterüberstand, für die Errichtung einer GAK-Filtration oder für die Nachbehandlung im Rahmen der Ozonung und bei der PAK-Dosierung in ein separates Kontaktbecken genutzt werden. Darüber hinaus ist der Schönungsteich für die biologische Nachbehandlung im Anschluss an die Ozonung einsetzbar. Das dritte nutzbare Element ist das zweite Belebungsbecken der Kläranlage, das potentiell für die Anlage zur Mikroschadstoffelimination zur Verfügung steht. Hier weist die Sohle des Beckens eine Höhe von 37,5 m auf, während der Ablauf des Nachklärbeckens bei 41,20 m ü. NN liegt. Dadurch würde sich bei einer Beschickung des Beckens im freien Gefälle nur eine geringe Wasserpiegellage einstellen, so dass bei der nachfolgenden Variantenbetrachtung die Nutzung des ungenutzten Belebungsbeckens nicht in die Betrachtung einbezogen wird.

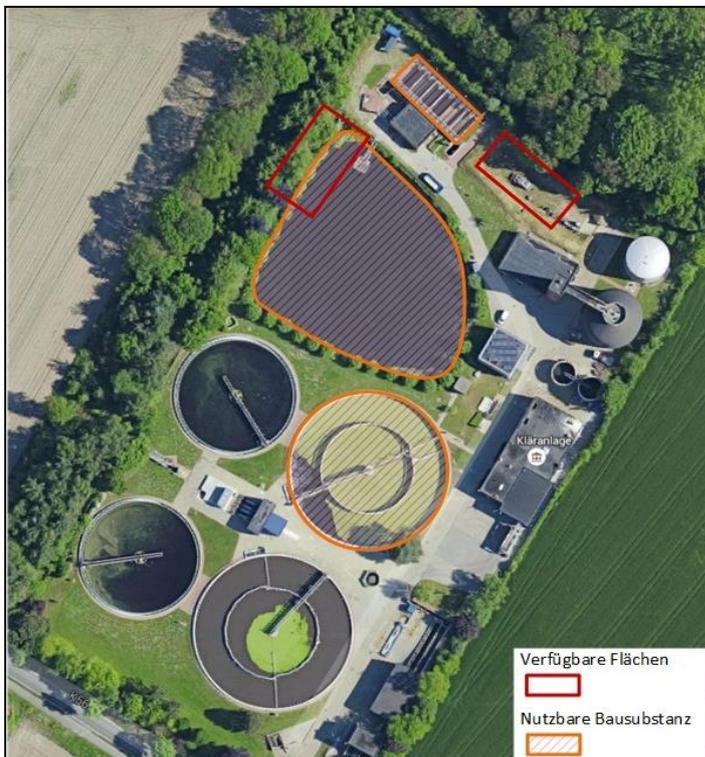


Abbildung 4-1: Potentielle Flächen zum Bau der vierten Reinigungsstufe in Emsdetten

Ergänzend zu der bestehenden Struktur sind zur Vorauswahl der zu betrachtenden Varianten zudem **Freiflächen und mögliche weitere unnutzbare Flächen** von Interesse, auf denen ein Neubau der Anlage zur Mikroschadstoffelimination möglich ist. In Emsdetten ist die Errichtung der vierten Reinigungsstufe auf einer Teilfläche des Schlammponders, der zurzeit nicht permanent genutzt wird, möglich. Da der Schlammponders zukünftig im Rahmen einer Schlammvererdung genutzt werden soll, scheidet seine Nutzung im Rahmen der Mikroschadstoffelimination aus. Alternativ kann eine Anlage zur Mikroschadstoffelimination auf einer Teilfläche des Schönungsteiches errichtet werden. Hierfür müsste die Fläche des Schönungsteiches verringert werden, jedoch ist die Reduktion im Vergleich zur Gesamtfläche des Teiches gering.

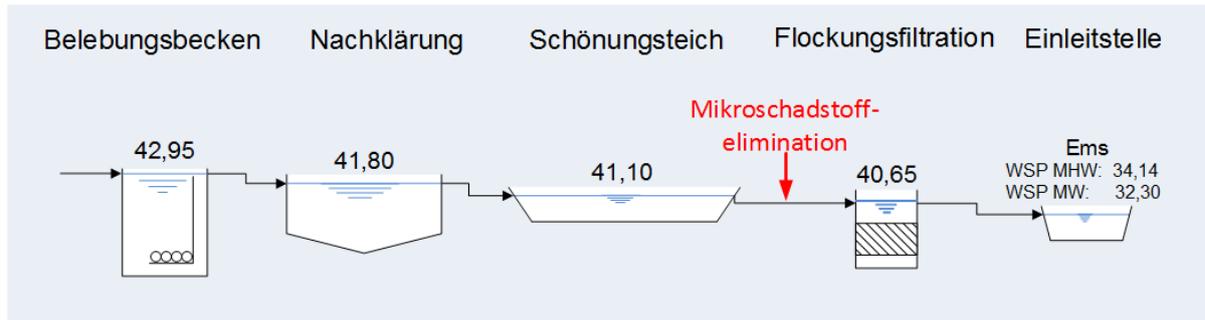


Abbildung 4-2: Wasserspiegellagen auf der Kläranlage Emsdetten-Austum im Bereich Nachklärung – Ablauf Kläranlage (Angaben in m ü. NN)

Als drittes Kriterium bei der Auswahl möglicher Varianten ist die **Hydraulik** der bestehenden Anlage heranzuziehen. Eine schematische Darstellung des hydraulischen Längsschnitts der Kläranlage Emsdetten-Austum ist der Abbildung 4-2 zu entnehmen. Abgebildet ist der relevante Anlagenabschnitt von der Nachklärung bis zum Kläranlageauslauf in die Ems. Eine Einbindung des Schönungsteiches ohne Pumpen ist demnach nur schwer möglich, da die Wasserspiegeldifferenz zwischen dem Ablauf des Nachklärbeckens (41,20 m ü. NN) und dem Schönungsteich nur zehn Zentimeter beträgt. Die Wasserspiegeldifferenz zwischen der Nachklärung und der Flockungsfiltration beträgt dagegen 55 cm. Diese Differenz ergibt sich aus der Höhe des Ablaufs des Nachklärbeckens (41,20 m ü. NN) und der Überfallkante am Zulauf zu den Filterzellen (40,65 m ü. NN). In Abhängigkeit der zu überbrückenden Distanz zwischen Schönungsteich und vierter Stufe bzw. vierter Stufe und Flockungsfiltration kann möglicherweise auf das Heben des zu behandelnden Abwassers verzichtet werden.

Aus den **Abwassereigenschaften** ergeben sich keine weiteren Einschränkungen bei der Variantenauswahl. Die Bromidwerte liegen in Emsdetten im unbedenklichen Bereich, sodass die Ozonung des Abwassers betrachtet werden kann. Zudem liegen die Konzentrationen der abfiltrierbaren Stoffe sowie des gelösten Kohlenstoffs im für Anlagen zur Mikroschadstoffelimination unbedenklichen Bereich, so dass sich keine Einschränkungen hinsichtlich der Auswahl der zu betrachtenden Varianten ergeben.

Auf Basis der oben geschilderten Randbedingungen, wurden aus der Gesamtheit der grundsätzlich umsetzbaren Varianten die folgenden für Emsdetten sinnvollen und vielversprechenden Varianten ausgesucht:

- Variante 1: Neubau Ozonung im Bereich des Schönungsteichs- biologische Nachbehandlung im bestehenden Flockungsfilter
- Variante 2: PAK-Dosierung in den Filterüberstand des bestehenden Flockungsfilters
- Variante 3: PAK-Dosierung in eine nachgeschaltete Membranstufe in den Becken der bestehenden Flockungsfiltration
- Variante 4: GAK-Filtration in bestehender Flockungsfiltration

4.2 Variante 1: Ozonung im Bereich des Schönungsteichs

Die Ozonung wird in der bestehenden Prozessfolge der Kläranlage Emsdetten-Austum dem Schönungsteich nachgeschaltet. Das dort behandelte Abwasser wird anschließend der Flockungsfiltration zur Nachbehandlung zugeleitet und fließt von dort in die Ems. Die Konzeption der Ozonanlage erfolgt als Neubau, während für die Nachbehandlung der bestehende Flockungsfilter genutzt wird.

Das zu behandelnde Abwasser wird dem Schönungsteich über ein neu zu errichtendes Abschlagsbauwerk entnommen. Dieses wird zusammen mit der Ozonanlage auf der nördlichen Teilfläche des jetzigen Schönungsteiches im Bereich des Mönchs errichtet. Der Schönungsteich ist zu diesem Zweck im entsprechenden Bereich zu verfüllen und der bestehende Mönch ist abzureißen (vgl. Abbildung 4-3). Im Anschluss an die Behandlung mit Ozon wird das Abwasser dem Flockungsfilter zur biologischen Nachbehandlung zugeführt. Die Planung sieht diesbezüglich vor, die bestehende Rohrleitung vom Schönungsteich zum Flockungsfilter zu nutzen und den Ablauf der Ozonung an die bestehenden Rohrleitungen anzuschließen.

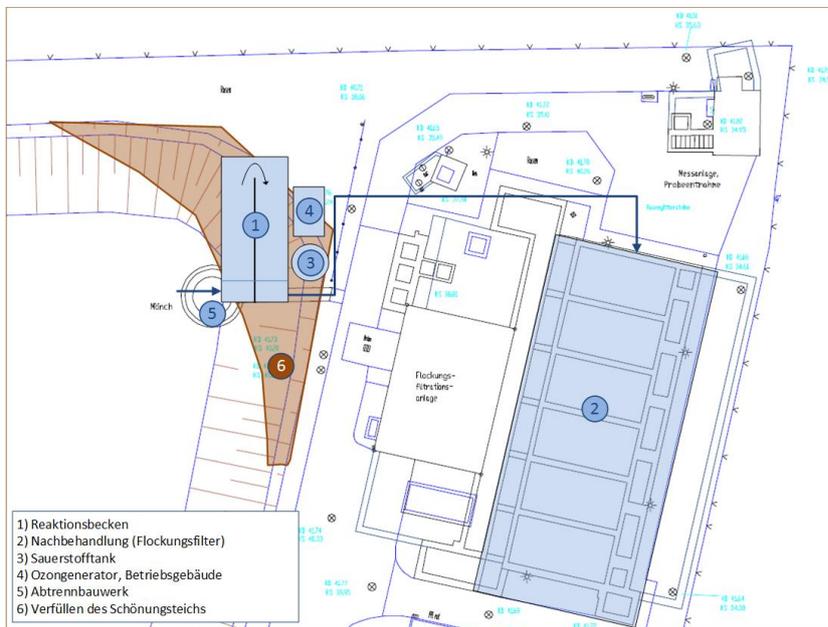


Abbildung 4-3: Anordnungsskizze der Variante 1 auf der Kläranlage Emsdetten-Austum

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

4.3 Variante 2: PAK-Dosierung vor den bestehenden Flockungsfilter

Die zweite Möglichkeit zur Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Emsdetten-Austum stellt die Dosierung von Pulveraktivkohle in den Filterüberstand dar. Änderungen der Prozessabfolge auf der Kläranlage sowie Anpassungen der Hydraulik sind bei dieser Variante nicht erforderlich, da zusätzlich zu den bisherigen Abläufen, lediglich Pulveraktivkohle in den Zulauf zur Flockungsfiltration dosiert werden muss. Die Beschickung der Filterstufe erfolgt wie bisher aus dem Schönungsteich unter Nutzung der bestehenden Leitungen. Der Ablauf der Filterstufe wird wie bisher im freien Gefälle in die Ems eingeleitet. Eine Nachbehandlung ist nicht erforderlich, da die Pulveraktivkohle im Flockungsfilter

direkt wieder abgeschieden wird. Bei dieser Verfahrensvariante wird die Pulveraktivkohle über das Rückspülwasser in die biologische Stufe geführt, um die Verweilzeit der Aktivkohle im Reinigungsprozess zu erhöhen und die Beladung der Aktivkohle zu optimieren. Damit gelangt die Pulveraktivkohle in den Klärschlamm. Von einer landwirtschaftlichen Verwertung der bei der Schlammvererdung entstehenden Klärschlammmerde, in der auch die Pulveraktivkohle eingebunden ist, ist aufgrund einer möglichen Rücklösung der an der Aktivkohle adsorbierten Mikroschadstoffe abzusehen. Stattdessen ist eine thermische Behandlung des Klärschlammes vorzusehen.

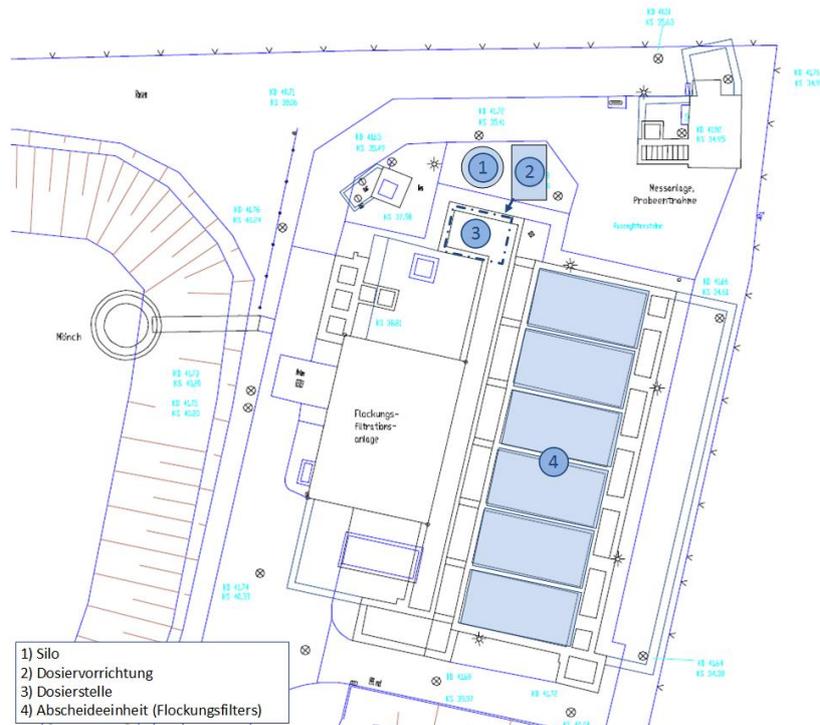


Abbildung 4-4: Anordnungsskizze der Variante 2 auf der Kläranlage Emsdetten-Austum

Der Eintrag der Aktivkohle in den Behandlungswasserstrom vor dem Filter erfolgt über den Mischer der Flockungsfiltration, der zurzeit zum Einmischen von Flockungshilfsmitteln bzw. Eisenchloridsulfat genutzt wird. Baulich sind als Neuerung lediglich die Lagerung der Pulveraktivkohle und eine Dosiereinrichtung für den Eintrag der Pulveraktivkohle in den zu behandelnden Volumenstrom vorzusehen (vgl. Abbildung 4-4). Die Pulveraktivkohle muss dabei zunächst befeuchtet und mit einem Teilwasserstrom vermischt werden, bevor dieser Teilwasserstrom mit dem Hauptstrom vermischt wird. Für das Aufstellen des Silos sind entsprechende Fundamente vorzusehen und der Bereich, der in der Nähe der bestehenden Filtration vorzusehen ist, ist zu befestigen.

4.4 Variante 3: PAK-Dosierung in eine nachgeschaltete Membranstufe in den Becken der bestehenden Flockungsfiltration

Für die Variante 3 ist der bestehende Flockungsfilter umzubauen, indem das Filtermaterial ausgebaut und getauchte Membranmodule eingebaut werden. Änderungen der Prozessabfolge auf der Kläranlage sowie Anpassungen der Hydraulik sind bei dieser Variante nicht erforderlich. Die Beschickung der Filterstufe erfolgt wie bisher aus dem Schönungsteich unter Nutzung der bestehenden Leitungen. Der Ablauf der Filterstufe wird ebenfalls wie bisher im freien Gefälle in die Ems eingeleitet. Eine Nachbehandlung nach der Abscheidung der Aktivkohle ist nicht erforderlich, da durch die Membranen ein vollständiger Rückhalt der Aktivkohle möglich ist. Der Eintrag der Aktivkohle in den Behandlungswasserstrom erfolgt wie in der zuvor beschriebenen Variante 2 über den Mischer der Flockungsfiltration. Baulich sind als Neuerung wie in Variante 2 die Lagerung der Pulveraktivkohle und eine Dosiereinrichtung

zung für den Eintrag der Pulveraktivkohle in den zu behandelnden Volumenstrom vorzusehen. Darüber hinaus müssen jedoch zusätzlich die Membranmodule in den Filtereinheiten installiert werden, nachdem das bestehende Filtermaterial ausgebaut wurde (vgl. Abbildung 4-5).

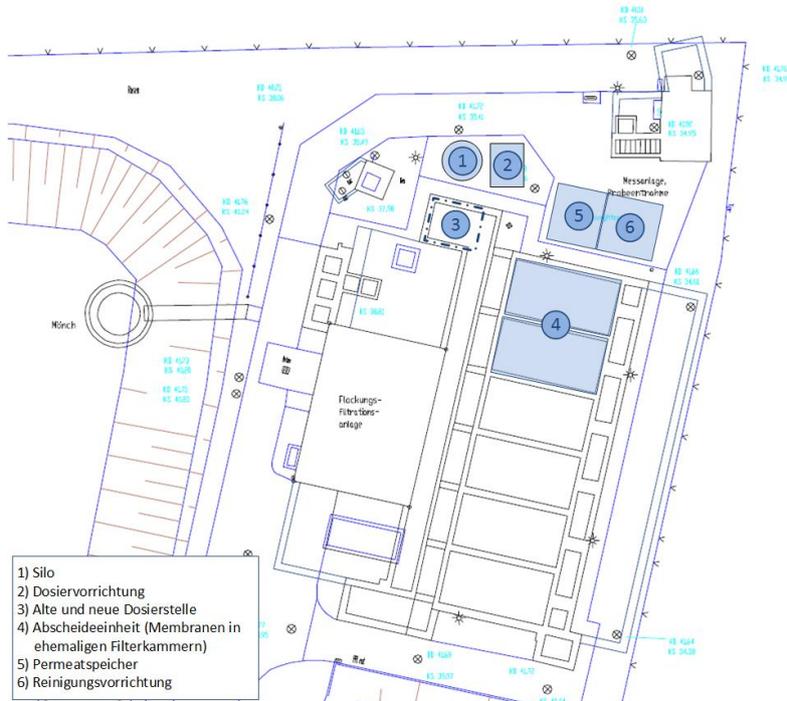


Abbildung 4-5: Anordnungsskizze der Variante 3 auf der Kläranlage Emsdetten-Austum

4.5 Variante 4: GAK-Filtration in bestehender Flockungsfiltration

Variante 4 umfasst den Umbau des bestehenden Flockungsfilters zu einem GAK-Filter, indem das Filtermaterial des bestehenden Filters gegen granulierten Aktivkohle ausgetauscht wird.

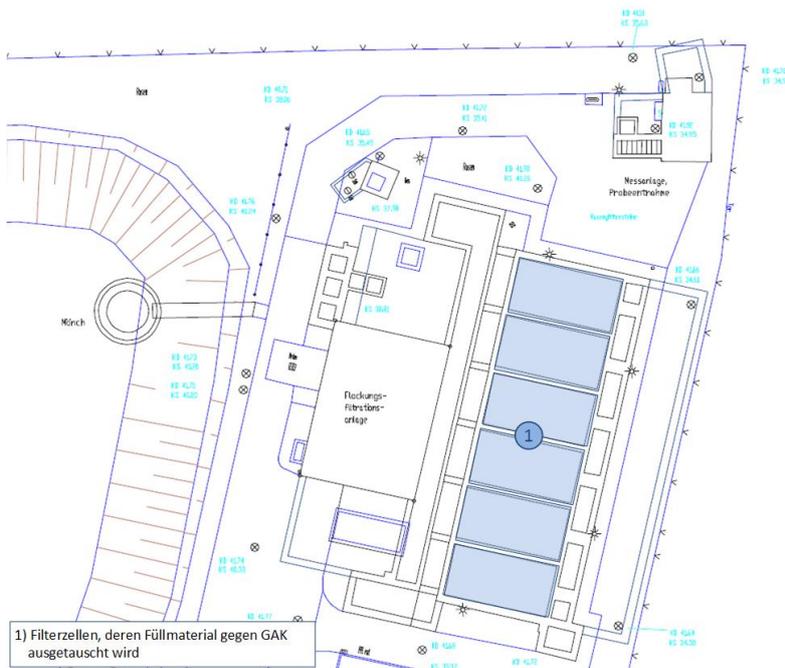


Abbildung 4-6: Anordnungsskizze der Variante 4 auf der Kläranlage Emsdetten-Austum

Änderungen der Prozessabfolge auf der Kläranlage sowie Anpassungen der Hydraulik sind bei dieser Variante nicht erforderlich (vgl. Abbildung 4-6). Die Beschickung der Filterstufe erfolgt wie bisher aus dem Schönungsteich unter Nutzung der bestehenden Leitungen. Der Ablauf der Filterstufe wird wie bisher im freien Gefälle in die Ems eingeleitet, da bei der GAK-Filtration eine zusätzliche Nachbehandlung des behandelten Abwassers nicht erforderlich ist.

5 Vorzugsvariante

5.1 Feststellung der Vorzugsvariante

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

- die Eliminationsleistung Mikroschadstoffe
- die Verbesserung der Reinigungsleistung (CSB, AFS, P_{ges})
- der Betriebs- und Wartungsaufwand
- Stand der Technik - Wissenschaft
- der Flächenbedarf der Varianten auf der Kläranlage Emsdetten-Austum

Einen weiteren Bewertungsaspekt stellt die „Errichtung einer Klärschlammvererdungsanlage dar. Dieser wird separat diskutiert, da durch diese Anlage grundsätzliche Anforderungen an die Schlammbeschaffenheit gestellt werden können, die insbesondere PAK-basierte Verfahren ausschließen. Daher wird zunächst eine Bewertung ohne Berücksichtigung einer Klärschlammvererdung durchgeführt.

In Tabelle 5-1 sind zuerst die Ergebnisse der Bewertung für die in Emsdetten betrachteten Varianten ohne Berücksichtigung der Kostenreduktion durch die Minderung der Abwasserabgabe dargestellt. Es gilt, dass die größte Punktzahl der besten Bewertung entspricht.

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

Variante	Wichtung [%]	Variante 1		Variante 2		Variante 3		Variante 4	
		Ablauf Teich – Ozonung – Filtration		Ablauf Teich - PAK-Dosierung - Abscheidung in Filterbett		Ablauf Teich - PAK-Dosierung - Abscheidung mittels Membranen		Ablauf Teich - GAK-Filtration	
		Punkte	Wertung	Punkte	Wertung	Punkte	Wertung	Punkte	Wertung
Investitionskosten (netto)		1.826.000 €		672.500 €		2.438.500 €		731.000 €	
Investiver Anteil der Jahreskosten, ausgedrückt als spezifische Kosten je m³ behandeltes Wasser (netto)	15%	0,06 €/a	4,4	0,02 €/a	15,0	0,08 €/a	3,3	0,02 €/a	11,4
Betriebskosten, ausgedrückt als spezifische Kosten je m³ behandeltes Wasser (netto)	35%	0,07 €/a	15,0	0,07 €/a	14,4	0,10 €/a	9,8	0,07 €/a	13,6
Wertungspunkte Monetär (gerundet)	50%	5,9		7,3		3,9		6,5	
Eliminationsleistung Mikroschadstoffe	20%	mittel	12,5	mittel	12,5	sehr hoch	15,0	mittel	12,5
Verbesserung der Reinigungsleistung CSB, AFS, Pges	10%	gering	5,0	hoch	10,0	sehr hoch	15,0	hoch	10,0
Betriebs- und Wartungsaufwand	10%	mittel	10,0	gering	12,5	hoch	7,5	gering	12,5
Stand der Technik - Wissenschaft	5%	bereits Anlagen in Betrieb	15,0	größentechnisch untersucht	12,5	geringe größentechnische Erfahrung	7,5	bereits Anlagen in Betrieb	15,0
Flächenbedarf	5%	hoch	7,5	gering	12,5	gering	12,5	sehr gering	15,0
Wertungspunkte Technik (gerundet)	50%	5,1		6,0		6,3		6,3	
Gesamtpunkte (gerundet)	100%	11,0 Punkte		13,3 Punkte		10,2 Punkte		12,8 Punkte	

Tabelle 5-2 zeigt ergänzend die Ergebnisse der Bewertung nach Berücksichtigung der Kostenreduktion durch die Minderung der Abwasserabgabe. Es gilt auch hier, dass die größte Punktzahl der besten Bewertung entspricht.

Kritisch sind alle PAK Verfahren zu sehen, bei einer Klärschlammvererdung mit späterer landwirtschaftlicher Nutzung dieser Erden. Bei einer Klärschlammvererdung sollte von der PAK Dosierung Abstand genommen werden und auf eine GAK oder Ozon-Variante gewechselt werden.

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

Variante	Wichtung [%]	Variante 1			Variante 2			Variante 3			Variante 4		
		Ablauf Teich – Ozonung – Filtration			Ablauf Teich - PAK-Dosierung - Abscheidung in Filterbett			Ablauf Teich - PAK-Dosierung - Abscheidung mittels Membranen			Ablauf Teich - GAK-Filtration		
		Punkte	Wertung	Punkte	Wertung	Punkte	Wertung	Punkte	Wertung	Punkte	Wertung		
Investitionskosten (netto)		1.826.000 €		672.500 €		2.438.500 €		731.000 €					
Investiver Anteil der Jahreskosten, ausgedrückt als spezifische Kosten je m³ behandeltes Wasser (netto)	15%	0,06 €	4,4	0,7	0,02 €	15,0	2,3	0,08 €	3,3	0,5	0,02 €	11,4	1,7
Betriebskosten, ausgedrückt als spezifische Kosten je m³ behandeltes Wasser (netto)	35%	0,07 €	15,0	5,3	0,07 €	14,5	5,1	0,10 €	9,9	3,5	0,07 €	13,7	4,8
Wertungspunkte Monetär (gerundet)	50%	5,9			7,3			4,0			6,5		
Eliminationsleistung Mikroschadstoffe	20%	mittel	12,5	2,5	mittel	12,5	2,5	sehr hoch	15,0	3,0	mittel	12,5	2,5
Verbesserung der Reinigungsleistung CSB, AFS, Pges	10%	gering	5,0	0,5	hoch	10,0	1,0	sehr hoch	15,0	1,5	hoch	10,0	1,0
Betriebs- und Wartungsaufwand	10%	mittel	10,0	1,0	gering	12,5	1,3	hoch	7,5	0,8	gering	12,5	1,3
Stand der Technik - Wissenschaft	5%	bereits Anlagen in Betrieb	15,0	0,8	größentechnisch untersucht	12,5	0,6	geringe größentechnische Erfahrung	7,5	0,4	bereits Anlagen in Betrieb	15,0	0,8
Flächenbedarf	5%	hoch	7,5	0,4	gering	12,5	0,6	gering	12,5	0,6	sehr gering	15,0	0,8
Wertungspunkte Technik (gerundet)	50%	5,1			6,0			6,3			6,3		
Gesamtpunkte (gerundet)	100%	11,0 Punkte			13,3 Punkte			10,3 Punkte			12,8 Punkte		

Unter Berücksichtigung des geplanten zukünftigen Schlammabfuhrweges sind je nach Entsorgungsweg zwei unterschiedliche Varianten der Mikroschadstoffelimination zu benennen:

Tabelle 5-3: Variantenempfehlung abhängig vom Schlammabfuhrweg

Schlammabfuhrweg	A: Faulung und Verbrennung	B: Klärschlammvererdung
Varianteempfehlung	Variante 2; PAK Dosierung im Zulauf zur Filtration	Variante 4: GAK Filtration

Sowohl bei der Betrachtung ohne als auch bei der Betrachtung mit Berücksichtigung der Minderung der Abwasserabgabe erhält die Variante 2 „PAK-Dosierung in den Filterüberstand“ mit jeweils 13,3 Punkten die höchste Bewertung. **Diese Variante 2 ist jedoch unter der Voraussetzung einer landwirtschaftlichen Verwertung der durch die Vererdungsanlage erzeugten Klärschlammkomposte nicht zu empfehlen.**

Unter diesem Gesichtspunkt stellt die Variante 4 „GAK-Filtration“ die Vorzugsvariante für den Bau einer möglichen Stufe zur Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Emsdetten-Austum dar (siehe Tabelle 5-4). Die hohe Punktzahl der Variante 4 beruht sowohl auf der hohen Punktzahl im Bereich der monetären Bewertung als auch auf den Punkten der technischen Bewertungsaspekte. Ausschlaggebend ist bei der monetären Bewertung, dass die Investitionskosten durch den geringen Bauaufwand vergleichsweise gering sind. Im Bereich der technischen Bewertungskriterien sind zudem der geringe Flächenbedarf sowie der geringe Wartungsaufwand bei gleichzeitig guter Reinigungsleistung als vorteilhaft zu nennen. Die Berücksichtigung der Minderung der Abwasserabgabe hat nur einen geringfügigen Einfluss auf die Bewertung und ändert die Rangfolge der Varianten nicht.

Insgesamt ergibt sich die Rangfolge der betrachteten Varianten unter Berücksichtigung des Klärschlamm Entsorgungskonzeptes wie folgt:

Tabelle 5-4: Ranking der Varianten unter Berücksichtigung des Klärschlamm Entsorgungsweges

Ranking	Klärschlamm Entsorgungsweg	
	A: Faulung und Verbrennung	B: Klärschlammvererdung
1. Empfehlung	Variante 2: PAK Dosierung im Zulauf zur Filtration (Filterüberstand)	Variante 4: GAK Filtration
2.	Variante 4: GAK-Filtration	Variante 1: Ozonung mit biologischer Nachbehandlung im bestehenden Filter
3.	Variante 1: Ozonung mit biologischer Nachbehandlung im bestehenden Filter	Variante 2: entfällt
4.	Variante 3: PAK-Dosierung und Abscheidung mittels Membranen	Variante 3: entfällt

5.2 Kosten der Vorzugsvarianten

Tabelle 5-5 stellt die Berechnung der Kosten für die **Variante 2** dar, die beim Schlamm Entsorgungsweg der thermischen Behandlung die 1. Empfehlung darstellt. Diese Variante zeichnet sich durch nur geringfügige bauliche Eingriffe aus, da für die vierte Reinigungsstufe lediglich eine PAK-Lager- und Dosierstation errichtet werden muss. Weitere bauliche Änderungen sind nicht erforderlich. Die Investitionskosten betragen somit ca. 672.500 €, was bei einer Nutzungsdauer von 30 Jahren einem investiven Anteil der Investitionskosten an den Jahreskosten von ca. 41.700 €/a entspricht. Die Betriebskosten der Variante 2 belaufen sich auf ca. 173.700 €/a. Hieraus resultieren Jahreskosten in Höhe von ca. 215.400 €/a bzw. spezifischen Jahreskosten in Höhe von 0,09 €/m³ behandeltes Abwasser.

Tabelle 5-5: Kosten für Variante 2 „PAK-Dosierung vor den bestehenden Filter“

Investitionskosten			Betrach-	Nutzungsdauer n			Zinssatz i	KFAKR	Re-	DFAKE	Re-invest	DFAKE	Investiver Anteil der
Variante 2: PAK vor dem Filter			ungs-				i	(i;n)	invest	(i;n)	nach	(i;n)	Jahreskosten
			zeitraum	Jahre					nach				
Fällmittellager- und Dosierstation													
Baukonstruktion	KG 300	72.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0					3.673 €/a
Technische Anlagen	KG 400	78.000 €	30	MT	15	3,0%	0,0510	15	0,6419				6.534 €/a
PAK Lager- & Dosiereinrichtung													
Technische Anlagen	KG 300	288.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0					14.694 €/a
Gründung	KG 400	22.500 €	30	MT	15	3,0%	0,0510	15	0,6419				1.885 €/a
E-Raum													
Baukonstruktion	KG 300	40.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0					2.041 €/a
E / MSR - Technik	KG 400	35.000 €	30	ET	10	3,0%	0,0510	10	0,7441	20	0,5537		5.889 €/a
Wegeanbindung/Außenanlagen etc.	KG 500	20.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510						1.020 €/a
Baunebenkosten	KG 700	117.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510						5.969 €/a
Summe			672.500 €									41.705 €/a	

laufende Kosten	Kennwerte	Betriebsmittelbedarf bei						Betriebskosten 2.492.792 m³/a	
		Wassermenge		pro TW-Tag		mit Lastfaktor	spezifische Kosten		Kosten pro Tag
		550 m³/h pro Stunde	pro Tag	24 h/d	pro Tag				
PAK	20 g PAK/m³	11,0 kg/h	264,0 kg/d	67%	176,9	1,8 €/kg	318,4 €	116.210 €/a	
Lösewasser	0,05 m³/kg PAK	0,6 m³/h	13,2 km³/d	67%	8,8	1 €/m³	8,8 €	3.228 €/a	
Fällmittel (Wirksubstanz)	0,10 kgFe/kgPAK	1,1 kg/h	26,4 kg/d	67%	17,7				
(Fällmittelmenge)	0,138 kgFe/kgFM			67%	128,2	0,15 €/kg	19,2 €	7.018 €/a	
Energie PAK-Dosierung	1 kWh	1,0 kWh/h	24,0 kW/d	67%	16,1	0,17 €/kWh	2,7 €	998 €/a	
Energie Überschussschleibzug	2 kWh	2,0 kWh/h	48,0 kW/d	50%	24,0	0,17 €/kWh	4,1 €	1.489 €/a	
Energie Rezirkulation (PAK)	2,8 kWh	2,8 kWh/h	66,0 kW/d	50%	33,0	0,17 €/kWh	5,6 €	2.048 €/a	
Schlammensorgung	27 %TS	0,00 m³/h	0,0 m³/d		0,8	80 €/m³	65,2 €	23.793 €/a	
Pulveraktivkohle	100 % von PAK	11,0 kg/h	264,0 kg/d	67%	176,0				
Fällschlamm	2,5 kgTS/kgFe	2,8 kg/h	66,0 kg/d	67%	44,0				
Summe		13,8 kg/h	330,0 kg/d		220,0				
Instandhaltung (1,25 % BT, 3% MT/ET)								9.315 €/a	
Personalkosten	20 h/Monat					40 €/h	38 €	9.600 €/a	
Summe							462 €	173.698 €/a	

Jahreskosten (netto)	2.492.792 m³/a	behandelte Wassermenge	0,09 € pro m³	215.403 €/a
Variante 2				

Wesentlicher Kostenfaktor sind auch bei der vorliegenden Variante die Betriebsmittelkosten, für die Pulveraktivkohle, die etwa 67 % der Betriebskosten und 54 % der Jahreskosten ausmachen.

Variante 2 kann ohne erhebliche Zusatzkosten auch für die Behandlung des Vollstroms in Höhe von $Q = 2.000 \text{ m}^3/\text{h}$ ausgelegt werden. Die Anlage ist hierzu bereits jetzt ausreichend groß dimensioniert, da die Filteranlage zurzeit für den maximalen Zufluss in Höhe von $2.000 \text{ m}^3/\text{h}$ ausgelegt ist. Die Dosierung der Pulveraktivkohle ist in diesem Fall nicht anzupassen, da bei Regenwetter mit geringeren Mikroschadstoffkonzentrationen zu rechnen ist. Lediglich die Kosten für die Flockungshilfsmittel werden an den Zufluss angepasst und erhöht. Die spezifischen Kosten dieser alternativen Variantenausprägung betragen dann, bei einer jährlichen Behandlungswassermenge in Höhe von $2.623.992 \text{ m}^3/\text{a}$, $0,09 \text{ €/m}^3$ behandeltes Abwasser. Eine Vollstrombehandlung mit der Variante 2 kostet demnach nicht mehr als eine Teilstrombehandlung mit dieser Variante (vgl. Maus et al., 2016)

Tabelle 5-6 stellt abschließend die Berechnung der Kosten für **Variante 4** dar, die auf den Vollstrom in Höhe von $Q = 2.000 \text{ m}^3/\text{h}$ ausgelegt wird. Die Investitionskosten dieser Variante betragen ca. 731.000 € , was einem investiven Anteil der Jahreskosten in Höhe von ca. 57.600 €/a entspricht. Zusammen mit den laufenden jährlichen Kosten in Höhe von ca. 193.900 €/a ergeben sich daraus Jahreskosten in Höhe von ca. 251.400 €/a bzw. spezifische Jahreskosten in Höhe von $0,10 \text{ €/m}^3$ behandeltes Abwasser.

Tabelle 5-6: Kosten für Variante 4 „GAK-Filtration im bestehenden Flockungsfilter“

Investitionskosten			Betrachtungs- zeitraum	Nutzungsdauer n	Zinssatz i	KFAKR (i;n)	Re- invest nach	DFAKE (i;n)	Re-invest nach	DFAKE (i;n)	Investiver Anteil der Jahreskosten	
Variante 4: GAK-Filtration												Jahre
GAK-Filtration												
Bautechnik	KG 300	100.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			5.102 €/a	
Technische Anlagen GAK-Filter	KG 400	175.000 €	30	MT	15	3,0%	0,0510	15	0,6419		14.659 €/a	
Erst-Befüllung GAK-Filter	KG 400	258.000 €	30	MT	15	3,0%	0,0510	15	0,6419		21.612 €/a	
E/ MSR-Technik	KG 400	52.000 €	30	ET	10	3,0%	0,0510	10	0,7441	20	0,5537	8.749 €/a
Baunebenkosten	KG 700	146.000 €	30	BT	30	3,0%	0,0510	0			7.449 €/a	
Summe		731.000 €										57.571 €/a

laufende Kosten	Kennwerte	Betriebsmittelbedarf bei			spezifische Kosten	Kosten pro Tag	Betriebskosten 2.623.992 m³/a	
		Wassermenge 2000 pro Stunde	pro TW-Tag 24 h/d	mit Lastfaktor				
Energie Filterspülung GAK	5 kWh	5,0 kWh/h	120,0 kW/d	28%	33,8	0,17 €/kWh	6 €	2.094 €/a
Standzeit	1 Jahr					1100 €/Mg		168.782 €/a
spezifisches Gewicht	50,54 Mg/m³					2000 €/Austausch		
Anzahl Filter	6 Filter							15.800 €/a
Instandhaltung (1,25 % BT, 3% MT/ET)						40 €/h	29 €	7.200 €/a
Personalkosten	15 h/Monat							
Summe							34 €	193.876 €/a

Jahreskosten (netto)	2.623.992 m³/a	behandelte Wassermenge	0,10 € pro m³	251.447 €/a
Variante 4				

Für die Umsetzung der Variante 4 sind die geringsten baulichen Änderungen an der bestehenden Anlage erforderlich. Es ist lediglich der Austausch des bestehenden Filtermaterials gegen granuliert Aktivkohle erforderlich. Darüber hinaus ist die Steuerung der Filteranlage anzupassen, was in den E/MSR-Kosten berücksichtigt ist. Dennoch übersteigen diese Investitionskosten die Investitionskosten der Variante 2, für die ebenfalls ein geringer baulicher Aufwand festgestellt wurde. Dies ist auf die Kosten der Aktivkohle-Erstbefüllung mit neuer Aktivkohle zurückzuführen. Auch bei den Betriebskosten stellt die Aktivkohle den wesentlichen Kostenfaktor dar. Nach der Erstbefüllung der Filterzellen mit neuer Aktivkohle, kann in den Folgejahren die etwas günstigere regenerierte Aktivkohle eingesetzt werden. Die Summe aus Investitions- und laufenden Kosten für das Betriebsmittel „Granulierte Aktivkohle“ beträgt ca. 190.400 €/a und entspricht ca. 76 % der gesamten jährlichen Kosten.

Ein wesentlicher Unterschied der Variante 4 gegenüber den zuvor vorgestellten Verfahrensalternativen ist, dass diese Anlage auf den Vollstrom, $Q_M = 2.000 \text{ m}^3/\text{h}$ ausgelegt ist, während die Varianten 1, 2 und 3 auf den Bemessungswasserstrom in Höhe von $550 \text{ m}^3/\text{h}$ ausgelegt sind.

6 Empfehlung

6.1 Erfordernis zur Mikroschadstoffelimination

Bereits in Abschnitt 3.2 wurde dargelegt, dass die Kläranlagenabläufe einen signifikanten Einfluss auf das Oberflächengewässer haben. Anhaltspunkte für das Erfordernis zum Ausbau der Kläranlage Emsdetten-Austum ist zudem der Zustand der Ems, die der Kläranlage als Vorfluter dient und zurzeit einen schlechten ökologischen Zustand aufweist. Im Rahmen des Screenings wurden für mehrere Parameter Überschreitungen der UQN-Vorschläge im Ablauf der Kläranlage Emsdetten-Austum festgestellt (vgl. Tabelle 3-1). Die vergleichsweise geringe Anzahl an Parametern, bei denen eine Überschreitung festgestellt wurde, ist gegebenenfalls darauf zurückzuführen, dass bei der Bestimmung einiger Parameterkonzentrationen aufgrund von Matrixeffekten oder Substanzüberlagerungen die Be-

stimmungsgrenze erhöht werden musste. Bei diesen Parametern konnte dann keine Aussage hinsichtlich der Überschreitung des UQN-Vorschlags getätigt werden.

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 Emsdetten-Austum würde jedoch zu einer verbesserten Ablaufqualität führen und wäre als freiwillige Maßnahme aus Gewässersicht zu befürworten.

In Tabelle 6-1 sind die oben aufgeführten Parameterkonzentrationen zudem im Vergleich zu den Screening-Ergebnissen anderer Kläranlagen dargestellt. Hierbei zeigt sich, dass das Abwasser aus Emsdetten für das Pestizid Terbutryn hinsichtlich der gemessenen Konzentrationen im Schwankungsbereich der erhobenen Daten liegt. Auffällig ist jedoch, dass vor allem für die Arzneimittel Carbamazepin und Diclofenac überdurchschnittlich hohe Konzentrationen gemessen wurden.

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

Stoffgruppe	Stoff	KA Emsdetten	KA HS	KA BS	KA BB	KA WE	KA MG	KA WA
		[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]
Arzneimittel-wirkstoffe	Carbamazepin	1.100, 1.100	710, 810	640, 720	450, 570	1.700, 1.900	490, 410	970, 1.000
	Diclofenac	2.600, 2.700	1.800, 2.200	610, 840	1.900, 1.500	4.900, 4.900	3.300, 3.700	1.100, 1.300
	Sulfamethoxazol	230, 320	100, 130	400, 410	660, 740	540, 760	870, 700	1.100, 610
	Terbutryn	84, 99	76, 95	130, 110	120, 82	15, 20	170, 190	130, 160

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

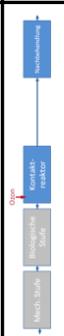
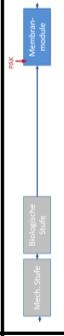
6.2 Verfahrensempfehlung

Für die Kläranlage Emsdetten-Austum wurden die nachfolgend tabellarisch aufgeführten Verfahren und Verfahrenskonfigurationen zur Mikroschadstoffelimination untersucht (Tabelle 6-2). Unabhängig davon, ob die Minderung der Abwasserabgabe infolge einer verbesserten Reinigungsleistung berücksichtigt wurde oder nicht und unter Berücksichtigung der Klärschlamm Entsorgung (Verbrennung vs. Vererdung), erhielt die **Variante 2** dabei aufgrund technischer und monetärer Bewertungsaspekte die beste Bewertung.

Bei einer **NICHT-Errichtung einer Klärschlammvererdung** wird daher bei der großtechnischen Umsetzung einer Reinigungsstufe zur Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Emsdetten-Austum empfohlen die PAK-Dosierung in den Filterüberstand als Vorzugsvariante der vorliegenden Machbarkeitsstudie umzusetzen.

Berücksichtigt man eine **umzusetzende Klärschlammvererdung** erhält die **Variante 4** aufgrund der technischen und monetären Bewertungsaspekte die beste Bewertung. Hier sind dann ggf. weitere labortechnische Untersuchungen durchzuführen im Hinblick auf die Ermittlung der Bettvolumina.

Tabelle 6-2: Zusammenfassende Darstellung der betrachteten Varianten

Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Schema				
Verfahrens-konfigurationen	<p>Q = 550 m³/h</p> <p><u>Dosierung</u></p> <p>Z_{spez} = 0,7 mg O₃/mg DOC</p> <p>B_{O3} = 6 kg O₃ / h</p> <p><u>Kontaktbecken</u></p> <p>t_{Kontakt} = 30 min = 0,5 h</p> <p>V_{Kontakt} = 225 m³</p> <p>H = 5 m</p> <p>A = 9m x 5m</p>	<p>Q = 550 m³/h</p> <p><u>Kontaktbereich</u></p> <p>t_{Kontakt} = 53 min</p> <p>V_{Kontakt} = 485 m³</p> <p><u>PAK-Bedarf</u></p> <p>216 kg PAK / d</p> <p><u>FM-Bedarf</u></p> <p>135 kg FM / d</p>	<p>Q = 550 m³/h</p> <p><u>Kontaktbereich</u></p> <p>t_{Kontakt} = 46 min</p> <p><u>Membrane</u></p> <p>Membranfluss: 23 L/m²·h</p> <p>Umbau von 2 Filterzellen</p> <p>12 Membrankassetten</p> <p><u>PAK-Bedarf</u></p> <p>198 kg PAK / d</p> <p><u>FM-Bedarf</u></p> <p>135 kg FM / d</p>	<p>Q = 2.000 m³/h</p> <p>h_F = 1,75 m</p> <p><u>Regenwetter (6 Zellen beschickt)</u></p> <p>t_{Kontakt, R} = 9 min</p> <p>V_{F, R} = 11,54 m³/h</p> <p><u>Trockenwetter (3 Zellen beschickt)</u></p> <p>t_{Kontakt, T} = 16,5 min</p> <p>V_{F, T} = 6,4 m³/h</p> <p>Beschickung von 3 Zellen</p> <p>Filterstandzeit: 1 Jahr</p> <p>GAK-Bedarf: 155 Mg GAK / a</p>
Vorteile	Geringe Kosten für Bau und Betrieb, kein Anfall zusätzlicher Schlammengen	Günstiger Umbau, geringer Flächenbedarf (vorh. Infrastruktur)	Sehr gute Reinigungsleistung, geringer Flächenbedarf (vorh. Infrastruktur)	Vollstrombehandlung möglich, keine baulichen Änderungen, sehr geringer Flächenbedarf (vorh. Infrastruktur)
Nachteile	Höherer Flächenbedarf, höherer Bauaufwand	Anfall eines Schlammstroms, der nicht für Vererdung genutzt werden kann	Hohe Investitionskosten, teurer Betrieb und hoher Wartungsaufwand (PAK + Membran), Schlammstroms, der nicht für Vererdung genutzt werden kann	GAK als Betriebsmittel teuer Vorversuche zwingend erforderlich
Klärschlamm-ensorgung	thermische Entsorgung Klärschlammvererdung	thermische Entsorgung empfohlen	thermische Entsorgung empfohlen	thermische Entsorgung Klärschlammvererdung
Bewertung	11,0 Punkte	13,3 Punkte	10,2 Punkte	12,7 Punkte

Literaturverzeichnis

- Biebersdorf, N.; Kaub, J. M.; Urueta, F. (2015): „Kläranlage Rheine Nord – 4. Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroschadstoffen. Tutthaus und Meyer Ingenieurgesellschaft mbH. Bochum, Februar 2015. http://www.lanuv.nrw.de/uploads/tx_mmkresearchprojects/Studie_Rheine_20150216_m_Anlagen.pdf [Letzter Zugriff: 02.02.2016].
- ELWAS-WEB (2015): Elektronisches wasserwirtschaftliches Verbundsystem für die Wasserwirtschaftsverwaltung in NRW. www.elwasweb.nrw.de/elwas-web/index.jsf [Letzter Zugriff: 17.12.2015].
- Google (2015): „Google Maps“. Kartendaten © 2015 GeoBasis-DE/BKG (©2009), Google. www.google.de/maps [Letzter Zugriff: 17.12.2015].
- KOM-M.NRW (2015a): „Mikroschadstoffelimination machbar? Wesentliche Inhalte einer Machbarkeitsstudie für Anlagen zur Mikroschadstoffelimination“. Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW. Hrsg.: ARGE Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW. Stand: 20.10.2015.
- KVR-Leitlinien (2012): Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien). Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. 8. überarbeitete Auflage, Juli 2012).
- Maus, C.; Antakyali, D.; Schulz, J. (2016): Abschlussbericht – Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Emsdetten-Austum“. Machbarkeitsstudie. Sweco GmbH. Köln: November 2016 (unveröffentlicht, Stand: 29.11.2016).
- Rummler, M; Harmjanßen, K. (2014): „Abschlussbericht - Möglichkeiten der Elimination prioritäre Stoffe in der Kläranlage Greven“. Ingenieurbüro Rummler + Hartmann GmbH. Havixbeck, Mai 2014. http://www.lanuv.nrw.de/uploads/tx_mmkresearchprojects/Machbarkeitsstudie_Greven_Abschlussbericht.pdf [Letzter Zugriff: 02.02.2016].
- Rummler, M; Harmjanßen, K. (2015): „Abschlussbericht - Möglichkeiten der Elimination anthropogener Mikroschadstoffe in der Kläranlage Saerbeck“. Ingenieurbüro Rummler + Hartmann GmbH. Havixbeck, Mai 2015. http://www.lanuv.nrw.de/uploads/tx_mmkresearchprojects/Machbarkeitsstudie_Saerbeck_Abschlussbericht.pdf [Letzter Zugriff: 02.02.2016].
- Umweltbundesamt (2011): Zusammenstellung von Monitoringdaten zu Umweltkonzentrationen von Arzneimitteln. Texte 66/2011. ISSN 1862-4804