



**Salzgitter Flachstahl GmbH**

Eisenhüttenstraße 99  
38239 Salzgitter

**Anlage 9**  
**Machbarkeitsstudie zur Ertüchtigung der Werkskläranlage der**  
**Salzgitter Flachstahl GmbH im Lichte neuer Anforderungen**

- Antragsunterlagen für eine gehobene wasserrechtliche Erlaubnis  
für die Einleitung von behandeltem Abwasser in den Lahmanngraben -

Stand: 8. Januar 2020

## Anlage 9

---

**Entwurfsverfasser:**

Dr. Born – Dr. Ermel GmbH  
Finienweg 7  
28832 Achim



i. A. Thomas Osthoff

## Anlage 9

---

	<b>Seite</b>
<b>1. Veranlassung.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Planungsgrundlagen .....</b>	<b>3</b>
<b>3. Gegenüberstellung der aktuellen und zukünftigen Anforderungen.....</b>	<b>5</b>
3.1 Aktuelle Anforderungen .....	5
3.2 Zukünftige Anforderungen .....	6
3.2.1 Emissionsansatz gemäß AbwV .....	7
3.2.2 Immissionsansatz gemäß OGewV.....	10
3.3 Zukünftiger Handlungsbedarf auf der Werkskläranlage .....	13
<b>4. Auswahl der Verfahrenstechnischen Varianten .....</b>	<b>18</b>
4.1 Vorauswahl möglicher Verfahren anhand der Parameter .....	18
4.1.1 Abfiltrierbare Stoffe .....	19
4.1.2 Phosphor.....	19
4.1.3 Selen.....	20
4.1.4 Spurenstoffe (PAK, PFOS) .....	20
4.1.5 Cyanid, gesamt .....	21
4.1.6 Verfahrensauswahl und Zusammenfassung .....	21
4.2 Beschreibung der ausgewählten Verfahren.....	23
4.2.1 Flockungsfiltration .....	23
4.2.2 Aktivkohleadsorption.....	25
4.2.3 Oxidation mittels Ozonierung.....	29
4.3 Ableitung von geeigneten Verfahrenskombinationen .....	30
<b>5. Laborversuche zu den ausgewählten Verfahren .....</b>	<b>32</b>
<b>6. Vordimensionierung der ausgewählten Verfahren.....</b>	<b>34</b>
6.1 Dimensionierungsparameter.....	34
6.1.1 Auslegungswassermenge .....	35
6.1.2 Auslegungsparameter.....	40
6.2 Auslegung der Verfahren .....	41
6.2.1 Auslegung der Flockungsfiltration.....	41
6.2.2 Auslegung der Ozonung .....	44
6.2.3 Auslegung der GAK-Filtration .....	45
<b>7. Umsetzung der Verfahrenskombinationen .....</b>	<b>46</b>
7.1 Verfahren 1: Ozonung + Flockungsfiltration .....	46

## Anlage 9

---

7.1.1	Verfahrenstechnische Umsetzung .....	46
7.1.2	Integration in die Werkskläranlage.....	48
7.1.3	Investitionskosten.....	50
7.1.4	Betriebskosten .....	52
7.2	Verfahren 2: Flockungsfiltration + GAK-Filtration .....	52
7.2.1	Verfahrenstechnische Umsetzung .....	52
7.2.2	Integration in die Werkskläranlage.....	54
7.2.3	Investitionskosten.....	56
7.2.4	Betriebskosten .....	57
<b>8.</b>	<b>Prognose der Konzentrationen im Ablauf der Werkskläranlage .....</b>	<b>58</b>
<b>9.</b>	<b>Nutzwertanalyse der ausgewählten Verfahren .....</b>	<b>60</b>
9.1	Kriterien und Gewichtung.....	60
9.1.1	Wirtschaftlichkeit .....	62
9.1.2	Betriebliche Aspekte .....	62
9.1.3	Umweltauswirkungen .....	63
9.2	Ergebnis der Nutzwertanalyse .....	67
<b>10.</b>	<b>Zeitliche Abwicklung .....</b>	<b>69</b>
<b>11.</b>	<b>Handlungsempfehlung .....</b>	<b>70</b>

## Anlagenverzeichnis

<b>Anlage 9.1</b>	<b>Verfahrenstechnische Berechnungen zur Erweiterung der Werkskläranlage</b>
<b>Anlage 9.2</b>	<b>Ergebnisbericht der Laborversuche der TH Ostfalia</b>
<b>Anlage 9.3</b>	<b>Rahmenterminplan zur Erweiterung der Werkskläranlage</b>

## Abbildungsverzeichnis

## Seite

Abbildung 4.1:	Grundprinzip abwärts durchströmter Filter mit Durchlaufspülung [DWA-A 203] .....	23
Abbildung 4.2:	Grundprinzip aufwärts durchströmter Filter mit Durchlaufspülung [DWA-A 203] .....	24
Abbildung 4.3:	Grundprinzip kontinuierlich betriebener Filter [DWA-A 203].....	24
Abbildung 4.4:	Verfahrensprinzip, Ozonung + Flockungsfiltration.....	31
Abbildung 4.5:	Verfahrensprinzip, Flockungsfiltration + GAK-Filter .....	31
Abbildung 5.1:	Eliminationsraten nach entsprechender Behandlungsstufe (** = Mittelwert) .....	32

## Anlage 9

---

Abbildung 6.1: Anteil der behandelten Abwassermenge am Ablauf der Nachklärung im Jahr 2016 (orange = behandelte Abwassermenge bei $Q_{\text{Auslegung},90} = 1.400 \text{ m}^3/\text{h}$ ; grau = unbehandelte Abwassermenge über Bypass).....	36
Abbildung 6.2: Zeitlicher Verlauf der stündlichen Abwassermengen am Ablauf der Nachklärung 2015 - 2017 und Darstellung der behandelten Abwassermenge durch die 4. Reinigungsstufe bei $Q_{\text{Auslegung}} = 1.400 \text{ m}^3/\text{h}$ .....	37
Abbildung 6.3: zu erwartende AFS-Konzentrationen bei Betrieb einer Flockungsfiltration als Teilstrombehandlung ( $Q_{\text{Auslegung}} = 1.400 \text{ m}^3/\text{h}$ ) im Zeitraum von 2015 bis 2017 .....	39
Abbildung 7.1: Ozonung + Flockungsfiltration, Verfahrenstechnische Umsetzung .....	47
Abbildung 7.2: Lageplanskizze der Verfahrenskombination 1 (Ozon + Flockungsfiltration) .....	50
Abbildung 7.3: Flockungsfiltration + GAK-Filtration, Verfahrenstechnische Umsetzung.....	53
Abbildung 7.4: Lageplanskizze der Verfahrenskombination 2 (Flockungsfiltration + GAK-Filter) .....	54

## Tabellenverzeichnis

## Seite

Tabelle 3.1: Überwachungswerte an der Einleitungsstelle in den Lahmanngraben am Ablauf der Abwasserbehandlungsanlage gemäß aktueller gehobener wasserrechtlicher Erlaubnis .	5
Tabelle 3.2: Vergleich zukünftiger Überwachungswerte (ÜW) der Parameter gemäß Teil C der AbwV mit vorhandenen Messwerten (85-Perzentil von 2015-2017 bzw. Mittelwerte aus Sondermessprogramm (SMP) 2018/2019).....	8
Tabelle 3.3: Vergleich zukünftiger Überwachungswerte (ÜW) der Parameter gemäß Teil D der AbwV mit vorhandenen Messwerten (85-Perzentil von 2015-2017 bzw. Mittelwerte aus Sondermessprogramm (SMP) 2018/2019).....	9
Tabelle 3.4: Vergleich der Umweltqualitätsnormen als Jahresdurchschnittswerte (JD-UQN) der Parameter gemäß Anlage 6 der OGewV mit vorhandenen Messwerten am Ablauf der RHB Üfingen (Mittelwerte) .....	11
Tabelle 3.5: Vergleich der Orientierungswerte als Jahresdurchschnittswerte (MW/a) der Parameter gemäß Anlage 7 der OGewV mit vorhandenen Messwerten am Ablauf der RHB Üfingen (Mittelwerte) .....	12
Tabelle 3.6: Vergleich der Umweltqualitätsnormen als Jahresdurchschnittswerte (JD-UQN) der Parameter gemäß Anlage 8 der OGewV mit vorhandenen Messwerten am Ablauf der RHB Üfingen (Mittelwerte) .....	12
Tabelle 3.7: Identifizierter Handlungsbedarf auf der Werkskläranlage der SZFG gemäß der ÜW nach AbwV (Ablauf WKA) und der JD-UQN bzw. Orientierungswerte nach OGewV (Einleitung in die Aue) .....	14
Tabelle 3.8: Phosphorkonzentrationen am Ablauf der WKA und am Ablauf der RHB Üfingen (Mittelwerte) im Vergleich zu den Orientierungswerten der Anlage 7 der OGewV .....	17

## Anlage 9

---

Tabelle 4.1:	Eignung diverser Verfahren für die Aufreinigung der zu behandelnden Parameter.....	18
Tabelle 6.1:	Auslegungsparameter für die Erweiterung der Werkskläranlage .....	40
Tabelle 8.1:	Prognostizierte Konzentrationen im Ablauf vor und nach Umsetzung der Verfahrensvarianten .....	58
Tabelle 9.1:	Kriterien und Gewichtung der Nutzwertanalyse .....	61
Tabelle 9.2:	Bewertung der Parameter im Hauptkriterium „Umweltauswirkungen“ .....	64
Tabelle 9.3:	Ergebnis der Nutzwertanalyse .....	67

## Anlage 9

---

### 1. Veranlassung

Die Salzgitter Flachstahl GmbH (SZFG) betreibt auf dem Werksgelände in Salzgitter-Watenstedt eine mechanisch biologische Abwasserbehandlungsanlage für die Reinigung der anfallenden Abwässer aus den Produktionsanlagen des integrierten Hüttenwerkes der SZFG, der Gewerbe- und Industriebetriebe südlich der Industriestraße Mitte, des Industriegebiets Watenstedt-Ost, sowie der angrenzenden Ortschaften Salzgitter-Drütte, Salzgitter-Immendorf und Salzgitter-Watenstedt. Die Abwasserbeseitigungspflicht in diesem Einzugsgebiet wurde von der Stadt Salzgitter auf die SZFG übertragen.

Die bestehende gehobene Erlaubnis der SZFG wurde am 01.01.1996 erteilt und endet am 31.12.2020. Ebenso endet die Befreiung der Abwasserbeseitigungspflicht der Stadt Salzgitter im Einzugsgebiet der Kläranlage der SZFG zum selben Zeitpunkt.

Zurzeit werden durch die Dr. Born - Dr. Ermel GmbH - Ingenieure – die Antragsunterlagen für eine gehobene wasserrechtliche Erlaubnis gem. § 15 i. V. m. §§ 10, 8, 9 Abs. 1 Nr. 4 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) für die Einleitung von behandeltem Abwasser in den Lahmanngraben erarbeitet und zum 31.10.2019 eingereicht.

Im Zuge der Erarbeitung der Antragsunterlagen ist mittlerweile erkennbar, dass aus den aktuell gültigen gesetzlichen Anforderungen

- der Abwasserverordnung (AbwV 2018)
- der Oberflächengewässerverordnung (OGewV 2016)
- der Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL 2010)

ggf. zukünftig sowohl verschärfte Anforderungen als auch neue Anforderungen an den Ablauf der Werkskläranlage zu stellen sind. Inwieweit sich hieraus zukünftige Überwachungswerte für den Ablauf der Werkskläranlage herleiten lassen, wird zzt. mit dem NLWKN, Braunschweig, abgestimmt.

## Anlage 9

---

In der vorliegenden Machbarkeitsstudie werden nach einer Gegenüberstellung der zzt. gültigen Anforderungen mit den zukünftig neuen Anforderungen die grundsätzlich möglichen Reinigungsverfahren zur Erreichung der zukünftigen Reinigungsziele diskutiert und eine Auswahl in Laborversuchen auf ihre grundsätzliche Eignung hin überprüft.

Für die am ehesten geeigneten Reinigungsverfahren wird dann eine Grobdimensionierung für den Ausbau der Werkskläranlage der Salzgitter Flachstahl GmbH vorgenommen, deren Kostenrahmen ermittelt und in Lageplanskizzen dargestellt. Eine abschließende Bewertung monetärer und nichtmonetärer Kriterien wird mit Hilfe einer Nutzwertanalyse durchgeführt. Der ermittelte Kostenrahmen liegt der Salzgitter Flachstahl GmbH vor, wird aber aus betriebsinternen Gründen in der vorliegenden Anlage 9 nicht detailliert aufgeführt.

Die Machbarkeitsstudie wurde zur wissenschaftlichen Beratung, insbesondere zur Auswahl der geeigneten Verfahren und zur Durchführung von Laborversuchen, durch Herrn Prof. Dr.-Ing. Artur Mennerich von der Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften, Campus Suderburg betreut.

## Anlage 9

---

### 2. Planungsgrundlagen

Im Zuge der Machbarkeitsstudie wurden folgende von der Salzgitter Flachstahl GmbH zur Verfügung gestellte Unterlagen, Pläne und Daten verwendet:

Unterlagen:

- Entwurfsbericht, Bau einer biologischen Abwasserreinigungsanlage Werk Salzgitter, 5. Ausfertigung (1992). Erstellt durch das Ingenieurbüro Dipl.-Ing. Uwe Buss, im Auftrag der PREUSSAG STAHL AG, 12.10.1992, Hannover
- Abschlussbericht, Biologische Reinigung von Stahlwerksabwasser (März 1994) inkl. Nachtrag (1995). Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Universität Braunschweig, Prof. Dr. R. Kayser, Dipl.-Biol. B. Zacharias
- Biologische Stickstoffelimination hemmstoffbelasteter Abwässer am Beispiel eines Eisenhüttenwerks, Bernd Zacharias (1996), Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Universität Braunschweig unter Leitung von Prof. Dr. R. Kayser
- Messwerte und -häufigkeiten im Ablauf der Kläranlage und der Regenrückhaltebecken
- Produktdatenblätter der polymeren Flockungsmittel
- Gehobene Erlaubnis der Abwasserreinigungsanlage

Pläne:

- 336.001.0003A – Lageplan, Biologische Abwasserreinigungsanlage

Daten:

- Abwassermengen und Temperaturen der Jahre 2015 bis 2017
- Betriebstagebuchdaten der Jahre 2015 bis 2017
- Schadstoffmessungen – BVT
- Messkampagne AquaEcology: Chemische Parameter mit Diagrammen (30.10.2018) und Ergebnisse des Schadstoffmonitorings (07.12.2018)
- Sonderanalytik Abwasser für das Jahr 2018/2019
- Abwassermengenmessung (Stundendaten) für das Jahr 2016

Literatur und Regelwerke:

- DWA-A 203 (2019): Arbeitsblatt DWA-A 203, Abwasserfiltration durch Raumfilter nach biologischer Reinigung, 1. Auflage, Hennef, Februar 2019

## Anlage 9

---

- DWA-Themen (2019): Aktivkohleeinsatz auf kommunalen Kläranlagen zur Spurenstoffentfernung – Verfahrensvarianten, Reinigungsleistung und betriebliche Aspekte, T1/2019, 1. Auflage, Hennef, Mai 2019
- Dietrich, G. (2017). Hartinger Handbuch Abwasser- und Recyclingtechnik, 3., vollständig überarbeitete Auflage, Carl Hanser Verlag, München Wien
- KomS (2018): Handlungsempfehlungen für die Vergleichskontrolle und den Betrieb von Verfahrenstechniken zur gezielten Spurenstoffelimination, Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg, Stuttgart, Stand 03/2018
- KOM-M.NRW (2016). Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination, 2. Überarbeitete und erweiterte Auflage. ARGE Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW, Köln
- BAFU (2012): Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser, Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen, Abegglen & Siegrist (Autoren), Bundesamt für Umwelt BAFU, Schweiz (Hrsg.), Bern
- Erosa, M. S. D. (2008): Entfernung von Selen- und Antimon-Spezies aus wässrigen Lösungen mit Hilfe schwach basischer Anionenaustauscher, Dissertation, Fakultät für Chemieingenieurwesen und Verfahrenstechnik der Universität Fridericiana Karlsruhe (TH)
- Jekel, M.; Altmann, J; Ruhl, A. S.; Sperlich, A.; Schaller, J.; Gnirß, R.; Miehe, U.; Stapf, M.; Remy, C.; Mutz, D. (2016): Integration der Spurenstoffentfernung in Technologieansätze der 4. Reinigungsstufe bei Klärwerken. Universitätsverlag der TU Berlin. <http://dx.doi.org/10.14279/depositon-4942>
- Abegglen, C.; Escher, B.; Hollender, J.; Koepke, S.; Ort, C.; Peter, A.; Siegrist, H.; von Gunten, U.; Zimmermann, S.; Koch, M.; Niederhauser, P.; Schäfer, M.; Braun, C.; Gälli, R.; Junghans, M.; Broclet, S.; Moser, R. & Rensch, D. (2009): Ozonung von gereinigtem Abwasser. Schlussbericht Pilotversuch Regensdorf
- Bahr, C.; Ernst, M. & Jekel, M. (2007): Pilotuntersuchungen zur kombinierten oxidativ-biologischen Behandlung von Klärwerksabläufen für die Entfernung von organischen Spuren- und Wirkstoffen und zur Desinfektion. Berlin.
- Bornemann, C.; Alt, K.; Böhm, F.; Hachenberg, M.; Kolisch, G.; Nahrstedt, A.; Taudien, Y. (2015): Technische Erprobung des Aktivkohleeinsatzes zur Elimination von Spurenstoffen in Verbindung mit vorhandenen Filteranlagen "Filter AK+", Abschlussbericht, gerichtet an das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV)
- Speth, T. F.; Patterson, C. L.; Khera, R.; Shoemaker, J. A.; Grimmett, P. E.; Boutin, B. K. (2017): PFOA and PFOS: Treatment and Analytics (Präsentation), 17.02.2017, 12<sup>th</sup> CECIA-IAUPR-Symposium, Puerto Rico.

## Anlage 9

### 3. Gegenüberstellung der aktuellen und zukünftigen Anforderungen

Die aktuellen Überwachungswerte gemäß gehobener wasserrechtlicher Erlaubnis, gültig vom 01.01.1996 bis zum 31.12.2020, werden den zukünftig zu erwartenden Anforderungen ab dem 01.01.2021 gegenübergestellt. Hier ist u. a. die Mischungsrechnung, die im Rahmen der Erarbeitung der Antragsunterlagen für eine neue gehobene Erlaubnis über alle rund 250 Abwasserteilströme durchgeführt wurde, von maßgebender Bedeutung.

Nachfolgend werden die aktuellen Anforderungen gemäß der bestehenden gehobenen wasserrechtlichen Erlaubnis aufgelistet (Kapitel 3.1) und mit den zukünftigen Anforderungen verglichen und ein Handlungsbedarf ausgewiesen (Kapitel 3.2).

#### 3.1 Aktuelle Anforderungen

Die aktuelle gehobene wasserrechtliche Erlaubnis „für die Einleitung von Abwasser aus der Abwasserbehandlungsanlage Preussag-Stahl AG in Salzgitter-Beddingen“ (Az. 502b.62011-II-SZ 17-2) ist bis zum 31.12.2020 erteilt.

In Tabelle 3.1 sind die aktuellen Überwachungswerte (ÜW) an der Einleitungsstelle in den Lahmanngraben am Ablauf der Abwasserbehandlungsanlage aufgelistet.

**Tabelle 3.1: Überwachungswerte an der Einleitungsstelle in den Lahmanngraben am Ablauf der Abwasserbehandlungsanlage gemäß aktueller gehobener wasserrechtlicher Erlaubnis**

Parameter	Abk.	Einheit	Anforderung gemäß bestehender Erlaubnis
pH-Wert	pH	-	6 – 8
Temperatur	T	°C	max. 30
Giftigkeit gegenüber Fischeiern	G <sub>Ei</sub>	-	2,0

## Anlage 9

Parameter	Abk.	Einheit	Anforderung gemäß bestehender Erlaubnis
Chemischer Sauerstoffbedarf	CSB	mg/l	80,0
Biologischer Sauerstoffbedarf	BSB <sub>5</sub>	mg/l	20,0
Ammoniumstickstoff	NH <sub>4</sub> -N	mg/l	3,0
Stickstoff, gesamt anorganisch	N <sub>anorg</sub>	mg/l	15,0
Nitritstickstoff	NO <sub>2</sub> -N	mg/l	1,0
Gesamtphosphor	P <sub>ges</sub>	mg/l	1,0
Kohlenwasserstoffe, gesamt	KW <sub>ges</sub>	mg/l	2,0
Phenolindex	Phenol	mg/l	0,3
Cyanid, leicht freisetzbar	CN <sup>-</sup>	mg/l	0,1
Zink	Zn	mg/l	2,0
Adsorbierbare organisch gebundene Halogene	AOX	mg/l	0,2
Blei	Pb	mg/l	0,03
Cadmium	Cd	mg/l	0,005
Chrom, gesamt	Cr <sub>ges</sub>	mg/l	0,03
Kupfer	Cu	mg/l	0,05
Nickel	Ni	mg/l	0,05
Quecksilber	Hg	mg/l	0,001

### 3.2 Zukünftige Anforderungen

Für die Ermittlung der zukünftigen Anforderungen auf der Werkskläranlage werden zwei Ansätze verfolgt: der Emissionsansatz gemäß den Anforderungen der Abwasserverordnung (AbwV) und der Immissionsansatz gemäß den Anforderungen der gültigen Oberflächengewässerverordnung (OGewV).

## Anlage 9

---

Der Emissionsansatz gem. AbwV ist für die Einhaltung der ÜW am Ablauf der Werkskläranlage in den Lahmanngraben relevant, sprich die Einhaltung der Werte bei den qualifizierten Stichproben.

Der Immissionsansatz gem. OGewV schafft einen Gewässerbezug und im Einzelfall abgeleitete Anforderungen am Ort der Einleitung in den Gewässerkörper, der Aue, bzw. am Ablauf der RHB Üfingen, falls die Einleitung das Erreichen des guten ökologischen Potentials des Gewässerkörpers maßgeblich beeinflusst.

### 3.2.1 Emissionsansatz gemäß AbwV

Mittels der Mischungsrechnung auf Grundlage des Ersatzwertverfahrens sind die neuen, zu beantragenden Überwachungswerte im Ablauf der Nachklärung zukünftig einzuhalten. Diese Werte basieren auf der Abwasserverordnung und müssen daher als qualifizierte Mischprobe eingehalten werden. Zur Ermittlung der neu zu beantragenden Überwachungswerte für den Antrag der gehobenen wasserrechtlichen Erlaubnis wird auf die **Anlage 3.1 der Antragsunterlagen** verwiesen.

Der Vergleich der zu beantragenden ÜW geschieht in erster Linie mit den ausgewerteten Beprobungen der Werkskläranlage im Ablauf der Nachklärung aus den Betriebstagebüchern der Jahre 2015-2017. Es werden die 85-Perzentil-Werte für den Vergleich mit den in der qualifizierten Stichprobe einzuhaltenden ÜW herangezogen. Sind keine Messwerte aus den drei Jahren vorhanden, werden die Mittelwerte aus einem Sondermessprogramm, das im Zeitraum 2018/2019 durchgeführt wurde, mit den anzusetzenden Überwachungswerten verglichen.

In Tabelle 3.2 sind die Parameter nach Teil C aufgeführt. In Tabelle 3.3 sind die Parameter nach Teil D aufgeführt.

Beim Vergleich der zu beantragenden Überwachungswerte mit den vorhandenen Ablaufkonzentrationen besteht lediglich beim Parameter abfiltrierbare Stoffe (AFS) ein Handlungsbedarf in der Zukunft. Alle anderen Parameter liegen am Ablauf der Nachklärung derzeit unterhalb der neuen Überwachungswerte.

## Anlage 9

**Tabelle 3.2:** Vergleich zukünftiger Überwachungswerte (ÜW) der Parameter gemäß Teil C der AbwV mit vorhandenen Messwerten (85-Perzentil von 2015-2017 bzw. Mittelwerte aus Sondermessprogramm (SMP) 2018/2019)

Parameter	Abk.	Einheit	ÜW (zu beantragen)	Mittelwert (SMP 2018/2019)	85-Perzentil (2015-2017)	Bewertung
<b>Parameter gemäß Teil C der produktionsrelevanten Anhänge der AbwV</b>						
Chemischer Sauerstoffbedarf	CSB	mg/l	<b>75,0</b>	32,8	46,00	ok
Biologischer Sauerstoffbedarf	BSB5	mg/l	<b>19,0</b>	3,55	5,00	ok
Abfiltrierbare Stoffe	AFS	mg/l	<b>20,0</b>	-	34,50	zu hoch
Gesamter gebundener Stickstoff	TN <sub>b</sub>	mg/l	<b>16,0</b>	n.V.	-	n.V.
Ammonium-Stickstoff	NH <sub>4</sub> -N	mg/l	<b>3,0</b>	0,05	0,05	ok
Stickstoff, gesamt anorganisch	N <sub>anorg</sub>	mg/l	<b>15,0</b>	5,5	7,3	ok
Nitrit-Stickstoff	NO <sub>2</sub> -N	mg/l	<b>1,0</b>	0,002	0,050	ok
Gesamtphosphor	P <sub>ges</sub>	mg/l	<b>1,0</b>	0,49	0,60	ok
Eisen	Fe	mg/l	<b>3,0</b>	0,65	-	ok
Aluminium	Al	mg/l	<b>0,7</b>	0,14	-	ok
Kohlenwasserstoffe, gesamt	KW <sub>ges</sub>	mg/l	<b>2,0</b>	-	0,22	ok
Fluorid, gelöst	F <sub>gel</sub>	mg/l	<b>19,0</b>	9,6	-	ok
Giftigkeit gegenüber Fischeiern	G <sub>Ei</sub>	-	<b>2,0</b>	1,00	-	ok

## Anlage 9

**Tabelle 3.3: Vergleich zukünftiger Überwachungswerte (ÜW) der Parameter gemäß Teil D der AbwV mit vorhandenen Messwerten (85-Perzentil von 2015-2017 bzw. Mittelwerte aus Sondermessprogramm (SMP) 2018/2019)**

Parameter	Abk.	Einheit	ÜW (zu beantragen)	Mittelwert (SMP 2018/2019)	85-Perzentil (2015-2017)	Bewertung
<b>Parameter gemäß Teil D der produktionsrelevanten Anhänge der AbwV</b>						
Adsorbierbare organisch gebundene Halogene	AOX	mg/l	<b>0,2</b>	0,13	0,16	ok
Arsen	As	mg/l	<b>0,3</b>	0,003	-	ok
Benzol und Derivate	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	mg/l	<b>0,05</b>	-	-	n.V.
Blei	Pb	mg/l	<b>0,03</b>	-	0,02	ok
Cadmium	Cd	mg/l	<b>0,005</b>	-	0,0005	ok
Chlor, freies	Cl <sub>frei</sub>	mg/l	<b>0,02</b>	0,015	-	ok
Chrom VI	Cr <sub>VI</sub>	mg/l	<b>0,02</b>	0,015	-	ok
Chrom, gesamt	Cr <sub>ges</sub>	mg/l	<b>0,03</b>	-	0,01	ok
Cyanid, leicht freisetzbar (lfs)	CN <sup>-</sup>	mg/l	<b>0,1</b>	-	0,02	ok
Hydrazin	N <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	mg/l	<b>1,5</b>	0,0045	-	ok
Kupfer	Cu	mg/l	<b>0,05</b>	-	0,01	ok
Nickel	Ni	mg/l	<b>0,05</b>	-	0,02	ok
Phenolindex nach Destillation und Farbstoffextraktion	Phenol	mg/l	<b>0,3</b>	0	0,03	ok
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe	PAK	mg/l	<b>0,004</b>	0,00024	-	ok
Quecksilber	Hg	mg/l	<b>0,001</b>	-	0,0007	ok
Silber	Ag	mg/l	<b>0,003</b>	0,0005	-	ok
Sulfid, leicht freisetzbar	Sulfid <sub>lf</sub>	mg/l	<b>0,1</b>	0,05	-	ok
Thiocyanat	SCN <sup>-</sup>	mg/l	<b>3,5</b>	0,88	-	ok
Vanadium	V	mg/l	<b>3,5</b>	0,01	-	ok
Zink	Zn	mg/l	<b>2</b>	0,18	0,26	ok
Zinn	Sn	mg/l	<b>1,5</b>	0,0012	-	ok

## Anlage 9

---

### 3.2.2 Immissionsansatz gemäß OGeWV

Die Oberflächengewässerverordnung (OGeWV) basiert auf dem Immissionsansatz der EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL). Sie hat das Ziel, einen guten ökologischen Zustand bzw. ein gutes ökologisches Potential und den guten chemischen Zustand des Gewässerkörpers zu erhalten oder zu erreichen („Verbesserungsgebot“). Eine nachteilige Veränderung des Zustands bzw. des Potentials ist grundsätzlich zu vermeiden („Verschlechterungsverbot“). Bei dem zu betrachtenden Wasserkörper 16053 (Einleitstelle am Ablauf der RHB Üfingen) handelt es sich um einen erheblich veränderten Wasserkörper (HMWB) vom Gewässertyp 18 „lösslehmgeprägte Tieflandbäche“, für den das ökologische Potential zu bewerten ist.

Gemäß § 5 Abs. 2 OGeWV richtet sich die Einstufung des ökologischen Potentials eines erheblich veränderten Oberflächenwasserkörpers nach den in Anlage 3 der OGeWV aufgeführten Qualitätskomponenten. Maßgebend für die Einstufung des ökologischen Potentials ist gemäß § 5 Abs. 4 OGeWV die jeweils schlechteste Bewertung einer der biologischen Qualitätskomponenten nach Anlage 3 Nummer 1 der OGeWV in Verbindung mit Anlage 4. Bei der Bewertung der biologischen Qualitätskomponenten sind die hydromorphologischen Qualitätskomponenten nach Anlage 3 Nummer 2 sowie die entsprechenden allgemeinen physikalisch-chemischen Qualitätskomponenten nach Anlage 3 Nummer 3.2 in Verbindung mit Anlage 7 als Orientierungswerte zur Einstufung unterstützend heranzuziehen. Gemäß § 5 Abs. 5 OGeWV ist das ökologische Potential eines Gewässerkörpers höchstens als mäßig einzustufen, wenn mindestens eine Umweltqualitätsnorm nach Anlage 3 Nummer 3.1 in Verbindung mit Anlage 6 für die chemischen Qualitätskomponenten nicht eingehalten wird.

Die Einstufung des chemischen Zustandes eines Oberflächenwasserkörpers richtet sich gem. § 6 OGeWV nach den in Anlage 8 Tabelle 2 aufgeführten Umweltqualitätsnormen für chemische Stoffe. Erfüllt der Oberflächenwasserkörper diese Umweltqualitätsnormen, stuft die zuständige Behörde den chemischen Zustand als gut ein. Andernfalls ist der chemische Zustand als nicht gut einzustufen.

## Anlage 9

Bei den Parametern nach Anlage 6, 7 und 8 der OGewV sind Jahresdurchschnittswerte heranzuziehen.

In der

- Tabelle 3.4 sind für diejenigen Parameter nach Anlage 6, die für den hier betrachteten Standort relevant sind, die Umweltqualitätsnormen (UQN) als Jahresdurchschnittswerte (JD),
- in der Tabelle 3.5 sind für die standortrelevanten Parameter nach Anlage 7 die Orientierungswerte als Jahresdurchschnittswerte (MW/a) und
- in der Tabelle 3.6 sind für die standortrelevanten Parameter nach Anlage 8 die Umweltqualitätsnormen (UQN) als Jahresdurchschnittswerte (JD)

den aktuell gemessenen Werten aus dem Sondermessprogramm 2017/2018 bzw. bei Standardparametern dem Mittelwert aus den Jahren 2015-2017 an der Messstelle Ablauf RHB Üfingen gegenübergestellt.

Der Vorfluter wird an der Einleitstelle im Trockenwetterfall mit bis zu 98 % aus dem Ablauf der RHB Üfingen gespeist. Daher werden für die Machbarkeitsstudie die JD-UQN bzw. die Orientierungswerte der Anlagen 6, 7 und 8 der OGewV ohne eine weitere „Verdünnung“ für den Vergleich herangezogen.

**Tabelle 3.4: Vergleich der Umweltqualitätsnormen als Jahresdurchschnittswerte (JD-UQN) der Parameter gemäß Anlage 6 der OGewV mit vorhandenen Messwerten am Ablauf der RHB Üfingen (Mittelwerte)**

Parameter	Abk.	Einheit	JD-UQN (Typ 18)	Mittelwert (SMP 2017/2018)	Mittelwert (2015-2017)	Bewertung
<b>Parameter gemäß OGewV, Anlage 6, oberirdische Gewässer ohne Übergangsgewässer</b>						
Cyanid, gesamt	CN <sub>ges</sub>	µg/l	<b>10</b>	31,5	-	zu hoch
Selen	Se	µg/l	<b>3</b>	12	-	zu hoch
Thallium	TI	µg/l	<b>0,2</b>	0,125	-	ok
Diflufenican	DFF	µg/l	<b>0,009</b>	0,00425	-	ok
Flufenacet	FFA	µg/l	<b>0,04</b>	0,01825	-	ok
Mecoprop	MCP	µg/l	<b>0,1</b>	0,03575	-	ok
Nitrobenzol	NBZ	µg/l	<b>0,1</b>	< 0,05	-	ok

## Anlage 9

**Tabelle 3.5: Vergleich der Orientierungswerte als Jahresdurchschnittswerte (MW/a) der Parameter gemäß Anlage 7 der OGewV mit vorhandenen Messwerten am Ablauf der RHB Üfingen (Mittelwerte)**

Parameter	Abk.	Einheit	MW/a (Typ 18)	Mittelwert (SMP 2017/2018)	Mittelwert (2015-2017)	Bewertung
<b>Parameter gemäß OGewV, Anlage 7, Ziffer 2.1.2, Gewässertyp 18</b>						
Sauerstoff	O <sub>2</sub>	mg/l	7	-	-	n.V.
Biologischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen	BSB <sub>5</sub>	mg/l	4	3,1	-	ok
organischer Kohlenstoff, gesamt	TOC	mg/l	7	-	6,40	ok
pH-Wert	pH	-	7 - 8,5	-	8,3	ok
Eisen	Fe	mg/l	1,8	-	0,32	ok
Ortho-phosphat-Phosphor	oPO <sub>4</sub> -P	mg/l	0,07	0,42	-	zu hoch
Phosphor, gesamt	P <sub>ges</sub>	mg/l	0,1	0,54	-	zu hoch
Ammonium-Stickstoff	NH <sub>4</sub> -N	mg/l	0,2	0,17	0,24	zu hoch
Ammoniak-Stickstoff	NH <sub>3</sub> -N	µg/l	2	-	15 *	zu hoch
Nitrit-Stickstoff	NO <sub>2</sub> -N	mg/l	0,05	-	0,10	zu hoch
Chlorid	Cl <sup>-</sup>	mg/l	200	-	267	zu hoch
Sulfat	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	200	-	357	zu hoch

\* Ammoniak-Stickstoff wurde in Abhängigkeit des pH-Wertes und der Temperatur berechnet

**Tabelle 3.6: Vergleich der Umweltqualitätsnormen als Jahresdurchschnittswerte (JD-UQN) der Parameter gemäß Anlage 8 der OGewV mit vorhandenen Messwerten am Ablauf der RHB Üfingen (Mittelwerte)**

Parameter	Abk.	Einheit	JD-UQN (Typ 18)	Mittelwert (SMP 2017/2018)	Mittelwert (2015-2017)	Bewertung
<b>Parameter gemäß OGewV, Anlage 8, oberirdische Gewässer ohne Übergangsgewässer</b>						
Anthracen	ANT	µg/l	0,1	< 0,01	-	ok
Fluoranthren	FAN	µg/l	0,0063	0,0075	-	zu hoch
Benzo(a)pyren	BZP	µg/l	0,00017	0,007	-	zu hoch
Hexabromcyclodecan	HBCD	µg/l	0,0016	0,0004	-	ok
Perfluoroctansulfonsäure	PFOS	µg/l	0,00065	0,0038	-	zu hoch

## Anlage 9

---

Aus den obigen Tabellen ist ersichtlich, dass folgende Parameter die JD-UQN gemäß Anlage 6 der OGewV überschreiten:

- Cyanid, gesamt
- Selen

Folgende Parameter überschreiten den Orientierungswert gemäß Anlage 7 der OGewV:

- Nährstoffe: Phosphor und Stickstoff
- Gelöste Salze: Chlorid und Sulfat

Folgende Parameter überschreiten die JD-UQN gemäß Anlage 8 der OGewV:

- Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK): Fluoranthen und Benzo(a)pyren
- Perfluorooctansulfonsäure (PFOS)

### 3.3 Zukünftiger Handlungsbedarf auf der Werkskläranlage

Für die im Antrag für die gehobene wasserrechtliche Erlaubnis ab 01.01.2021 beantragten Überwachungswerte entsteht für die Werkskläranlage folgender Handlungsbedarf (s. Tabelle 3.7):

- Handlungsbedarf nach AbwV, Reduktion von:
  - Abfiltrierbaren Stoffen (AFS)
- Handlungsbedarf nach OGewV, Reduktion von:
  - Phosphor, gesamt
  - Ortho-Phosphat-Phosphor
  - PAK (Fluoranthen und PAK)
  - Cyanid, gesamt
  - Selen
  - PFOS

## Anlage 9

**Tabelle 3.7: Identifizierter Handlungsbedarf auf der Werkskläranlage der SZFG gemäß der ÜW nach AbwV (Ablauf WKA) und der JD-UQN bzw. Orientierungswerte nach OGewV (Einleitung in die Aue)**

Parameter	Abk.	Einheit	Handlungsbedarf nach		Bewertung (Ablauf der WKA)
			AbwV	OGewV	
Abfiltrierbare Stoffe	AFS	mg/l	gegeben	n.v.	Handlungsbedarf
Ortho-phosphat-Phosphor	oPO <sub>4</sub> -P	mg/l	kein Bedarf	gegeben	Handlungsbedarf
Phosphor, gesamt	P <sub>ges</sub>	mg/l	kein Bedarf	gegeben	Handlungsbedarf
Ammonium-Stickstoff	NH <sub>4</sub> -N	mg/l	kein Bedarf	gegeben	keine Maßnahme
Nitrit-Stickstoff	NO <sub>2</sub> -N	mg/l	n.v.	gegeben	keine Maßnahme
Chlorid	Cl <sup>-</sup>	mg/l	n.v.	gegeben	keine Maßnahme
Sulfat	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	n.v.	gegeben	keine Maßnahme
Fluoranthren	FAN	µg/l	n.v.	gegeben	Handlungsbedarf
Benzo(a)pyren	BZP	µg/l	n.v.	gegeben	Handlungsbedarf
Cyanid, gesamt	CN <sub>ges</sub>	µg/l	n.v.	gegeben	Handlungsbedarf
Selen	Se	µg/l	n.v.	gegeben	Handlungsbedarf
Perfluorooctansulfonsäure	PFOS	µg/l	n.v.	gegeben	Handlungsbedarf

Gemäß der Betrachtung des Immissionsansatzes nach OGewV werden für den Gewässertyp 18 die Orientierungswerte für die gelösten Salze (Chlorid und Sulfat) sowie für die Stickstoffkonzentrationen (Ammonium, Ammoniak und Nitrit) gemäß Anlage 7 der OGewV überschritten. Für diese Parameter wird jedoch kein Handlungsbedarf am Ort der Werkskläranlage identifiziert. Nachfolgend wird dies für die jeweiligen Parameter begründet.

Es wurden zudem für die Phosphor-Ablaufwerte in einem Sondermessprogramm die Einzelfractionen der Phosphor-Zusammensetzung ermittelt (siehe Tabelle 3.8). Die erzielbaren Phosphor-Ablaufkonzentrationen am Ablauf der WKA werden ebenfalls nachfolgend diskutiert.

## Anlage 9

---

### Bewertung der gelösten Salze nach OGewV

Die gelösten Salze Chlorid und Sulfat werden bedingt durch den geogenen Ursprung bereits im Trink- und Brauchwasser in erhöhten Konzentrationen vorgefunden. Eine Entfernung von den gelösten Salzen „end-of-pipe“ am Ort der Werkskläranlage wird als nicht zielführend und nicht wirtschaftlich darstellbar gesehen. Daher wird für den Fall der gelösten Salze kein Handlungsbedarf am Ort der Werkskläranlage identifiziert.

### Bewertung der Stickstoffkonzentrationen nach OGewV

Beim Ammonium- sowie Nitrit-Stickstoff müssen im Ablauf der Nachklärung Überwachungswerte nach AbwV eingehalten werden. Des Weiteren werden für die Bewertung des ökologischen Potentials gemäß OGewV Orientierungswerte für Ammonium- und Nitrit-Stickstoff unterstützend herangezogen. Vergleicht man die gemessenen Konzentrationen für Ammonium- und Nitrit-Stickstoff im Ablauf der Kläranlage (85-Perzentil-Werte aus Tabelle 3.2) mit den Orientierungswerten im Jahresdurchschnitt in Anlage 7 der OGewV, so liegen beide Konzentrationen als 85-Perzentil im Ablauf der WKA deutlich unter den Konzentrationen der Orientierungswerte. Der pH-Wert am Ablauf der Nachklärung liegt zudem bei 7,2 im langjährigen Durchschnitt (2015-2017), so dass ebenfalls am Ablauf der Nachklärung der geforderte Wert für Ammoniak-Stickstoff eingehalten wird.

Vielmehr werden für die Überschreitung diverse natürliche Prozesse auf der Fließstrecke vom Ablauf der Nachklärung bis zur Einleitung in die Aue als Ursache gesehen. Dies sind bspw. Eintrag von organischem Material (Laub, Vogelkot etc.), Hydrolyse von organischem Material (= Abspaltung von Ammonium-Stickstoff), „wilde“ Nitrifikation und/oder Denitrifikation mit Nitrit als Intermediat.

Folglich wird die Werkskläranlage nicht als Verursacher für die Überschreitung der Orientierungswerte für die Stickstoffparameter gemäß Anlage 7 der OGewV gesehen und somit auch kein Handlungsbedarf abgeleitet.

## Anlage 9

---

### Bewertung der Phosphorkonzentrationen nach OGewV

Durch ein Sondermessprogramm wurden sowohl im Ablauf der WKA als auch im Ablauf der RHB Üfingen Phosphorkonzentrationen und die Zusammensetzung des Phosphors im Abwasser untersucht. Die Mittelwerte für die jeweiligen Probenahmepunkte sind in Tabelle 3.8 dargestellt. Aus den Messungen (Stichproben) wird deutlich, dass im Ablauf der Nachklärung im Mittel 0,14 mg/l und im Ablauf der RHB Üfingen 0,10 mg/l refraktärer Phosphor enthalten ist. Es kann somit im rein theoretischen Fall, d.h. bei 100 % Entfernung des partikulären Phosphors und des ortho-Phosphats, maximal eine Ablaufkonzentration von ca. 0,14 mg/l im Ablauf der WKA eingehalten werden.

Daher wird zwar ein Handlungsbedarf hinsichtlich des Parameters Phosphor auf der Werkskläranlage identifiziert. Aufgrund des refraktären Anteils im Phosphor ist die nach OGewV, Anhang 7 für den Gewässertyp 18 geforderte Durchschnittskonzentration technisch jedoch nicht erreichbar.

Des Weiteren muss mit den hier durchgeführten Laborversuchen (siehe **Kapitel 5**) ermittelt werden, welche Reinigungsleistung nach dem Stand der Technik mit vertretbarem Ausmaß ermöglicht werden kann.

Aufgrund der besonderen Situation am Standort der Werkskläranlage und des hohen Anteils von rd. 98 % der Wassermenge am Vorfluter, der Aue, wird daher im Hinblick auf die Phosphor-Konzentration nach EU-WRRL sowohl das Verschlechterungsverbot als auch das Verbesserungsgebot verfolgt. Eine Einhaltung der Orientierungswerte gemäß Anlage 7 der OGewV ist jedoch nicht möglich.

## Anlage 9

**Tabelle 3.8: Phosphorkonzentrationen am Ablauf der WKA und am Ablauf der RHB Üfingen (Mittelwerte) im Vergleich zu den Orientierungswerten der Anlage 7 der OGewV**

Parameter	Abk.	Einheit	MW/a (Typ 18)	Ablauf Nachklärung	Ablauf RHB Üfingen	Bewertung
<b>Sondermessprogramm: Phosphor-Konzentrationen</b>						
Phosphor, gesamt	P <sub>ges</sub>	µg/l	<b>0,10</b>	0,60	0,54	zu hoch
Phosphor, partikulär	P <sub>part</sub>	µg/l	-	0,17	0,01	n.V.
Phosphor, filtriert	P <sub>filt</sub>	µg/l	-	0,43	0,53	n.V.
Ortho-phosphat-Phosphor	oPO <sub>4</sub> -P	µg/l	<b>0,07</b>	0,29	0,42	zu hoch
Phosphor, filtriert, refraktär	P <sub>filt,ref</sub>	µg/l	-	0,14	0,10	n.V.

## Anlage 9

### 4. Auswahl der Verfahrenstechnischen Varianten

#### 4.1 Vorauswahl möglicher Verfahren anhand der Parameter

In **Kapitel 3.3** ist der Handlungsbedarf, basierend auf den zu behandelnden Parametern, auf der WKA der Salzgitter Flachstahl GmbH dargestellt. In der nachfolgenden Tabelle 4.1 sind die möglichen Behandlungsverfahren für die einzelnen Parameter nach grundsätzlicher Eignung ausgewiesen und nachfolgend kurz erläutert:

**Tabelle 4.1: Eignung diverser Verfahren für die Aufreinigung der zu behandelnden Parameter**

		Flockungfiltration	Adsorption an Aktivkohle	Oxidation mittels Ozonung	AOP (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , UV)	nachgeschaltete biol. Reinigung (BAK)
<b>Standard-Parameter</b>						
Abfiltrierbare Stoffe	AFS	+	o **	-	-	o
Phosphor, gesamt	P <sub>ges</sub>	+	-	-	-	o
ortho-Phosphat-Phosphor	oPO <sub>4</sub> -P	+	-	-	-	-
<b>Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)</b>						
Fluoranthen	FAN	-	+	+	+	o
Benzo(a)pyren	BZP	-	+	+	+	o
<b>Perfluorierte Tenside (PFT)</b>						
Perfluorooctansulfonsäure	PFOS	-	+	+	+	o
<b>Cyanide</b>						
Cyanid, gesamt	CN <sub>ges</sub>	-	-	o/+ §	+ §	-
<b>Metalle o.ä.</b>						
Selen	Se	+ #	-	-	-	-

\*\* nur in Festbettadsorber entfernbar (GAK), höhere Rückspülraten erforderlich

# mit Eisen(III)-Salzen mittelgut bis gut entfernbar

§ pH-Wert Anhebung auf > 10 empfohlen, da Gefahr von HCN-Bildung

## Anlage 9

---

Neben den in Tabelle 4.1 aufgeführten Verfahren wären auch Membranverfahren für die Aufreinigung der zu behandelnden Parameter technisch geeignet, da Membranverfahren wegen der definierten Porenstruktur einen sehr hohen Abtrennungsgrad von Feststoffen aufweisen. Bei diesen Verfahren müssen jedoch im Vergleich zu konventionellen Filtrationsverfahren hohe Differenzdrücke hergestellt werden. Somit sind diese deutlich energieintensiver. Zusätzlich müssen die Membranen regelmäßig mittels Chemikalieneinsatz gespült werden, um biologische und mineralische Ablagerungsbildung (sogenanntes Fouling und Scaling) vorzubeugen. Ferner entsteht ein Retentat, das hoch aufkonzentrierte Stoffe, u. a. Salze, enthält. Dieses Retentat muss entsprechend gesondert entsorgt werden, wodurch eine Verlagerung von Umweltbelastungen in andere Medien erfolgt.

Wegen des hohen Strom- und Chemikalienverbrauchs und der Produktion von Retentat, das aufgrund der hohen Chlorid- und Sulfatkonzentrationen im Abwasser als problematisch einzustufen ist, wird von Membranverfahren in dieser Studie abgesehen.

### 4.1.1 Abfiltrierbare Stoffe

Eine weitergehende Entfernung von abfiltrierbaren Stoffen (AFS) kann grundsätzlich über Filtrationsverfahren, bei denen eine Fest-Flüssig-Trennung durchgeführt wird, erzielt werden. Die Entfernung kann durch Agglomeration (Flockenbildung) z.B. durch eine Flockungsfiltration verbessert werden.

### 4.1.2 Phosphor

Eine weitergehende Phosphorentfernung kann durch eine weitere Nachfällung in Kombination mit einer Filtration (=Flockungsfiltration) realisiert werden. Limitierender Faktor bei der Entfernungsleistung ist der Anteil des refraktären Phosphors und die Feststoffabscheidung der Filtration.

## Anlage 9

---

### 4.1.3 Selen

Ebenso wie beim Phosphor kann Selen mit Eisen-(III)-Salzen gefällt und mit Filtrationsverfahren entfernt werden (Erosa 2008). Dies gilt analog für weitere mögliche (Schwer-)Metalle.

### 4.1.4 Spurenstoffe (PAK, PFOS)

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) sowie Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) gehören zu den sogenannten anthropogenen Spurenstoffen, die nur unzureichend in einer biologischen Kläranlage entfernt werden können. Diese Stoffe werden industriell für spezielle Anwendungen hergestellt, finden sich in gelöster Form im Abwasser wieder und können in der konventionellen biologischen Reinigung aufgrund ihrer Persistenz nicht abgebaut werden. Zwar können PAK an den Belebtschlamm teilweise adsorbiert und mit diesem über den Schlammweg aus dem Abwasser entfernt werden, jedoch sind die Grenzwerte für diese Stoffe im Gewässer so niedrig, dass die Restkonzentrationen diese übersteigt.

Basierend auf zurückliegende bundes- und EU-weite Forschungsprojekte bspw. im Projektverbund RiS-KWa des BMBF wurden mehrere Verfahren und Verfahrenskombinationen hinsichtlich ihrer Eignung für die Spurenstoffentfernung untersucht. Dabei ging es auch um eine mögliche Breitbandwirkung der Verfahren, um so möglichst viele anthropogene Spurenstoffe aus der Abwassermatrix zu entfernen.

Hierbei haben sich die Adsorption an Aktivkohle sowie die Oxidation mittels Ozonung als die Verfahren etabliert, die verfahrenstechnisch sinnvoll und wirtschaftlich vertretbar im großtechnischen Einsatz auf Kläranlagen zum Einsatz kommen können.

Weitere Verfahren wie die Oxidation mittels des sog. Advanced Oxidation Process (AOP) mittels Wasserstoffperoxid ( $H_2O_2$ ) und UV-Bestrahlung besitzen den ähnlichen Effekt wie die Ozonung, fallen jedoch wegen der hohen Betriebskosten als unwirtschaftlich weg.

## Anlage 9

---

Ähnliches gilt für die Membranverfahren, bei denen ein sehr hoher betrieblicher Aufwand (Herstellung der Druckdifferenzen) einen großtechnischen Einsatz auf einer Kläranlage in Frage stellt.

Die nachgeschalteten biologischen Verfahren wie die biologische Aktivkohle-Filtration konnten bisher in diversen Versuchen keinen gesicherten Nachweis eines gezielten Abbaus von Spurenstoffen nachweisen, so dass diese Verfahren gegenüber der Aktivkohleadsorption und der Ozonung ebenfalls keinen Vorteil bieten und nicht weiter betrachtet werden.

### 4.1.5 Cyanid, gesamt

Nach einschlägiger Literatur (u.a. Dietrich 2017) kann Cyanid im Wesentlichen durch eine Oxidation aus dem Abwasser entfernt werden.

Als Standardverfahren für die Oxidation werden in der Literatur die verbreiteten Methoden mittels Oxidationsmittel wie Natriumhypochlorit (NaOCl) oder des sog. Advanced Oxidation Process (AOP) mittels Wasserstoffperoxid ( $H_2O_2$ ) und UV-Bestrahlung beschrieben. Ozonung als alternatives Oxidationsverfahren ist dennoch auch möglich, im spezifischen Einsatz zur Cyanid-Entfernung jedoch nicht als Standardverfahren in Dietrich (2017) dargestellt.

Zur Entfernung von Cyanid aus dem gereinigten Abwasser wird empfohlen, Versuche mittels Ozonung zur Wirksamkeit durchzuführen (siehe **Kapitel 5**).

### 4.1.6 Verfahrensauswahl und Zusammenfassung

Den Handlungsbedarf berücksichtigend können die zu entfernenden Stoffe in zwei Gruppen unterteilt werden:

## Anlage 9

---

1. Filtrationsverfahren inkl. Flockung
  - AFS
  - Phosphor
  - Selen
2. Verfahren zur Spurenstoffelimination (Breitbandwirkung)
  - PAK
  - PFOS
  - Cyanid (Oxidation)

Nachfolgend werden die geeignetsten Verfahren für die jeweilige Verfahrensgruppe ausgewählt:

### Filtrationsverfahren inkl. Flockung

Die Flockungsfiltration hat folgendes Verfahrensprinzip: die Überführung von gelösten Bestandteilen wie Phosphate oder Metalle in den ungelösten Zustand mit anschließender Fest-Flüssig-Trennung.

Es wird nachfolgend eine Flockungsfiltration (Raumfiltration) als Verfahren berücksichtigt. Die möglichen Verfahrensumsetzungen einer Flockungsfiltration werden in Kapitel 4.2.1 dargestellt und eine mögliche Umsetzung für die Werkskläranlage beschrieben.

### Verfahren zur Spurenstoffelimination

In Kapitel 4.2 werden mögliche Verfahren zur Spurenstoffelimination aufgeführt. Aufgrund der Breitbandwirkung und der bereits vorhandenen großtechnischen Erfahrungen werden in dieser Studie Verfahren mittels Aktivkohleadsorption und mittels Oxidation durch Ozonung berücksichtigt. In Kapitel 7 wird auf die konkrete Umsetzung der Verfahren auf der Werkskläranlage der SZFG eingegangen.

Weitere mögliche Verfahren wie AOP, nachgeschaltete biologische Verfahren oder Membranverfahren konnten sich gegenüber der Aktivkohle- und Ozonungsverfahren in diversen durchgeführten Forschungsprojekten nicht durchsetzen. Daher werden diese hier nicht weiter betrachtet.

## Anlage 9

### 4.2 Beschreibung der ausgewählten Verfahren

#### 4.2.1 Flockungsfiltration

Bei einer Flockungsfiltration wird im Zulauf der Filtration durch Zugabe von Fällmitteln die Fällung und Flockung realisiert. Die Fällmittel werden üblicherweise mit einem statischen Mischer, der in die Zulaufleitung zur Filtration installiert wird, ins Abwasser eingemischt. So wird der gesamte zulaufende Volumenstrom gefasst und durch den statischen Mischer eine ausreichende Turbulenz erzeugt.

Für eine Filtration stehen drei grundsätzliche Prinzipien zur Verfügung:

- 1) Abwärts durchströmter Filter (Abbildung 4.1)
- 2) Aufwärts durchströmter Filter (Abbildung 4.2)
- 3) Kontinuierlich betriebene Filter (Abbildung 4.3)

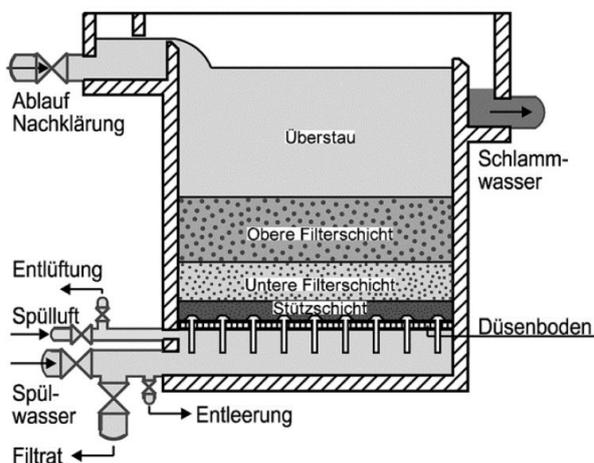


Abbildung 4.1: Grundprinzip abwärts durchströmter Filter mit Durchlaufspülung [DWA-A 203]

## Anlage 9

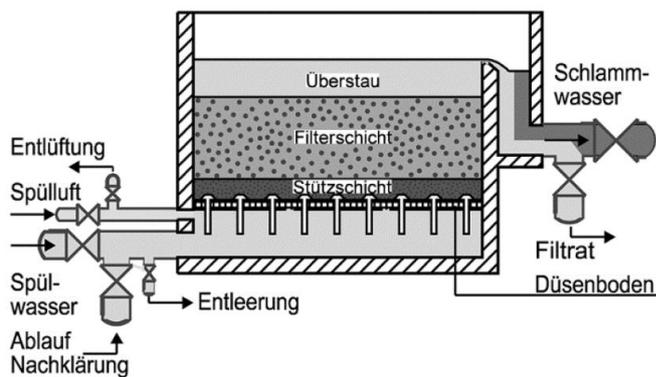


Abbildung 4.2: Grundprinzip aufwärts durchströmter Filter mit Durchlaufspülung [DWA-A 203]

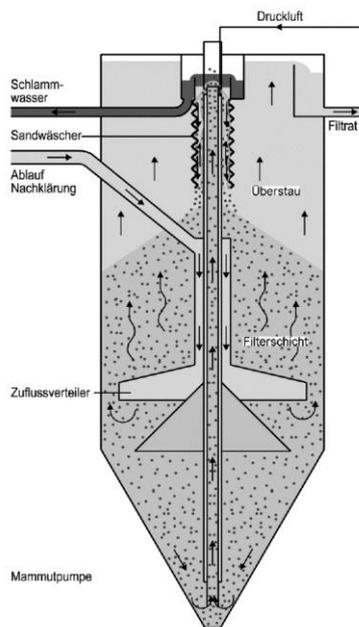


Abbildung 4.3: Grundprinzip kontinuierlich betriebener Filter [DWA-A 203]

### Rückspülfilter

Sowohl aufwärts als auch abwärts durchströmte Filter sind klassische Rückspülfilter. Diese Filter haben den Nachteil, dass sie nur diskontinuierlich betrieben werden können. Sobald das Filterbett mit Feststoffen beladen ist, kommt es zur Rückspülung der Filter, womit sie in diesem Zeitraum nicht zur Verfügung stehen. Für die Filterrückspülung werden zusätzliche Speicherbecken, Spül- und Schlammwasserspeicher, sowie große Aggregate, Rückspülpumpen und Spülluftgebläse, benötigt.

## Anlage 9

---

Nach der Filterrückspülung ist das Filterbett relativ sauber, wodurch zum einen der Filterwiderstand sehr niedrig ist und zum anderen der sogenannte sekundäre Filtereffekt (Sekundärbettwirkung), der durch das langsame Zusetzen der Filterzwischenräume entsteht, entfällt. Dadurch gelangen nach erfolgter Rückspülung mehr Feststoffe in den Ablauf. Erst durch die Anlagerung von Partikeln während des Filtervorgangs baut sich der Sekundärfilter wieder auf, wodurch dann das Filtrat klarer wird, jedoch auch der Filterwiderstand zunehmend ansteigt. Da zu jeder Zeit der gesamte Kläranlagenablauf durch die Filter fließen muss, ist das erforderliche hydraulische Gefälle auf den maximalen Filterwiderstand bei Mischwasserzulauf auszuliegen.

### Kontinuierlich betriebene Filter

Bei einem kontinuierlich betriebenen Filter (bspw. DynaSand®-Filter) erfolgt die Filterreinigung kontinuierlich im laufenden Betrieb. Hierfür wird fortlaufend ein Teil des beladenen Sandes in eine Sandwäsche transportiert, durch vorbeiströmendes Filtrat gereinigt und zurück ins Filterbett geführt. Dieses System bietet daher neben der kontinuierlichen Beschickung den Vorteil, dass die Filtratqualität über den gesamten Zeitraum gleichbleibt. Zudem ist der Rückspülwasserstrom konstant, so dass keine Speicherbecken für Spül- und Schlammwasser erforderlich sind.

Da sich im Filter keine beweglichen Teile befinden, kann von einem stabilen Betrieb ausgegangen werden. Eine Rückspülautomatik ist wegen der kontinuierlichen Reinigung und der geringen Anfälligkeit gegenüber Feststoffen auch bei hohen Belastungen nicht erforderlich.

<p><b>Aus den aufgeführten Gründen wird für die Werkskläranlage der SZFG ein kontinuierlich betriebener Filter (bspw. DynaSand®-Filter) gewählt.</b></p>
--

### 4.2.2 Aktivkohleadsorption

Aktivkohle besitzt durch die poröse Struktur eine sehr hohe spezifische Oberfläche (> 1.000 m<sup>2</sup>/g). An dieser Oberfläche können sich viele Stoffe anlagern. Aktivkohle wird bereits in unterschiedlichen

## Anlage 9

---

Anwendungsgebieten wie Trinkwasseraufbereitung, industrielle Abwasserbehandlung, Lebensmittelindustrie oder Abluftbehandlung genutzt.

Im Falle der Spurenstoffelimination können gelöste, organische Wasserinhaltsstoffe aus dem Abwasser entfernt werden. Dabei werden die Stoffe an der Aktivkohleoberfläche adsorbiert. Die Aktivkohleadsorption kann in zwei verschiedenen Verfahrensvarianten eingesetzt werden:

- 1) Pulverförmige Aktivkohle (PAK) als Dosierung in die Abwassermatrix
- 2) Granulierte Aktivkohle (GAK) als Festbett in einem Filter

### Pulverförmige Aktivkohle (PAK)

Verfahren mit PAK erfordern eine Dosierung von frischer Aktivkohle in das Abwasser. Grundsätzliche Verfahrensschritte sind dabei eine Einmischung der PAK, Beladung der PAK über eine entsprechend ausreichende Kontaktzeit mit dem Medium Abwasser und eine Abtrennung der PAK aus dem System. Hierbei ergeben sich folgende Verfahrensoptionen:

- Simultandosierung in die Belebung
- Dosierung in den Zulauf eines Filters
- Adsorptive Stufe mit Anreicherung der PAK im Reaktionsraum

Bei der Simultandosierung wird die PAK direkt in die Belebung dosiert, hat eine dem Schlammalter entsprechende Verweilzeit im System und wird zusammen mit dem Überschussschlamm aus dem System entfernt. Um einen Schlammabtrieb mit Aktivkohle zu verhindern, ist ggf. eine nachgeschaltete Filtrationsstufe erforderlich. Wesentlicher Nachteil zu den übrigen Verfahren ist die deutlich höhere Dosiermenge (erhöhte Konkurrenz in der Belebung durch eine höhere Konzentration an gelöstem organischem Material) und daher eine schwierigere Einstellung einer ausreichenden Dosierung.

## Anlage 9

---

Bei der Dosierung in den Zulauf des Filters wird die PAK direkt in Zulauf der Filterkammern dosiert. Die Verweilzeit der PAK entspricht damit im Mittel einem halben Rückspülintervall, da die beladene Kohle zusammen mit dem Spülabwasser abgetrennt wird. Dieses Verfahren hat den wesentlichen Nachteil, dass die Filterstufe mit einer hohen Feststoffbelastung durch die PAK beschickt wird bzw. eine deutlich größere Filterfläche erforderlich wird. Zur Agglomeration und damit besseren Abtrennung der PAK wird zusätzlich Fällmittel eingesetzt. Das Spülabwasser wird mit der beladenen PAK in die Belebung rückgeführt, um so eine maximale Adsorptionsleistung zu erzielen.

Bei der dritten Verfahrensoption wird die Aktivkohle sowie das Fällmittel in einem Kontaktreaktor eingemischt und über ein nachfolgendes Sedimentationsbecken über Zugabe von polymeren Flockungsmitteln wieder abgetrennt. Die Aktivkohle wird aus dem Sedimentationsbecken im Kreis in den Kontaktreaktor rückgeführt und so die Kontaktzeit der PAK von der hydraulischen Verweilzeit des Abwassers entkoppelt. Nachteile dieses Verfahrens sind der hohe Platzbedarf und die für die erforderlichen zusätzlichen Becken hohen Investitionskosten.

### Granulierte Aktivkohle-Festbettadsorption (GAK-Filter)

Die Verfahrensoptionen für eine Festbettadsorption sind analog zur Filtrationsstufe zu betrachten. Statt Sand als Filtermaterial wird granulierte Aktivkohle (bis ca. 2 mm Durchmesser) verwendet.

Anders als bei der PAK wird die unbeladene GAK mit Abwasser beaufschlagt und so zunächst eine optimale Adsorptionsleistung erzielt. Mit zunehmender Beschickung durch Abwasser über die Zeit, man spricht hierbei von Bettvolumen (=Abwassermenge pro GAK-Filtervolumen), wird die GAK zunehmend beladen und das Adsorptionsvermögen nimmt kontinuierlich ab. Wird eine gewünschte Reinigungsleistung unterschritten, so muss die beladene GAK aus dem Filter ausgebaut und gegen frische GAK (neu bzw. regeneriert) ausgetauscht werden.

## Anlage 9

---

Da in der Regel, wie auch bei konventionellen Filtrationsverfahren, mehrere Filterzellen errichtet werden und diese nach und nach mit frischer GAK bestückt werden, nivelliert sich das Durchbruchverhalten über die Zeit, so dass eine relativ gleichbleibende Reinigungsleistung gewährleistet werden kann.

GAK-Filter sind nur dann eine Option, wenn vor der GAK-Filtration das Abwasser weitestgehend feststofffrei ist, da ansonsten zu oft zurückgespült werden muss, was auf die Standzeit und die Adsorptionsleistung der GAK negative Auswirkungen hat. Aufgrund der relativ hohen Feststoffgehalte im Ablauf der Nachklärung der Werkskläranlage ist für die GAK-Filter eine vorgeschaltete Filtrationsstufe erforderlich. So wird die GAK nicht unnötig mit Feststoffen beladen und es kann eine ausreichend gute Adsorptionsleistung erzielt werden.

GAK-Filter sind zudem bei zu geringen Bettvolumina ( $< 10.000$  BV) bis zum Austausch des Filtermaterials zunehmend unwirtschaftlich.

### Auswahl der Adsorptionsverfahrens

Folgende Randbedingungen auf der Werkskläranlage sind für die Verfahrensauswahl zu berücksichtigen:

- Hoher Feststoffanteil im Ablauf der Nachklärung = Flockungsfiltration ist erforderlich (siehe Kapitel 4.2.1)
- Begrenztes Platzangebot durch den Bau einer Flockungsfiltration

Die o.g. Randbedingungen in Kombination mit der vorgesehenen Flockungsfiltration (siehe Kapitel 4.2.1) sind günstige Voraussetzungen für eine GAK-Filtration: Bei den PAK-Verfahren sind Sedimentationsbecken oder Filterstufen für einen sicheren PAK-Rückhalt erforderlich, so dass zusätzliche Becken oder Verfahrensgruppen erforderlich sind. Mögliche Probleme in der Einmischung von PAK, insbesondere bei hohen Mengen, sind bei der GAK nicht zu erwarten, da diese ortsfest in einen Filter eingebaut wird. Der zusätzliche Schlammanfall und so die Entsorgungsthematik ist bei GAK ebenfalls nicht gegeben, da die GAK vom Hersteller zurückgenommen und reaktiviert werden kann.

## Anlage 9

---

**Für die Werkskläranlage der SZFG wird daher eine GAK-Filtrationsstufe betrachtet. Zusätzlich wird für die Umsetzung des Verfahrens analog zur Flockungsfiltration ein kontinuierlich betriebener Filter empfohlen.**

### 4.2.3 Oxidation mittels Ozonierung

Ozon ist ein starkes Oxidationsmittel. Mittels Ozonung kann man ein sehr breites Stoffspektrum aus dem kommunalen Abwasser entfernen (Breitbandwirkung). Eine Ozonung kann als nachgeschaltetes Verfahren in der Regel gut in einen bestehenden Betrieb integriert werden.

Im Gegensatz zu den Verfahren mittels Aktivkohleadsorption werden bei der Ozonung die Spurenstoffe nicht physikalisch entfernt, sondern durch einen oder mehrere Reaktionsschritte zu einer neuen und (ggf. unbekannt) Substanz transformiert [Jekel et al. 2016]. Ozon greift selektiv Doppelbindungen und bestimmte funktionelle Gruppen in Molekülen an. Da sehr viele Mikroverunreinigungen solche Bindungen oder funktionelle Gruppen enthalten, werden sie durch Ozon oxidiert (umgewandelt). Eine vollständige Mineralisierung ist i.d.R. in der Abwasserbehandlung nicht zu erwarten, jedoch sind die Oxidationsprodukte kleiner und meist polarer und dadurch besser biologisch abbaubar als ihre Ausgangsverbindungen [Bahr et al. 2007].

Ozon reagiert einerseits mit den Mikroverunreinigungen, aber auch mit der organischen Hintergrundmatrix (DOC) und gewissen anderen anorganischen Abwasserinhaltsstoffen (z.B. Nitrit) [BAFU, 2012]. Ein wesentlicher Diskussionspunkt ist die Entstehung von potentiell gesundheitsschädigenden Transformationsprodukten wie bspw. N-Dimethylnitrosamin (NDMA) oder Bromat, die in höheren Dosen als potentiell krebserregend eingestuft werden.

Aufgrund der Oxidation bzw. der Entstehung von Transformationsprodukten ist eine nachfolgende Stufe zur biologischen Nachbehandlung z.B. in Form einer Filtration erforderlich. In diversen Forschungsprojekten wurde mittels Ökotoxizitätstest festgestellt, dass durch eine Nachbehandlung von ozoniertem Abwasser

## Anlage 9

---

über eine Sandfiltration die teilweise negativen Effekte (Bildung ungewünschter Transformationsprodukte) einer Ozonierung verschwanden. [Abegglen et al. 2009; BAFU 2012]

Weitere positive Effekte der Ozonung sind eine weitgehende Desinfektion und Entfärbung des Abwassers [BAFU 2012]. Cyanide werden nach Dietrich (2017) durch Oxidation entfernt, so dass sich hierbei eine Ozonung für die Werkskläranlage ebenfalls anbietet.

Eine großtechnische Umsetzung einer Ozonung erfordert folgende Komponenten:

- Ozongenerator (Einsatz von Flüssigsauerstoff)
- Ozonreaktor (Kontaktzeiten mit dem Abwasser)
- Restozonvernichter

Aufgrund der Breitbandwirkung der Ozonung bei organischen Spurenstoffen sowie der möglichen Reduktion von Cyanid (oxidative Wirkung) wird die Ozonung als geeignetes Verfahren für die Werkskläranlage weiter untersucht.

### 4.3 Ableitung von geeigneten Verfahrenskombinationen

Auf Basis der Ableitung eines Handlungsbedarfes sind, wie bereits in Kapitel 4.1.6 erwähnt, verfahrenstechnisch zwei Verfahrensgruppen erforderlich: eine Flockungsfiltration zur Entfernung von AFS, Phosphor und Metallen sowie eine Spurenstoffentfernung mit einer Breitbandwirkung, um so die Stoffe wie PAK, PFOS und Cyanid aus dem Abwasser zu entfernen.

## Anlage 9

Bezugnehmend auf die Verfahrensauswahl kommen somit folgende Verfahrenskombinationen in Frage und werden nachfolgend in den Laborversuchen untersucht und in der Folge für die Studie ausgelegt und bewertet:

- Verfahren 1: Ozonung + Flockungsfiltration
- Verfahren 2: Flockungsfiltration + GAK-Filter

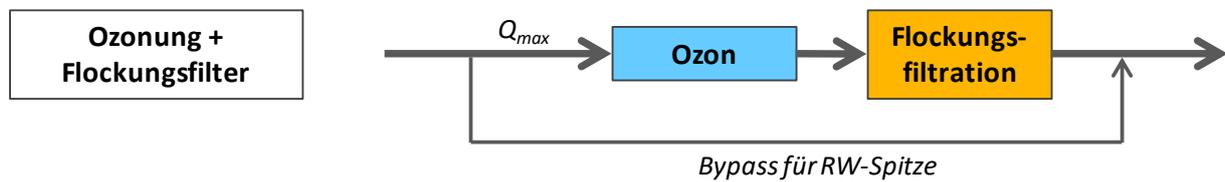


Abbildung 4.4: Verfahrensprinzip, Ozonung + Flockungsfiltration

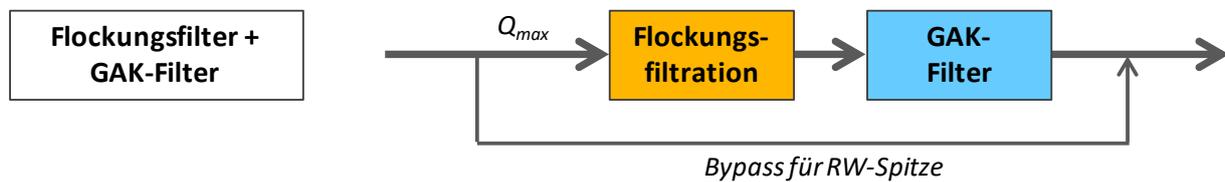


Abbildung 4.5: Verfahrensprinzip, Flockungsfiltration + GAK-Filter

## Anlage 9

### 5. Laborversuche zu den ausgewählten Verfahren

Die im vorhergehenden Kapitel anhand Literaturangaben und bereits an anderen Orten durchgeführten großtechnischen Erfahrungen abgeleiteten geeigneten Verfahren für die Erweiterung der Werkskläranlage wurden anhand von Laborversuchen mit dem Abwasser der Werkskläranlage weiter untersucht.

Die detaillierte Beschreibung der Laborversuche und die Auswertung der Ergebnisse sind in Anlage 9.2 aufgeführt. In der nachfolgenden Abbildung 5.1 sind die ermittelten Eliminationsraten für die untersuchten Parameter dargestellt.

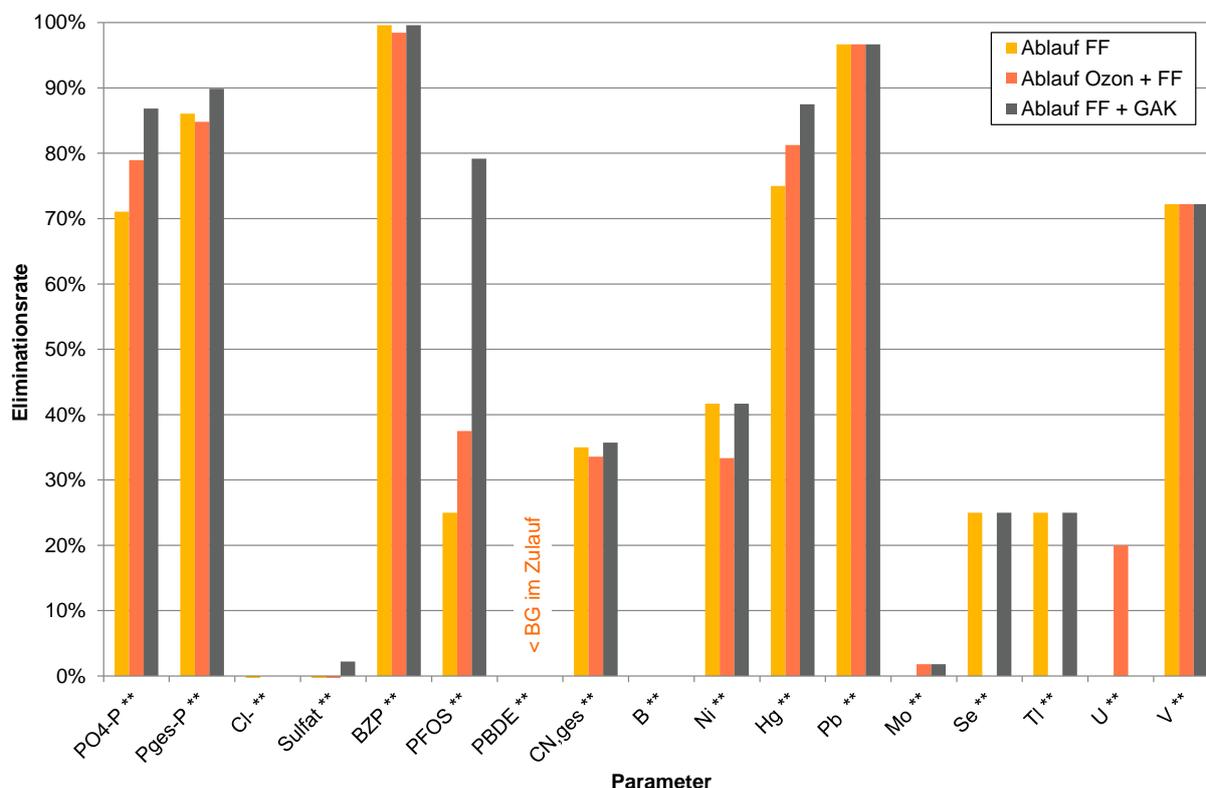


Abbildung 5.1: Eliminationsraten nach entsprechender Behandlungsstufe (\*\* = Mittelwert)

Es zeigt sich, dass die Variante 2 mit einer Adsorption an Aktivkohle über nahezu alle Parameter eine höhere oder gleich hohe Elimination wie Variante 1 mit einer Ozonung aufweist. Ein Großteil der Elimination ist jedoch auf die bei beiden Verfahrensvarianten mit enthaltene Flockungsfiltration (FF) zurückzuführen.

## **Anlage 9**

---

Die Ergebnisse und Randbedingungen (GAK- bzw. Ozondosierung, etc.) der Laborversuche wurden in den folgenden Kapiteln für die Grobdimensionierung der ausgewählten Verfahren sowie zur Schätzung der Betriebskosten verwendet. Zur Verifizierung der Laborergebnisse und zur Ermittlung der tatsächlich erreichbaren Ablaufkonzentrationen sollten jedoch weitere Versuche im Pilotmaßstab und über einen längeren Zeitraum durchgeführt werden.

## Anlage 9

---

### 6. Vordimensionierung der ausgewählten Verfahren

Die ausgewählten Verfahren der Flockungsfiltration zur weitergehenden Phosphorelimination und der Spurenstoffentfernung mittels GAK-Adsorption bzw. Ozonung werden nachfolgend für die Werkskläranlage bemessen.

Grundlage der Bemessungsparameter sind die Dimensionierungsparameter, vorgegeben durch die Ablaufwerte der Werkskläranlage (**Kapitel 6.1**) und dem Handlungsbedarf nach AbwV und OGewV (**Kapitel 3.3**).

Die einzelnen Verfahrensstufen können in der Auslegung separat betrachtet werden, so dass bspw. die Flockungsfiltration in beiden betrachteten Verfahrenskombinationen identisch bemessen werden kann. Zur Auslegung werden ebenfalls die spezifische Dosiermenge an Ozon bzw. die zu erwartende Austauschrate der GAK aus den Laborversuchen herangezogen.

#### 6.1 Dimensionierungsparameter

Zur Auslegung der ausgewählten Verfahrenskombinationen werden die Daten aus dem Betriebstagebuch der Werkskläranlage der SZFG aus dem Referenzzeitraums 2015-2017 verwendet.

Die Flockungsfiltration wird nach dem Arbeitsblatt DWA-A 203 (2019) über

- die hydraulische Belastung sowie
- die Feststoffbelastung

ausgelegt.

Die 4. Reinigungsstufe zur Entfernung von Spurenstoffen hat bisher noch keine rechtlich bindenden Zielwertvorgaben. Vorschläge für die Auslegung der Verfahren gibt es u.a. in KomS (2018). Hier wird hauptsächlich eine Auslegung der Bauwerke nach:

## Anlage 9

---

- der hydraulischen Belastung

empfohlen. Daneben können in den betrachteten Verfahren die Ozondosierung bei der Ozonung bzw. die Austauschrate der GAK (= Bettvolumina, BV) in den Filtern für die Effizienz der Spurenstoffentfernung vorgegeben werden.

### 6.1.1 Auslegungswassermenge

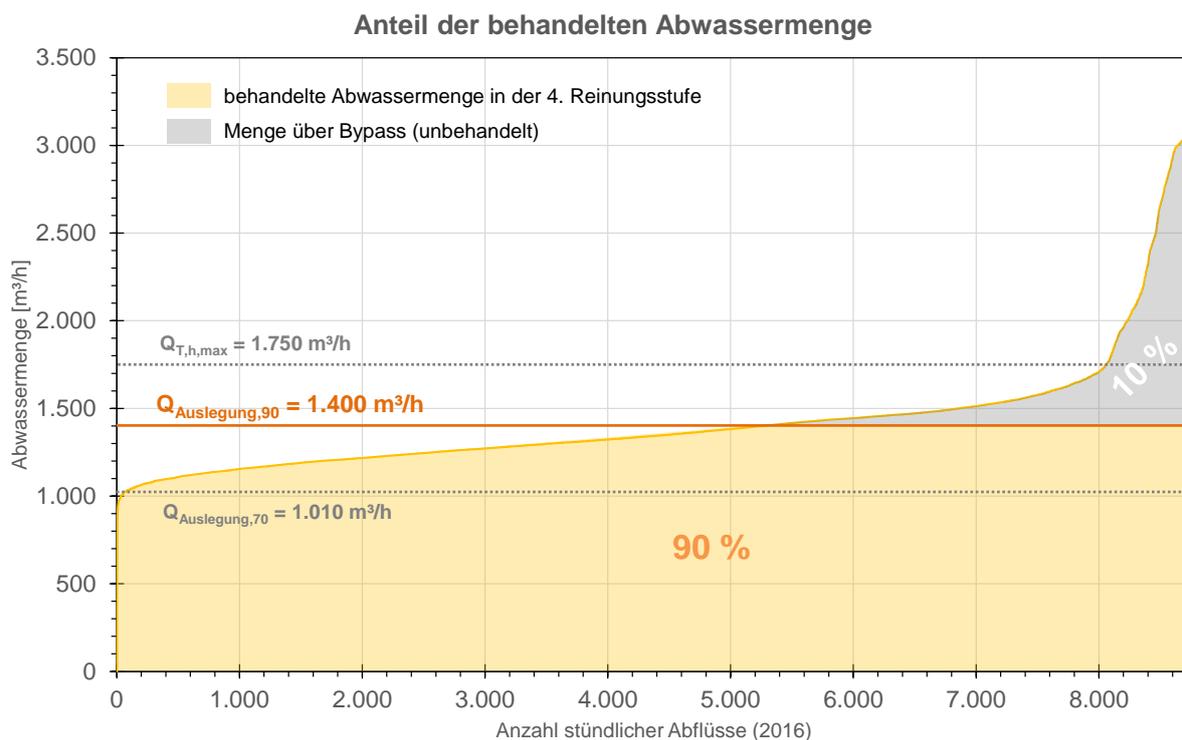
Sowohl die Flockungsfiltration als auch die Verfahren zur Spurenstoffentfernung werden maßgeblich über die hydraulische Belastung ausgelegt.

#### Verfahren zur Spurenstoffentfernung

Bei der Auslegung der Verfahrensstufe zur Spurenstoffelimination wird die Handlungsempfehlung des KomS (2018) herangezogen. Da es sich bei dem Vorfluter nicht um ein sensibles Gewässer, wie z.B. ein Badegewässer, handelt und der Vorfluter auch nicht als Rohwasser für die Trinkwassergewinnung genutzt wird, kann die Auslegungswassermenge für die Spurenstoffentfernung ausgehend von der stündlichen Trockenwetterspitze ( $Q_{T,h,max}$ ) ermittelt werden. Dabei wird überprüft, ob mit dieser Auslegungswassermenge ( $Q_{Auslegung}$ ) mindestens 70 %, maximal jedoch 90 % der Jahresabwassermenge (JAM) behandelt werden kann.

Die Trockenwetterspitze der Werkskläranlage liegt bei  $Q_{T,h,max} = 1.750 \text{ m}^3/\text{h}$ .

**Anlage 9**



**Abbildung 6.1:** Anteil der behandelten Abwassermenge am Ablauf der Nachklärung im Jahr 2016 (orange = behandelte Abwassermenge bei  $Q_{\text{Auslegung},90} = 1.400 \text{ m}^3/\text{h}$ ; grau = unbehandelte Abwassermenge über Bypass)

Mittels einer Zielwertsuche wurden die Auslegungswassermengen ermittelt, bei denen 70 % bzw. 90 % der Jahresabwassermenge behandelt werden ( $Q_{\text{Auslegung},70}$  bzw.  $Q_{\text{Auslegung},90}$ ). Hierbei wird berücksichtigt, dass über einen Bypass die Abwassermenge abgeleitet wird, die die entsprechende Auslegungsgröße überschreitet. Grafisch ist dies mit den farbigen Flächen der Unterschreitungshäufigkeit der stündlichen Abwassermengen im Ablauf der Werkskläranlage von 2015-2017 (Abbildung 6.1) und im zeitlichen Verlauf (Abbildung 6.2) dargestellt.

Es wurden die folgenden Auslegungsgrößen ermittelt, um 70 % bzw. 90 % der Jahresabwassermenge zu behandeln:

$$Q_{\text{Auslegung},70} = 1.010 \text{ m}^3/\text{h}$$

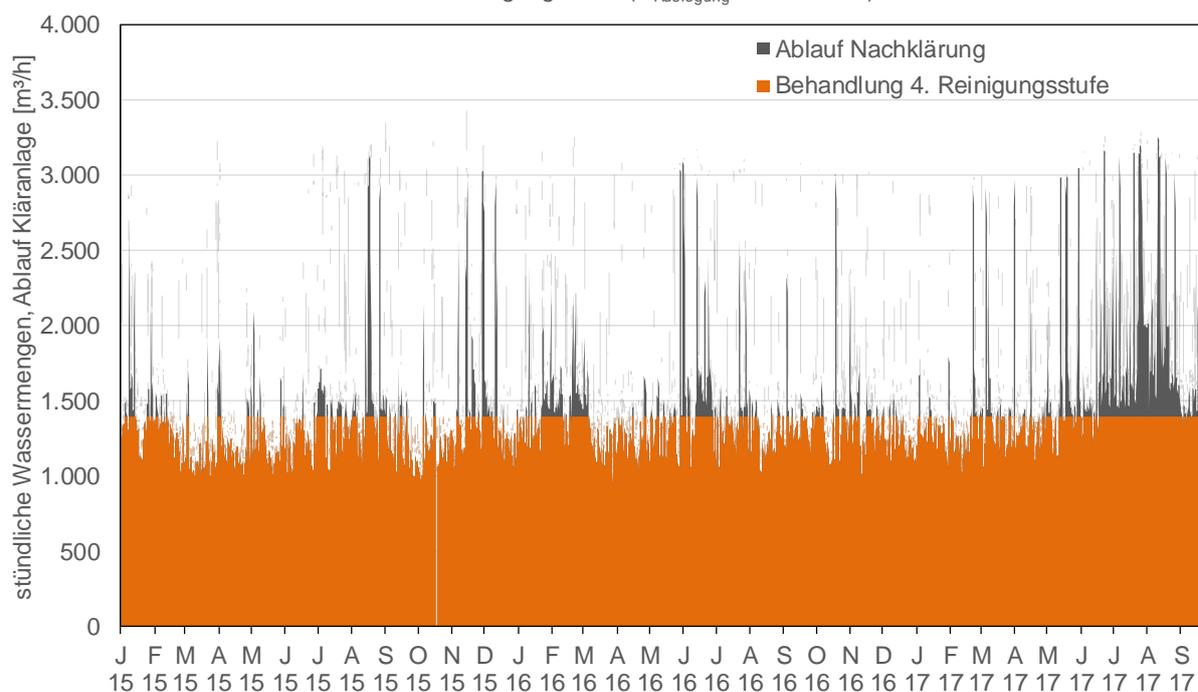
$$Q_{\text{Auslegung},90} = 1.400 \text{ m}^3/\text{h}$$

## Anlage 9

Da  $Q_{T,h,max}$  in dem Fall die  $Q_{Auslegung,90}$  übersteigt, wird die Auslegungsgröße für die Spurenstoffentfernung (Ozonung und GAK-Filtration) mit  $Q_{Auslegung} = 1.400 \text{ m}^3/\text{h}$  begrenzt.

### Stündliche Abwassermengen 2015-2017

Ermittlung der zu behandelnden Abwassermenge in der 4. Reinigungsstufe ( $Q_{Auslegung} = 1.400 \text{ m}^3/\text{h}$ )



**Abbildung 6.2:** Zeitlicher Verlauf der stündlichen Abwassermengen am Ablauf der Nachklärung 2015 - 2017 und Darstellung der behandelten Abwassermenge durch die 4. Reinigungsstufe bei  $Q_{Auslegung} = 1.400 \text{ m}^3/\text{h}$

### Flockungsfiltration

Die Verfahren zur Spurenstoffentfernung werden, wie oben beschrieben, über eine Teilstrombehandlung mit  $Q_{Auslegung} = 1.400 \text{ m}^3/\text{h}$  ausgelegt. Nachfolgend wird zunächst geprüft, ob die Flockungsfiltration aus verfahrenstechnischen Gründen ebenfalls auf  $Q = 1.400 \text{ m}^3/\text{h}$  ausgelegt werden kann.

Der wesentliche Vorteil einer identischen hydraulischen Auslegung liegt in der Förderung und Verteilung (nur ein Pumpwerk und ein Bypass erforderlich) des gereinigten Abwassers aus der Nachklärung in die beiden nachgeschalteten Stufen der jeweiligen Verfahrenskombinationen. Zudem ist die Wirtschaftlichkeit

## Anlage 9

---

durch eine geringere Filterfläche und dadurch geringere Investitionskosten im Vergleich zu einer Vollstrombehandlung mit  $Q_{\max} = 3.000 \text{ m}^3/\text{h}$  gegeben.

Um zu überprüfen, ob die zu erreichende AFS-Konzentration im Ablauf der Werkskläranlage auch durch eine Teilstrombehandlung erreicht werden kann, wird für jeden Tag die zu erwartende AFS-Konzentration mittels einer Mischungsrechnung über die folgenden zwei Teilströme berechnet:

1. Abwasser, das über Filtration behandelt wird:  $Q_{\text{FF,ab}} \leq 1.400 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $Q_{\text{Auslegung}}$ )  
AFS-Konzentration im Ablauf der Filtration ( $C_{\text{AFS,FFab}}$ ) = 5 mg/l
2. Bypass (unbehandelt):  $Q_{\text{Bypass}} = \text{Max}(0; Q_{\text{h,ist}} - 1.400 \text{ m}^3/\text{h})$   
AFS-Konzentration im Bypass ( $C_{\text{AFS,Bypass}}$ ) = AFS-Konzentration im Ablauf der Nachklärung

Gemäß DWA-A 203 wird bei einer Flockungsfiltration der Ablaufwert von 5 mg/l sicher eingehalten. Dieser Wert wird in der Berechnung als konservative Annahme herangezogen.

Die im Ablauf der Werkskläranlage zu erwartende AFS-Konzentration ergibt sich dann anhand folgender Berechnung:

$$\text{AFS}_{\text{WKA,ab}} = (Q_{\text{FF,ab}} * C_{\text{AFS,FFab}} + Q_{\text{Bypass}} * C_{\text{AFS,Bypass}}) / Q_{\text{WKA,ab}}$$

In Abbildung 6.3 ist die resultierende AFS-Konzentration aus der Mischungsrechnung über die oben aufgeführten Ströme für den Zeitraum 2015-2017 dargestellt. Das 85-Perzentil liegt bei 8 mg/l und das Maximum bei 19,75 mg/l.

Anlage 9

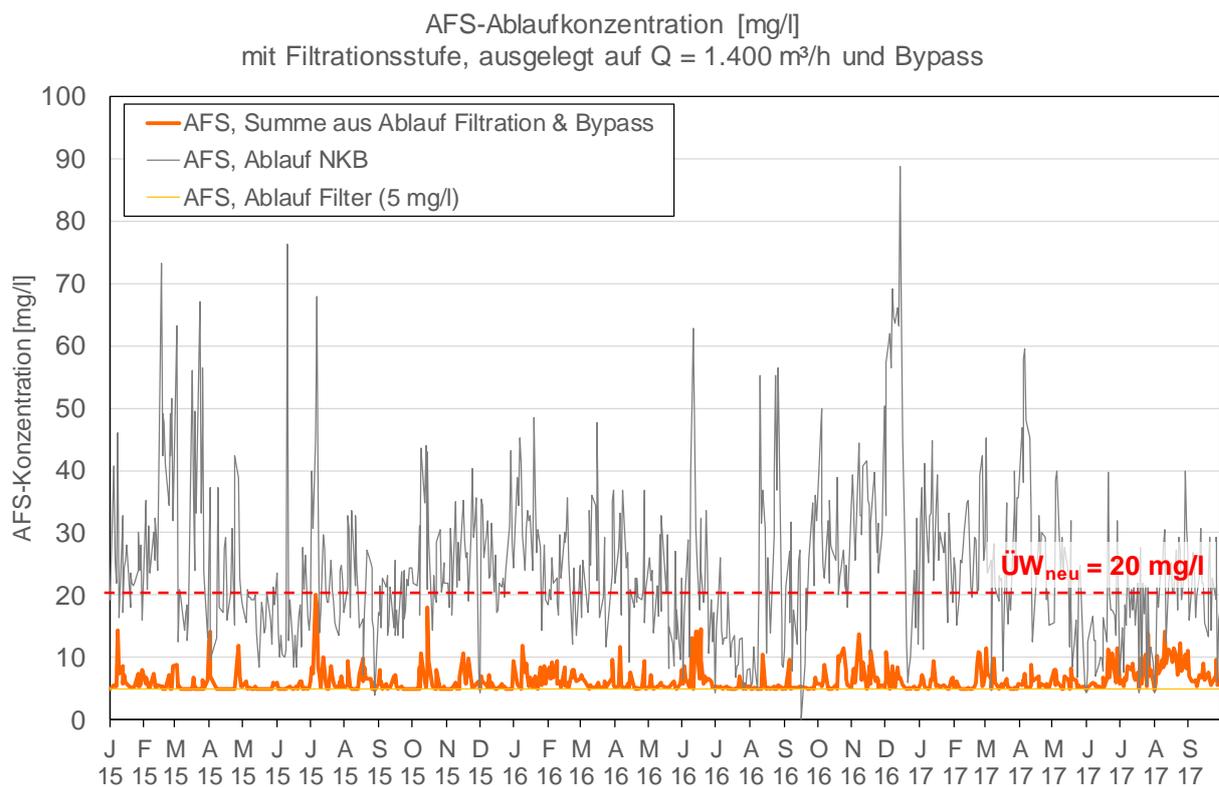


Abbildung 6.3: zu erwartende AFS-Konzentrationen bei Betrieb einer Flockungsfiltration als Teilstrombehandlung ( $Q_{\text{Auslegung}} = 1.400 \text{ m}^3/\text{h}$ ) im Zeitraum von 2015 bis 2017

Folglich kann mit einer Auslegung der Flockungsfiltration auf eine maximal zu behandelnde Abwassermenge von  $Q_{\text{Auslegung}} = 1.400 \text{ m}^3/\text{h}$  auf Basis der AFS-Ablaufkonzentrationen aus dem Betrachtungszeitraum der zukünftig erforderliche Überwachungswert von 20 mg/l jederzeit eingehalten werden. Voraussetzung hierfür ist dabei, dass die derzeit betriebene FHM-Dosierung in den Zulauf der Nachklärung weiterhin praktiziert wird. Ansonsten würden die AFS-Konzentrationen im Ablauf der Nachklärung voraussichtlich ansteigen, was zum einen den Betrieb der Filtration und vierten Reinigungsstufe erschweren und zum anderen die Einhaltung des zukünftigen Überwachungswertes für AFS gefährden könnte. Möglicherweise kann durch eine Anpassung des Mittelbauwerks der Nachklärbecken der Abtrieb von Feinsuspensa reduziert werden und in diesem Zuge die FHM-Dosierung in den Zulauf der Nachklärung verringert bzw. eingestellt werden.

## Anlage 9

### 6.1.2 Auslegungsparameter

Nachfolgend sind in Tabelle 6.1 die wesentlichen Auslegungsparameter zur Flockungsfiltration sowie der Ozonung bzw. GAK-Adsorption dargestellt. Nachfolgend wird in **Kapitel 6.2** auf die Auslegung der einzelnen Verfahren eingegangen.

**Tabelle 6.1: Auslegungsparameter für die Erweiterung der Werkskläranlage**

<b>Hydraulische Bemessungsgrundlagen</b>		
Auslegungswassermenge	$Q_{\text{Auslegung}}$	1.400 m <sup>3</sup> /h
Jahresabwassermenge, gesamt	$Q_a$	13.000.000 m <sup>3</sup> /a
Jahresabwassermenge, behandelt (90%)	$Q_{a,\text{behandelt}}$	11.700.000 m <sup>3</sup> /a
<b>Parameter zur AFS-Entfernung</b>		
Mittlere AFS-Zulaufkonzentration (Betriebsdaten)	$C_{\text{AFS},\text{zu}}$	24,7 mg/l
Maximale AFS-Ablaufkonzentration (gem. DWA-A 203)	$C_{\text{AFS},\text{ab}}$	5,0 mg/l
Maximale Filtergeschwindigkeit	$v_F$	15 m/h
Maximale Feststoffflächenbelastung (kontinuierliche Filter)	$B_{A,\text{zul.}}$	2 kg TS/(m <sup>2</sup> *h)
<b>Parameter zur Phosphor-Elimination</b>		
Mittlere Gesamt-Phosphorkonzentration, Zulauf	$C_{P,\text{ges},\text{zu}}$	0,44 mg/l
Erreichbare Gesamt-Phosphorkonzentration, Ablauf	$C_{P,\text{ges},\text{ab}}$	0,14 mg/l
$\beta$ -Wert zur Phosphorfällung	$\beta$	3 -
Fällmittel gewählt: <i>Eisen-(III)-Chlorid, 40 %ige Lösung</i>		
<b>Parameter zur Ozonung</b>		
spezifische Ozondosierung, gewählt	$Z_{\text{spez.}}$	1 g O <sub>3</sub> /g DOC
mittlere DOC-Konzentration (Sondermessprogramm)	$C_{\text{DOC}}$	6,4 mg/l
mittlere Nitrit-N-Konzentration (Betriebsdaten)	$C_{\text{NO}_2\text{-N}}$	0,06 mg/l
Aufenthaltszeit im Reaktor, erforderlich	$t_A$	20 min
<b>Parameter zur GAK-Adsorption</b>		
Leerbettkontaktzeit („empty bed contact time“)	EBCT	20 min

## Anlage 9

---

### 6.2 Auslegung der Verfahren

#### 6.2.1 Auslegung der Flockungsfiltration

Für die Flockungsfiltration wird ein kontinuierlich betriebener Sandfilter gewählt (siehe **Kapitel 4.2**). Die Auslegung der kontinuierlichen Flockungsfiltration erfolgt nach dem Arbeitsblatt DWA-A 203 (2019). Die detaillierten verfahrenstechnischen Berechnungen sind in **Anlage 9.1** hinterlegt.

##### Hydraulische Auslegung

Auf Basis des Auslegungswassermenge von  $Q_{\text{Auslegung}} = 1.400 \text{ m}^3/\text{h}$  und einer maximalen Filtergeschwindigkeit von  $v_f = 15 \text{ m/h}$  ergibt sich einschließlich der Spülabwassermenge von  $Q_{\text{Spül,max}} = 81 \text{ m}^3/\text{h}$  eine erforderliche Filterfläche ( $A_f$ ) von rd.  $100 \text{ m}^2$ . Bei einer Filterfläche von  $6 \text{ m}^2$  je Filterzelle werden somit 18 Filtereinheiten gewählt.

Die Filterbetthöhe wird nach Vorgabe des Herstellers, hier bspw. Fa. Nordic Water, mit 2 m berücksichtigt. Die Gesamthöhe der kontinuierlich betriebenen Sandfilter einschließlich Konus, Überstau und Freibord liegt bei rd. 6 m. Der erforderliche Vordruck liegt herstellerspezifisch bei 1,2 – 1,8 m WS. Es wird hier nachfolgend mit 1,8 m gerechnet. Je nach Ausführung, ebenerdig oder Tiefbau, ist folglich mit einem entsprechenden Pumpwerk im Zulauf oder Ablauf zu rechnen (siehe Lageplankonzepte in **Kapitel 7**).

##### Entfernung von abfiltrierbaren Stoffen (AFS)

Die Filtration entfernt weitestgehend die AFS aus dem gereinigten Abwasser der Nachklärung. Gemäß DWA-A 203 (2019) wird eine Ablaufkonzentration von 5 mg/l nach der Filtration sicher eingehalten, so dass diese Ablaufkonzentration als konservative Annahme berücksichtigt wird.

Auf Basis der konservativen Annahme (5 mg/l Ablaufkonzentration aus der Filtration) wurde bereits die hydraulische Auslegung der Filtration auf den Teilstrom von  $Q = 1.400 \text{ m}^3/\text{h}$  geprüft. Bezogen auf die

## Anlage 9

---

Betriebsdaten der letzten drei Jahre kann so der Überwachungswert von  $\ddot{U}W_{AFS} = 20 \text{ mg/l}$  eingehalten werden (siehe Abbildung 6.3).

Für die Ermittlung des zusätzlichen Schlammanfalls wird anhand der Betriebsdaten eine mittlere AFS-Zulaufkonzentration zur Filtration von  $24,7 \text{ mg/l}$  berücksichtigt. Es werden durch die AFS-Abtrennung rd.  $255 \text{ t/a}$  an zusätzlichem Schlamm erwartet.

### Phosphorelimination (Fällmitteldosierung)

Aufgrund der Erfordernisse hinsichtlich der OGewV wird eine weitestgehende Phosphorelimination über eine Nachfällung (Flockungsfiltration) realisiert.

Nach derzeit technisch möglichen und wirtschaftlich sinnvollen Gesichtspunkten wird, die Laborergebnisse berücksichtigend, ein  $\beta$ -Wert von  $\beta = 3$  gewählt. Anhand der Analytik der einzelnen Phosphorfraktionen (siehe Tabelle 3.8) ist eine nach OGewV erforderliche P-Konzentration im Vorfluter als Jahresdurchschnittswert von  $0,1 \text{ mg/l}$  aufgrund des gelösten, nicht reaktiven Phosphoranteils von  $0,14 \text{ mg/l}$  nicht zu erreichen.

Für die Ermittlung des Fällmittelbedarfs und des aus der Fällungsreaktion entstehenden Schlamms wird die mittlere Phosphorkonzentration im Zulauf zur Filtration mit  $0,44 \text{ mg/l}$  (Mittelwert Betriebsdaten 2015-2017) und ein  $\beta$ -Wert von 3 angenommen. Als Fällmittel wird Eisen-(III)-Chlorid als 40%-ige Lösung betrachtet.

Es werden rd.  $212 \text{ kg}$  Wirksubstanz bzw.  $0,15 \text{ m}^3$  Fällmittellösung pro Tag benötigt. Daraus resultiert bei der Wahl eines  $25 \text{ m}^3$  Lagertanks eine Vorhaltezeit von 168 d. Es muss somit knapp zweimal im Jahr der Lagertank befüllt werden.

Es ist nach Berechnungen auf Basis der DWA-A 131 (2016) ein zusätzlicher Schlammanfall durch die Phosphorfällung von rd.  $53 \text{ t TS/a}$  zu berücksichtigen.

## Anlage 9

---

### Zusätzlicher Schlammanfall (Überprüfung der Feststoffraumbelastung)

Der zusätzlich zu berücksichtigende Schlammanfall setzt sich zusammen aus der AFS-Entfernung und dem Fällschlamm und liegt somit bei rd. 310 t TS/a.

Bezogen auf die sich aus der Dimensionierung ergebene Filterfläche von 108 m<sup>2</sup> ergibt sich eine Feststoffflächenbelastung von 0,33 kg TS/(m<sup>2</sup>\*h). Diese liegt deutlich unterhalb der maximal zulässigen Feststoffflächenbelastung von 2 kg TS/(m<sup>2</sup>\*h) gemäß DWA-A 203 (2019).

### Auswirkungen auf die Chlorid- und Eisen-Konzentration

Als Fällmittel wird Eisen-(III)-Chlorid eingesetzt. Aufgrund der oben dargestellten Problematik hinsichtlich des Parameters Chlorid wurde die zusätzlich eingetragene Fracht und die daraus resultierende Konzentrationserhöhung berechnet:

Die mittlere Chlorid-Konzentration im Ablauf der Nachklärung beträgt rund 270 mg/l. Durch den Einsatz des Fällmittels wird eine Konzentrationserhöhung um < 2 mg/l erwartet (berechnet auf der Grundlage des maximalen Eisenbedarfs). Dies ist aufgrund des Erfordernisses einer zusätzlichen Phosphorfällung als vernachlässigbar gering zu betrachten. Als Alternative können Sulfat-Salze als Fällmittel genutzt werden, die entsprechend eine Auswirkung auf die Sulfatkonzentration haben werden.

Die Auswirkungen auf die Eisen-Konzentration muss im Ablauf der Flockungsfiltration großtechnisch ermittelt werden. Das eingesetzte Eisen-Salz wird zu einem Großteil als Eisenphosphat oder Eisenhydroxid im Filter zurückgehalten. Da eine überstöchiometrische Phosphorfällung erforderlich ist, kann eine Erhöhung der Eisen-Konzentration im Ablauf der Werkskläranlage durch nicht gefälltes Eisensalz nicht vollständig ausgeschlossen werden. Aufgrund der zudem erforderlichen Selen-Reduktion im gereinigten Abwasser ist nach bisherigem Erkenntnisstand Eisen-Salz als Fällmittel gegenüber Aluminium-Salzen zu empfehlen.

## Anlage 9

---

### 6.2.2 Auslegung der Ozonung

Die Auslegung der Ozonung wurde nach den Empfehlungen des Kompetenzzentrums Mikroschadstoffe.NRW (KOM-M.NRW, 2016) durchgeführt. Standardisierte Arbeits- oder Merkblätter sind bisher für die Ozonung nicht verfügbar, so dass die Auslegung nach Erfahrungen aus großtechnischen Versuchen bzw. bereits großtechnisch umgesetzten Anlagen abgeleitet wurde.

Die detaillierten verfahrenstechnischen Berechnungen sind in **Anlage 9.1** beigelegt. Die Ozonung ist, wie die Flockungsfiltration, hydraulisch auf die Auslegungswassermenge von 1.400 m<sup>3</sup>/h ausgelegt. Anhand der Laborversuche wird eine maximale spezifische Ozon-Dosierung von  $z = 1 \text{ g O}_3/\text{g DOC}$  gewählt. Für die Auslegung werden sowohl die DOC-Konzentration (Mittelwert aus dem Sondermessprogramm) als auch die Nitrit-Konzentration im Ablauf der Nachklärung berücksichtigt.

Die hydraulische Aufenthaltszeit in der Ozonung, d.h. in der Kontakt- sowie Zehrungszone, wird mit 15 – 30 min empfohlen. Die genaue Aufenthaltszeit in der Kontakt- sowie Zehrungszone sollte in Vorversuchen in weiteren Planungsphasen konkret für die lokale Abwassermatrix ermittelt werden. Für diese Machbarkeitsstudie wird eine aus anderen Forschungsvorhaben empfohlene Aufenthaltszeit von 21 min gewählt. Davon sind 7 min Kontaktzeit und 14 min Zehrungszeit.

Die Beckentiefe wird mit  $h = 6 \text{ m}$  gewählt (Empfehlung  $> 5 \text{ m}$ ). Das erforderliche Beckenvolumen liegt bei  $V = 490 \text{ m}^3$ .

So ergibt sich bei der Wahl einer 2-straßigen Ozonung eine Beckengeometrie von  $h = 6 \text{ m}$ ,  $L = 11 \text{ m}$  und  $B = 2 \times 4 \text{ m}$ .

Über den erforderlichen maximalen Ozoneintrag werden 2 Flüssigsauerstofftanks mit je 30 m<sup>3</sup> Füllvolumen gewählt. Die Vorhaltezeit beträgt insgesamt rd. 31 d.

## Anlage 9

---

### 6.2.3 Auslegung der GAK-Filtration

Die GAK-Adsorptionsstufe wird analog zur Flockungsfiltration mit kontinuierlich betriebenen Filtrationseinheiten umgesetzt.

Als maßgebende Auslegungsgröße für GAK-Adsorptionsfilter ist die Filterleerbettgeschwindigkeit bzw. „empty bed contact time“ (EBCT). Die EBCT sollte bei mindestens 20 min liegen. Dies wurde für die Auslegungswassermenge von  $Q = 1.400 \text{ m}^3/\text{h}$  entsprechend gewählt.

Die Auslegung auf die EBCT hat Auswirkungen auf die Filterfläche und Filterhöhe. Die Filterbetthöhe wird mit 2,5 m gewählt. Daraus resultiert eine erforderliche minimale Filterfläche von  $208 \text{ m}^2$ . Daher werden hierzu 36 Filterzellen à  $6 \text{ m}^2$  gewählt. Die detaillierte Berechnung kann in **Anlage 9.1** nachvollzogen werden.

Da die GAK-Filtration nach der Flockungsfiltration angeordnet ist, wird von einem weitestgehend feststofffreien Abwasser ausgegangen. Da auch die Fällungsreaktion weitestgehend in der vorangehenden Flockungsfiltration abgeschlossen ist, kann die Schlamm Bildung in der GAK-Stufe als vernachlässigbar gering angenommen werden.

Bei den Laborversuchen wurde eine GAK-Dosierung von  $20 \text{ mg/l}$  angesetzt (s. **Anlage 9.2**). Dies entspricht einer Standzeit von  $17.500 \text{ BV}$  (Bettvolumina). Durch den Parallelbetrieb mehrerer Filterzellen, die zeitlich versetzt voneinander mit frischer Aktivkohle bestückt werden, kann die Standzeit deutlich erhöht werden. Nach Bornemann et al. (2015) kann bei einem Parallelbetrieb von 6 Filtern die Standzeit um 75 % gegenüber eines Einzelfilters erhöht werden. Daraus ergibt sich eine Standzeit von rd.  $30.000 \text{ BV}$ . Bei einer Behandlung von 90 % der Jahresabwassermenge von  $13.000.000 \text{ m}^3/\text{a}$  und dem Filtervolumen von  $540 \text{ m}^3$  liegt der jährliche Durchsatz durch die GAK-Adsorptionsstufe bei rund  $21.500 \text{ BV}$ . Somit muss das Filtermaterial jeder einzelnen Filterzelle ca. alle 1,4 Jahre ausgetauscht bzw. reaktiviert werden.

## Anlage 9

---

### 7. Umsetzung der Verfahrenskombinationen

#### 7.1 Verfahren 1: Ozonung + Flockungsfiltration

##### 7.1.1 Verfahrenstechnische Umsetzung

Für die in **Kapitel 6** ausgelegte Verfahrenskombination einer Ozonung und anschließenden Flockungsfiltration wurde eine verfahrenstechnische Umsetzung für die Werkskläranlage erarbeitet. Diese ist in Abbildung 7.1 skizziert. Der Ablauf der Nachklärung muss aufgrund der Anlagenhöhen (Ozonung rd. 6 m, Filterzellen rd. 6 m) über ein Pumpwerk gehoben werden und wird zunächst durch die Ozonung geführt. Das Pumpwerk besteht aus 2+1 Kreiselpumpen mit je  $Q_{\max} = 700 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Liegt die Abwassermenge zwischenzeitlich bei  $Q > 1.400 \text{ m}^3/\text{h}$  wird das nicht über die Pumpen geförderte Abwasser über eine Überfallschwelle als Bypass um die 4. Reinigungsstufe direkt in die bestehende Ablaufleitung und so in den bestehenden Ablaufmessschacht geleitet.

Die Ozonung wird 2-straßig ausgeführt. Das Ozon wird im Ozongenerator durch Flüssigsauerstoff erzeugt und mittels Diffusoren in die Kontaktzone eingedüst. Restozon wird aus dem luftdichten Ozonreaktor abgeführt und über einen Katalysator vernichtet.

Das ozonierte Abwasser wird über eine Verteilerrinne auf die 3-straßige Filtration geleitet. Jede Straße besteht aus 6 Filtereinheiten in einer kompakten Betonbauweise. Eisen-(III)-Chlorid wird als Fällmittel in den Zulauf dosiert. Die Dosierung geschieht entweder direkt in einem statischen Mischer bzw. in eine ausreichend turbulente Zone des Zulaufs jeder Straße. Eine Dosierung des Fällmittels in den gesamten Zulauf, d.h. vor der Ozonung, müsste in Abstimmung eines Anlagenbauers in weiteren Planungsphasen geprüft werden.

## Anlage 9

Das Filterbett der Filterzellen wird kontinuierlich über Mammutpumpen umgewälzt. Hierbei wird Druckluft über Kompressoren eingeblasen. Das sogenannte Spülabwasser besteht aus der herausgefilterten AFS-Fracht und dem Fällschlamm. Es wird kontinuierlich abgezogen und in die Vorklärung abgeleitet. Aufgrund der Höhe des Bauwerks (6 m) und der ausreichenden Höhendifferenz zur Vorklärung kann das Spülwasser im Freigefälle abgeleitet werden.

Das Fällmittel Eisen-(III)-Chlorid wird als wässrige Lösung auf dem vorgesehenen Abtankplatz, einschließlich Sicherheitsauffangbehälter, in einem Fällmittellagertank zwischengespeichert. Vom Fällmittellagertank wird über doppelwandige Rohre mit Leckageüberwachung das Fällmittel zur Dosierstation gefördert. Das Fällmittel kann über eine frachtproportionale Steuerung in den Abwasserstrom dosiert werden. Die Dosierleitungen sind ebenfalls mit einer Leckageüberwachung ausgeführt.

Die Ozondosierung kann über die DOC-Konzentration im Zulauf mittels eines Soll-Werts (hier zunächst  $z = 1 \text{ g O}_3/\text{g DOC}$ ) geregelt werden. Da die DOC-Konzentration mit dem spektralen Absorptionskoeffizienten (SAK) korreliert, kann die Ozondosierung auch alternativ über den SAK-Wert geregelt werden, wobei hier die Abwassertrübung beachtet werden muss.

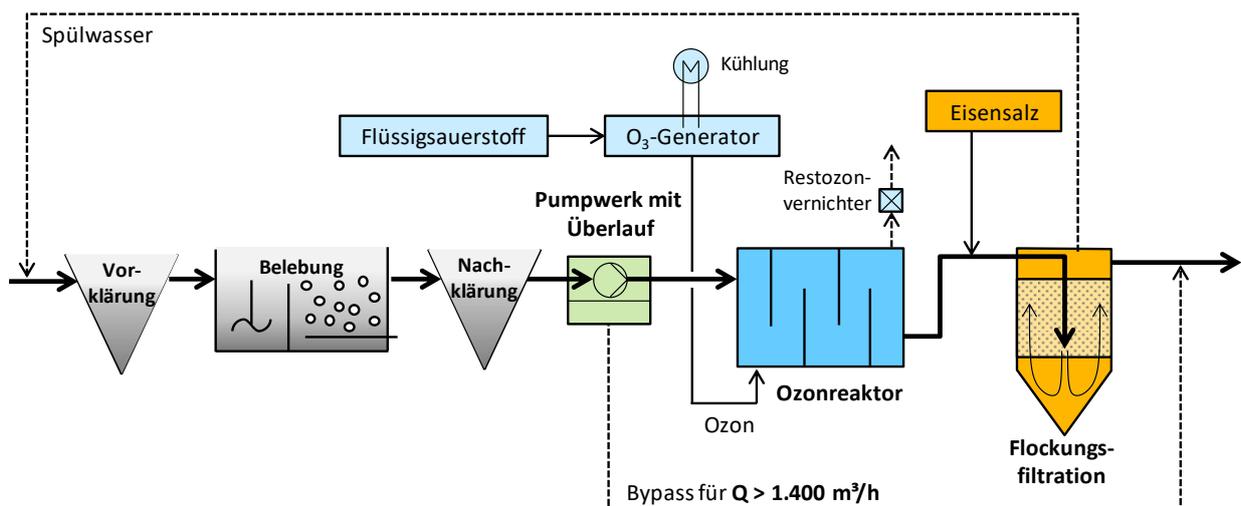


Abbildung 7.1: Ozonung + Flockungsfiltration, Verfahrenstechnische Umsetzung

## Anlage 9

---

### 7.1.2 Integration in die Werkskläranlage

Für die Verfahrenskombination der Ozonung mit anschließender Flockungsfiltration ist der Flächenbedarf sowie die Anordnung in Abbildung 7.2 dargestellt.

Die 4. Reinigungsstufe wird auf dem Freigelände südlich der Nachklärung (Bereich des nicht realisierten Nachklärbeckens 3) vorgesehen. Aufgrund der derzeitigen Leitungsführung des Ablaufs der Nachklärung in Richtung Ablaufmessschacht ist ein Umbau der Ablaufleitung des NKB 1 erforderlich. Die neu zu errichtende Ablaufleitung des NKB 1 wird in einem Schachtbauwerk mit der vorhandenen Ablaufleitung des NKB 2 zusammengeführt. In einer Vorlage wird der von beiden Nachklärbecken zugeführte Ablauf gesammelt und mit Pumpen in den Bereich des Baufeldes der 4. Reinigungsstufe geführt. Die Pumpen, für diese Studie als 2+1 angenommen, fördern jeweils 700 m<sup>3</sup>/h über eine Höhendifferenz von rd. 8 m. Alternativ wäre auch eine Auslegung auf 1+1 Pumpe mit jeweils 1.400 m<sup>3</sup>/h möglich. Die genaue Dimensionierung der Pumpen kann in der weitergehenden Planung festgelegt werden.

Bei höheren Abflüssen (> 1.400 m<sup>3</sup>/h), wird der über die Auslegungswassermenge hinausgehende Abwasseranteil über eine Überlaufschwelle in die vorhandene Ablaufleitung in Richtung Ablaufmessschacht abgeschlagen. Der Ablauf aus der 4. Reinigungsstufe wird ebenfalls in die bestehende Ablaufleitung am Schachtbauwerk angeschlossen und kann so im Freigefälle abgeführt werden.

Die Pumpen besitzen einen entsprechenden Vordruck (ca. 8 m), um so eine möglichst ebenerdige Aufstellung der Ozonungsreaktoren zu realisieren (rund 6 m Bauwerkshöhe) und gleichzeitig unter Berücksichtigung der hydraulischen Verluste (ca. 1-2 m für Ozonung und rd. 1,2-1,8 m für die Filtrationseinheiten) die zusätzlichen Verfahrensstufen bis zum Ablauf an das neue Schachtbauwerk im Freigefälle durchfließen zu können.

Die Ozonung wird einschließlich der Betonwände ca. 10 m breit und 12 m lang sein. Vor Kopf ist eine Verteilung mit einer Rinne, ca. 2 m breit und 10 m lang, vorgesehen. Über eine Sammel- und Verteilerrinne

## Anlage 9

---

im Ablauf der Ozonung bzw. im Zulauf zur Flockungsfiltration wird das ozonierte Abwasser in die 3 Straßen der Flockungsfiltration geleitet. Die Filterzellen sind rd. 2,5 x 2,5 m lang, d.h. eine Straße, die aus 3 x 2 Filterzellen besteht, weist inklusive Wandung Abmessungen von etwa 8,5 m Länge und 6 m Breite auf. Im Ablauf wird über eine Sammelrinne der Ablauf zusammengeführt und in die Freigefälleleitung in Richtung des Schachtbauwerkes und weiter in den Ablaufmessschacht geleitet.

Östlich der 4. Reinigungsstufe, in Richtung der Zufahrtsstraße wird ein Gebäude vorgesehen, in dem zum einen die Fällmitteldosierstation sowie die Kompressoren für die Flockungsfilter (Druckluftversorgung der Mammutpumpen) untergebracht sind. Zusätzlich wird in diesem Gebäude der Ozongenerator mit Kühlung und Kompressoren zur Einbringung des Ozons in die Ozonungsstufe verortet. Dies wird als ebenerdiger, eingeschossiger Hochbau (Höhe ca. 5 m) berücksichtigt.

An der Zufahrtsstraße werden der Fällmittelabtankplatz sowie die Flüssigsauerstofftanks zur Wiederbefüllung angeordnet, so dass eine einfache Zulieferung realisiert werden kann.

## Anlage 9

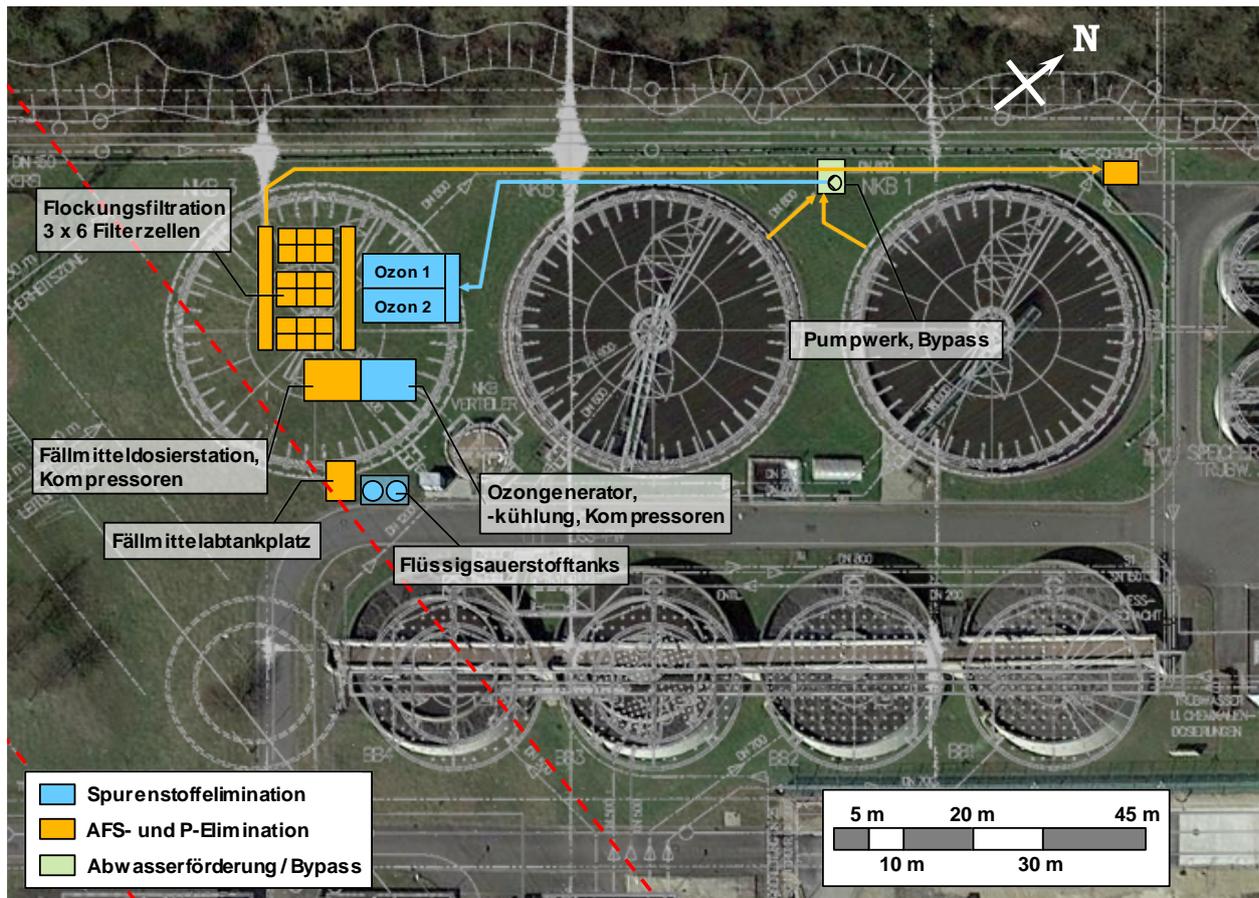


Abbildung 7.2: Lageplanskizze der Verfahrenskombination 1 (Ozon + Flockungsfiltration)

### 7.1.3 Investitionskosten

Zur Ermittlung des Kostenrahmens für die Investitionskosten der Verfahrenskombination Ozonung und Flockungsfiltration wurden folgende Kostenpositionen berücksichtigt:

Bautechnik:

- Umbau der Ablaufleitung NKB 1
- Schachtbauwerk einschl. Pumpwerk und Anschluss der Ablaufleitung NKB 1 an den Bestand
- Ozonreaktor
- Filtrationsbecken
- Verbindende Rohrleitungen (DN 800)
- Hochbau für die Peripherie (Fällmitteldosierstation, Ozongenerator etc.)

## Anlage 9

---

- Fällmittelabtankplatz
- Baustelleneinrichtung

### Maschinen- und EMSR-Technik:

- Pumpwerk zur Hebung des Abwassers
- Diffusoren für den Ozoneintrag
- Ozonerzeugung, Kühlung des Generators und Restozonvernichtung
- Gebläse für den Lufteintrag in die Flockungsfiltration
- Fällmitteldosierstation
- Fällmittellagertank, Abtankplatz
- Flüssigsauerstofftanks
- Steuerung und Regelung der 4. Reinigungsstufe
- Anpassungen der Niederspannungsverteilungen
- Anpassungen des Prozessleitsystems
- Dokumentation und Inbetriebnahme

Der Kostenrahmen mit einer Genauigkeit von  $\pm 30\%$  für die Realisierung der ersten Verfahrenskombination aus Ozonung und Flockungsfiltration liegt der SZFG vor, wird an dieser Stelle jedoch aus betrieblichen Gründen nicht detailliert veröffentlicht. Das Ergebnis der Ermittlung des Kostenrahmens zeigte, dass die Investitionskosten der ersten Verfahrenskombination um rund 20 % geringer sind als die der zweiten untersuchten Verfahrenskombination aus Flockungs- und GAK-Filtration (s. Kapitel 7.2).

## Anlage 9

---

### 7.1.4 Betriebskosten

Als Betriebskosten für die Verfahrensvariante 1 sind die folgenden Kostenpositionen zu berücksichtigen:

- Wartung und Instandhaltung
- Personalkosten
- Energiekosten
- Chemikalienkosten (Fällmittel, Flüssigsauerstoff)
- Kosten für die Klärschlamm Entsorgung

Die einzelnen Verbräuche können aus der Dimensionierung (siehe Anlage 9.1) abgeleitet bzw. anhand üblicher Richtwerte für Personaleinsatz und Wartungsaufwand abgeschätzt werden. Da die spezifischen Kosten sehr stark von den individuellen Bezugspreisen der SZFG, insbesondere für Strom und Flüssigsauerstoff, abhängen, wurde in Absprache mit dem Auftraggeber darauf verzichtet, an dieser Stelle eine Abschätzung der Betriebskosten vorzunehmen.

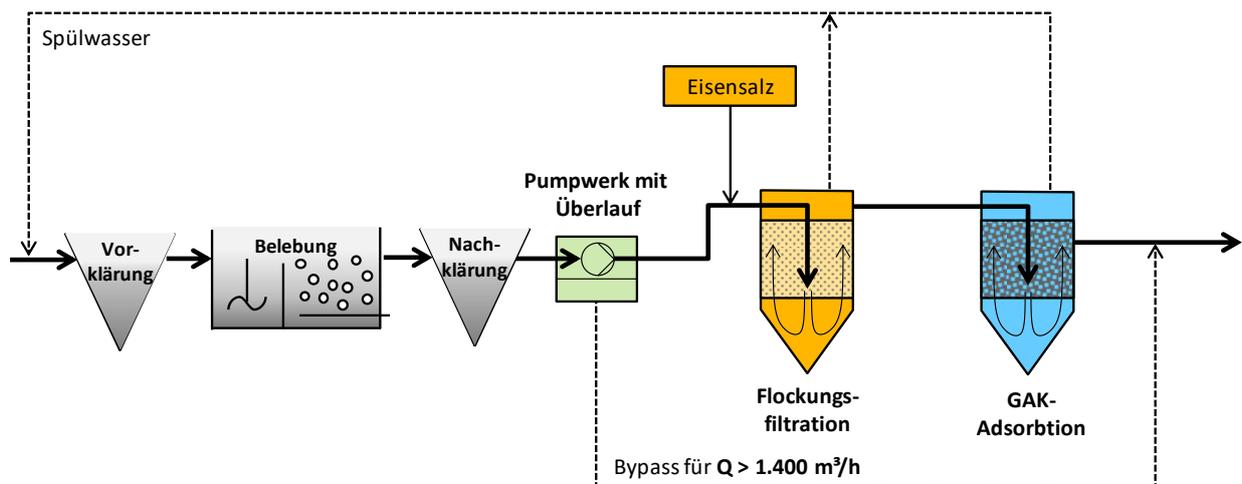
## 7.2 Verfahren 2: Flockungsfiltration + GAK-Filtration

### 7.2.1 Verfahrenstechnische Umsetzung

Analog zur Variante 1 wird das aus der Nachklärung gereinigte Abwasser über ein Pumpwerk um rd. 8 m gehoben. Für das Pumpwerk werden für diese Studie 2+1 Kreiselpumpen mit je  $Q_{\max} = 700 \text{ m}^3/\text{h}$  vorgesehen. Bei Überschreitung der Auslegungswassermenge von  $1.400 \text{ m}^3/\text{h}$  wird ein Teil der Abwassermenge über eine Überlaufschwelle in die bestehende Ablaufleitung abgeschlagen.

Das Fällmittel (Eisen-(III)-Chlorid) kann über einen statischen Mischer in die Zulaufleitung zur Flockungsfiltration dosiert werden. Die Zulaufleitung besitzt eine Nennweite von DN 800.

## Anlage 9



**Abbildung 7.3: Flockungsfiltration + GAK-Filtration, Verfahrenstechnische Umsetzung**

Das Abwasser wird über eine Verteilerrinne auf die drei Straßen der Flockungsfiltration geleitet. Die kontinuierlich betriebenen Sandfilter werden mit Mammutpumpen umgewälzt. Der Fällschlamm, bestehend aus Eisenphosphaten und -hydroxiden sowie abfiltrierten Feststoffen (AFS), wird mit dem Spülabwasser in die Vorklärung zurückgeführt. Hierzu reicht eine Freigefälleleitung aufgrund der ausreichenden Höhendifferenz. Jede Straße besteht aus 6 Filtereinheiten in einer kompakten Betonbauweise. Die Filterbetthöhe beträgt 2 m. Die Gesamthöhe des Bauwerks, das ebenerdig aufgestellt wird, liegt bei rd. 6 m.

Der Ablauf der Flockungsfiltration wird in eine Sammel- bzw. Verteilerrinne geleitet. Das Abwasser wird über diese Rinne in die 3-straßige GAK-Filtration verteilt. Die GAK-Filter werden ebenfalls als kontinuierlich betriebene Filterzellen realisiert. Aufgrund der erforderlichen Filterleerbettgeschwindigkeit („Empty Bed Contact Time“ = EBCT) von EBCT = 20 min ist eine entsprechend höhere Filterfläche von 216 m<sup>2</sup> und eine höhere Filterbetttiefe von 2,5 m erforderlich. Wegen des Druckverlustes von rd. 1,2 – 1,8 m durch die Filtration wird die GAK-Filtration im Vergleich zur vorhergehenden Flockungsfiltration entsprechend tiefer angeordnet.

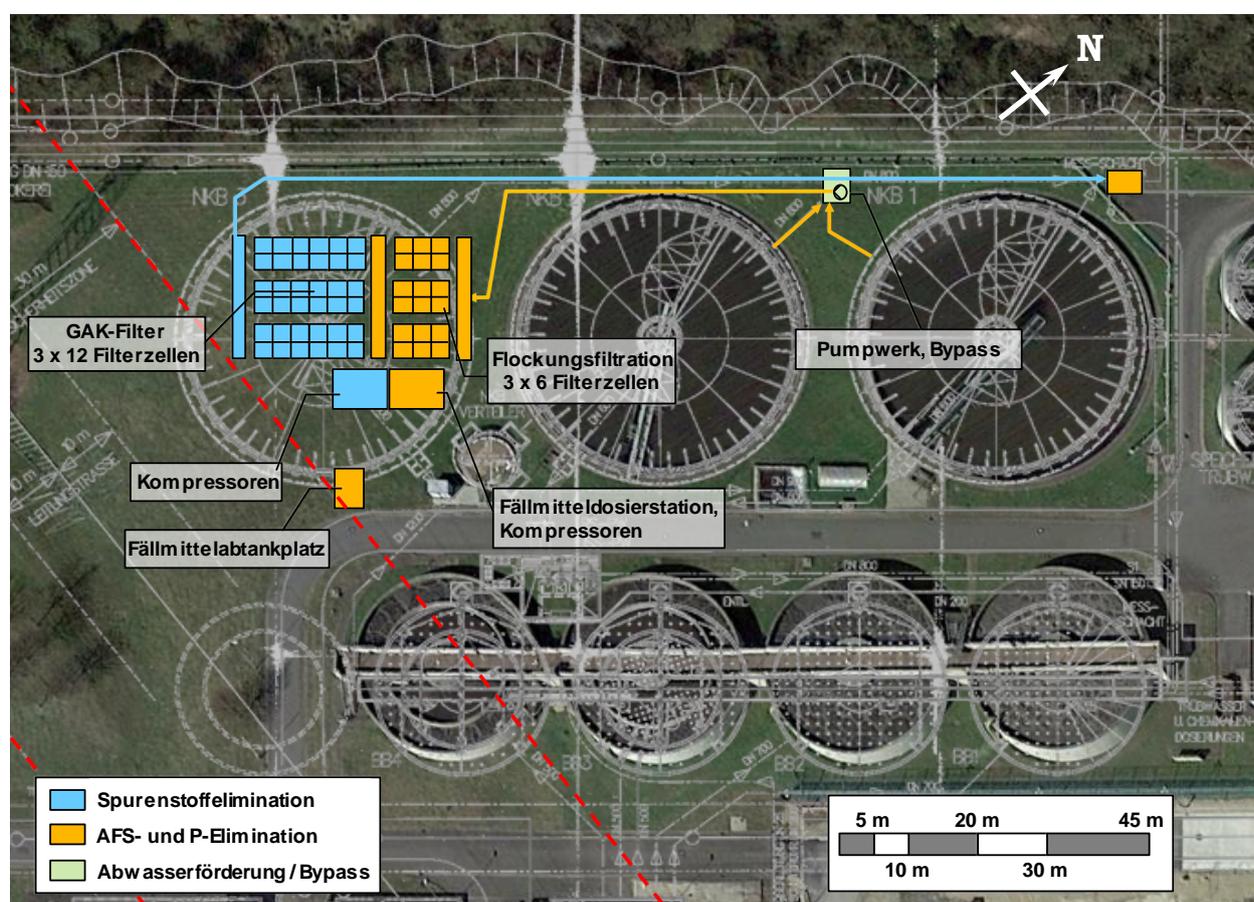
Ein Ablauf des Spülabwassers aus der GAK-Filtration kann trotz tieferer Gründung weiterhin im Freigefälle zur Vorklärung erfolgen. Gleiches gilt für den Abwasserablauf in Richtung des Schachtbauwerkes und weiter über die Bestandsleitung in den Ablaufmessschacht.

## Anlage 9

Die Lagerung und Dosierung des Fällmittels geschieht analog zu Variante 1. Die Dosiermenge an Fällmittel kann frachtproportional gesteuert werden und wird über doppelwandige Rohre leakageüberwacht.

### 7.2.2 Integration in die Werkskläranlage

Für die Verfahrenskombination der Flockungsfiltration mit nachgeschalteter GAK-Adsorptionsstufe ist der Flächenbedarf sowie die Anordnung in Abbildung 7.4 dargestellt.



**Abbildung 7.4: Lageplanskizze der Verfahrenskombination 2 (Flockungsfiltration + GAK-Filter)**

Die 4. Reinigungsstufe wird analog zur Variante 1 südlich der Nachklärung (Bereich des nicht realisierten Nachklärbeckens 3) vorgesehen. Die baulichen Maßnahmen zum Umbau des Ablaufs der Nachklärung sowie zur Umleitung des Abwassers zur vorgesehenen weitergehenden Abwasserreinigung sind identisch mit denen der Variante 1 (vgl. **Kapitel 7.1.1**). Der Ablauf aus der 4. Reinigungsstufe wird ebenfalls an die

## Anlage 9

---

bestehende Ablaufleitung am Schachtbauwerk angeschlossen und kann so im Freigefälle Richtung Ablaufmessschacht abgeführt werden.

Die Pumpen besitzen einen entsprechenden Vordruck (ca. 8 m), um so eine möglichst ebenerdige Aufstellung der Flockungsfiltration (rd. 6 m Bauwerkshöhe) zu realisieren und unter Berücksichtigung der hydraulischen Druckverluste (rd. 1,2-1,8 m je Filtrationsstufe) die Filtrationseinheiten sowie den Ablauf zurück in Richtung Ablaufmessschacht im Freigefälle zu erreichen.

Der Flächenbedarf sowie die Auslegung für die Flockungsfiltration ist identisch zu Variante 1. Die GAK-Filtration wird wie die Flockungsfiltration in 3 Straßen aufgeteilt. Jede Straße enthält 2 x 6 Filtereinheiten mit derselben Größe wie beim Flockungsfilter. Der Flächenbedarf beläuft sich somit auf rd. 16 m Länge und 6 m Breite je Straße. Im Ablauf wird das Abwasser in einer Sammelrinne zusammengeführt und in Richtung des Schachtbauwerks und so in Richtung des Ablaufmessschachts geleitet.

Östlich der 4. Reinigungsstufe, in Richtung der Zufahrtsstraße wird ein Gebäude vorgesehen, in dem zum einen die Fällmitteldosierstation sowie die Kompressoren für die Flockungsfilter sowie die Umwälzung des GAK-Filtermaterials untergebracht sind.

An der Zufahrtsstraße wird der Fällmittelabtankplatz angeordnet, so dass eine einfache Zulieferung realisiert werden kann.

## Anlage 9

---

### 7.2.3 Investitionskosten

Zur Ermittlung des Kostenrahmens für die Investitionskosten der Verfahrenskombination Flockungsfiltration und GAK-Adsorption wurden folgende Kostenpositionen berücksichtigt:

Bautechnik:

- Umbau der Ablaufleitung NKB 1
- Schachtbauwerk einschl. Pumpwerk und Anschluss der Ablaufleitung NKB 1 an den Bestand
- Filtrationsbecken (Flockungsfiltration)
- Filtrationsbecken (GAK-Adsorption inkl. Erstbefüllung mit frischer GAK)
- Verbindende Rohrleitungen (DN 800)
- Hochbau für die Peripherie (Fällmitteldosierstation, Ozongenerator etc.)
- Fällmittelabtankplatz
- Baustelleneinrichtung

Maschinen- und EMSR-Technik:

- Pumpwerk zur Hebung des Abwassers
- Gebläse für den Lufteintrag in die Flockungsfiltration
- Gebläse für den Lufteintrag in die GAK-Filterstufe
- Fällmitteldosierstation
- Fällmittellagertank, Abtankplatz
- Flüssigsauerstofftanks
- Steuerung und Regelung der 4. Reinigungsstufe
- Anpassungen der Niederspannungsverteilungen
- Anpassungen des Prozessleitsystems
- Dokumentation und Inbetriebnahme

## Anlage 9

---

Der Kostenrahmen mit einer Genauigkeit von  $\pm 30\%$  für die Realisierung der zweiten Verfahrenskombination aus Flockungs- und GAK-Filtration liegt der SZFG vor, wird an dieser Stelle jedoch aus betrieblichen Gründen nicht detailliert veröffentlicht. Das Ergebnis der Ermittlung des Kostenrahmens zeigte, dass die Investitionskosten der ersten Verfahrenskombination aus Ozonung und Flockungsfiltration (s. Kapitel 7.1) um rund 20 % geringer sind als die der zweiten Verfahrenskombination.

### 7.2.4 Betriebskosten

In den Betriebskosten wurden die folgenden Kostenpositionen berücksichtigt:

- Wartung und Instandhaltung
- Personalkosten
- Energiekosten
- Chemikalienkosten (Fällmittel)
- Kosten für die Granulierte Aktivkohle (frisch bzw. regeneriert)
- Kosten für die Klärschlamm Entsorgung

Die einzelnen Verbräuche können aus der Dimensionierung (siehe Anlage 9.1) abgeleitet bzw. anhand üblicher Richtwerte für Personaleinsatz und Wartungsaufwand abgeschätzt werden. Da die spezifischen Kosten sehr stark von den individuellen Bezugspreisen der SZFG, insbesondere für Strom und GAK abhängen, wurde in Absprache mit dem Auftraggeber darauf verzichtet, an dieser Stelle eine Abschätzung der Betriebskosten vorzunehmen.

## Anlage 9

### 8. Prognose der Konzentrationen im Ablauf der Werkskläranlage

Anhand der in den Laborversuchen ermittelten Eliminationsraten (vgl. Kapitel 5) wurden die nach Umsetzung der Verfahrensvarianten zu erwartenden Konzentrationen der relevanten Parameter im Ablauf der Werkskläranlage berechnet (Tabelle 8.1). Dabei wurde berücksichtigt, dass in den neuen Behandlungsstufen 90 % der Jahresabwassermenge behandelt werden.

**Tabelle 8.1: Prognostizierte Konzentrationen im Ablauf vor und nach Umsetzung der Verfahrensvarianten**

Parameter	Einheit	IST	Ablauf 4. Reinigung		Ablauf WKA***		Grenzwert	
			Variante 1	Variante 2	Variante 1	Variante 2		
			Ozon + FF	FF + GAK	Ozon + FF	FF + GAK		
Abfiltrierbare Stoffe	AFS *	mg/l	34,5	5,0	5,0	8,0	8,0	20,0
Orthophosphat	PO <sub>4</sub> -P **	mg/l	0,42	0,09	0,06	0,11	0,08	0,07
Phosphor	P <sub>ges</sub> -P **	mg/l	0,54	0,08	0,05	0,15	0,08	0,10
Chlorid	Cl <sup>-</sup> **	mg/l	267	267	267	267	267	200
Sulfat	Sulfat **	mg/l	357	357	349	349	357	200
Benzo(a)pyren	BZP **	µg/l	7,00E-03	1,08E-04	2,69E-05	5,29E-04	4,54E-04	1,70E-04
Perfluorooctansulfonsäure	PFOS **	µg/l	3,80E-03	2,38E-03	7,92E-04	2,42E-03	9,62E-04	6,50E-04
Polybromierte Diphenylether	PBDE **	µg/l	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	-
Cyanid, gesamt	CN <sub>ges</sub> **	µg/l	31,5	20,9	20,3	21,2	20,6	10,0****
Bor	B **	µg/l	450	450	450	450	450	-
Nickel	Ni **	µg/l	18,0	12,0	10,5	12,2	10,8	4,0****
Quecksilber	Hg **	µg/l	0,39	0,07	0,05	0,09	0,07	-
Blei	Pb **	µg/l	9,0	0,30	0,30	0,83	0,83	1,2****
Molybdän	Mo **	µg/l	207	203	203	203	203	-
Selen	Se **	µg/l	12,0	12,0	9,0	12,0	9,0	3,0****
Thallium	Tl **	µg/l	0,13	0,13	0,09	0,13	0,09	0,2****
Uran	U **	µg/l	0,90	0,72	0,90	0,72	0,90	-
Vanadium	V **	µg/l	8,0	2,22	2,22	2,53	2,53	-

\*85-Perzentil

\*\*Mittelwert

\*\*\*Mischungsberechnung inkl. Bypass

\*\*\*\*gelöste Konzentration

Mit beiden Verfahrensvarianten kann die Einhaltung des nach AbwV zukünftigen Überwachungswertes für den Parameter AFS sichergestellt werden. Bzgl. der Phosphorparameter (P<sub>ges</sub> und PO<sub>4</sub>-P) ist es wahrscheinlich, dass mit der Verfahrenskombination von Flockungsfiltration und anschließender GAK-Adsorption die geforderten UQN erreicht bzw. unterschritten werden.

Bzgl. der Neutralsalze (Chlorid und Sulfat) ist durch keine Verfahrensvariante eine nennenswerte Reduktion zu erreichen. Dies zeigt, dass am Ablauf der Werkskläranlage die Konzentrationen dieser Parameter technisch nicht auf die geforderten UQN reduziert werden können. Polybromierte Diphenylether lagen

## Anlage 9

---

bereits im Ablauf der Nachklärung (IST) in Konzentrationen unter den Bestimmungsgrenzen vor, so dass keine Reduktion nachgewiesen wurde, diesbezüglich aber auch kein Handlungsbedarf besteht.

Benzo(a)pyren wird von beiden Varianten sehr gut eliminiert, so dass eine Reduktion um mehr als eine Größenordnung realistisch erscheint. Bzgl. PFOS kann besonders mit Verfahrensvariante 2 eine deutliche Reduktion der Konzentrationen erwartet werden. Aufgrund der gewählten Teilstrombehandlung (vgl. Kapitel 6.1.1) zeigt sich, dass im Ablauf der Werkskläranlage die geforderten UQN im Jahresmittel nicht ganz eingehalten werden können. Das gleiche gilt für die Parameter Cyanid<sub>gesamt</sub>, Nickel und Selen, für die zwar eine Elimination festgestellt werden konnte, jedoch die UQN nicht erreicht werden können. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die UQN nicht am Ablauf der Werkskläranlage sondern in der Aue hinter dem Ablauf der Regenrückhaltebecken Üfingen einzuhalten sind. Zudem beziehen sich die UQN für Metalle, wie Nickel und Selen, auf die gelöste Konzentration, wohingegen in Tabelle 8.1 die Gesamtkonzentration aufgeführt ist.

Zusammenfassend kann aus den Laborversuchen mit dem spezifischen Abwasser der Werkskläranlage festgehalten werden, dass die gewählten Verfahren beide grundsätzlich geeignet sind und zu einer Verbesserung der chemischen Gewässerqualität beitragen. Insgesamt können die Konzentrationen der betrachteten Parameter jedoch mit der Verfahrensvariante 2 noch weiter reduziert werden als mit Variante 1.

## Anlage 9

---

### 9. Nutzwertanalyse der ausgewählten Verfahren

In dieser Studie wurden zwei Verfahrensvarianten für die Erweiterung der Werkskläranlage Salzgitter erarbeitet und ausgelegt. Das Ziel dieser Verfahrensvarianten ist eine weitergehende AFS- und Phosphorelimination sowie zusätzlich eine Spurenstoffelimination.

Neben den wirtschaftlichen Unterschieden der Verfahren werden nachfolgend bautechnische, verfahrenstechnische sowie umwelttechnische Aspekte bewertet, um so mit einer Nutzwertanalyse eine ganzheitliche Empfehlung für eine Verfahrensvariante aussprechen zu können.

Für den Entscheidungsprozess wurden verschiedene Kriterien entwickelt, die in **Kapitel 9.1** erläutert werden. Diese werden in drei Hauptkriterien eingeteilt: Wirtschaftlichkeit, Betriebliche Aspekte und Umweltaspekte. Die Verfahrensvarianten werden bzgl. jedes einzelnen Kriteriums nach ihrer jeweiligen Zielerfüllung bewertet. 100 % Zielerfüllung kann je Kriterium maximal erreicht werden (=Variante erfüllt vollständig das Ziel des entsprechenden Kriteriums). Eine abweichende Zielerfüllung wird mit < 100 % bewertet. Je nach Kriterium wird die Abweichung zur maximalen Zielerfüllung entsprechend eines Berechnungsansatzes (siehe Kapitel 9.1) durchgeführt.

Aufgrund der unterschiedlichen Relevanz besitzen die Kriterien mit dem Auftraggeber abgestimmte Gewichtungen. So kann aus der Zielerfüllung jedes einzelnen Kriteriums und den entsprechenden Gewichtungen für jede Verfahrensvariante die Gesamt-Zielerfüllung berechnet werden (100 % Zielerfüllung = bestmögliche Bewertung, 0 % Zielerfüllung = schlechtest mögliche Bewertung).

#### 9.1 Kriterien und Gewichtung

Das Hauptkriterium Wirtschaftlichkeit, worunter die Investitionskosten berücksichtigt werden, wird mit 20 % gewichtet.

## Anlage 9

Betriebliche Aspekte werden mit insgesamt 20 % bewertet. Die Unterkriterien sind „Platzbedarf und Erweiterbarkeit“, „Betriebsmitteleinsatz“, „Wartungsaufwand“ und „Betriebssicherheit“.

Das Hauptkriterium „Umweltaspekte“ wird mit 60 % am stärksten gewichtet, da das Hauptziel der Erweiterung der Werkskläranlage mit einer der untersuchten Verfahrensvariante die Reduktion einzelner Stoffkonzentrationen zum Erreichen der Anforderungen der OGewV bzw. zur Erfüllung des Verbesserungsgebotes gemäß EU-WRRL ist. Unter diesem Hauptkriterium werden die Reinigungsziele der einzelnen Parameter (AFS, Phosphor, Cyanid, PAK, PFOS, Selen) bewertet. Als weiteres Kriterium sind die sonstigen Umweltauswirkungen (z.B. CO<sub>2</sub>-Emissionen) berücksichtigt.

Die Gewichtung und die Berechnungsgrundlage für die Zielwerterfüllung der Unterkriterien sind in den nachfolgenden Abschnitten beschrieben.

**Tabelle 9.1: Kriterien und Gewichtung der Nutzwertanalyse**

Hauptkriterium	Unterkriterium	Gewichtung	
<b>Wirtschaftlichkeit</b>		<b>20 %</b>	
	Investitionskosten		100 %
<b>Betriebliche Aspekte</b>		<b>20 %</b>	
	Platzbedarf und Erweiterbarkeit		20 %
	Betriebsmitteleinsatz		15 %
	Wartungsaufwand		25 %
	Betriebssicherheit		40 %
<b>Umweltaspekte</b>		<b>60 %</b>	
	Erreichung des Reinigungsziels AFS		30%
	Erreichung des Reinigungsziels P		10%
	Erreichung des Reinigungsziels Cyanid		10%
	Erreichung des Reinigungsziels PAK		15%
	Erreichung des Reinigungsziels PFOS		15%
	Erreichung des Reinigungsziels Selen		5%
	Transformationsprodukte (u.a. Bromat)		10%
	Sonst. Umweltauswirkungen (CO <sub>2</sub> -Emissionen, Lärm)		5%

## Anlage 9

---

### 9.1.1 Wirtschaftlichkeit

#### Investitionskosten

Im Hauptkriterium Wirtschaftlichkeit werden in dieser Studie die Investitionskosten berücksichtigt. Bei der Bewertung zur Zielerfüllung wird die günstigste Variante mit 100 % Zielerfüllung bzw. mit 1 bewertet. Die Zielerfüllung (ZE) der teureren Variante wird anhand der Abweichung zur günstigsten Variante mit folgender Formel bewertet:

$$ZE = \frac{Invest_{günstigste\ Variante}}{Invest_{teurere\ Variante}}$$

Anhand dieser Berechnung wird die Variante 1 mit der Ozonung und Flockungsfiltration mit 100 % Zielerfüllung bewertet, Variante erreicht 79 % Zielerfüllung.

### 9.1.2 Betriebliche Aspekte

#### Platzbedarf und Erweiterbarkeit

Da eine zukünftige Erweiterbarkeit von den übrigbleibenden Freiflächen und diese wiederum vom Platzbedarf der Varianten abhängen, erfolgt für dieses Kriterium die Bewertung auf Basis des Flächenbedarfes. Die Variante 1 ist mit der kompakten Ozonung die Variante mit dem geringsten Platzbedarf (ca. 550 m<sup>2</sup>) und wird mit 100 % Zielerfüllung bewertet. Die Variante 2 mit der GAK-Adsorption benötigt rd. 730 m<sup>2</sup> und wird analog zum Berechnungsansatz der Investitionskosten mit 75 % Zielerfüllung bewertet.

#### Betriebsmitteleinsatz

Der Betriebsmitteleinsatz bei der Variante 1 hängt im Unterschied zu Variante 2 im Wesentlichen vom Stromverbrauch und dem Verbrauch an Flüssigsauerstoff ab. Bei Variante 2 muss das GAK-Filtermaterial in regelmäßigen Abständen ausgetauscht werden.

Für die Bewertung werden die jährlichen Kosten der o.g. Betriebsmittel herangezogen. Die Variante 1 hat eine Zielerfüllung von 100 % und Variante 2 eine Zielerfüllung von 73 %.

## Anlage 9

---

### Wartungsaufwand

Der Wartungsaufwand hängt im Wesentlichen von der Anzahl an Aggregaten und der Komplexität des Verfahrens ab. Da bei der Verfahrensvariante 2 zwei ähnliche Filtrationen hintereinander geschaltet sind, können einzelne Aggregate für beide Stufen verwendet bzw. gleich ausgeführt werden, wodurch auch Synergien bzgl. des Wartungsaufwandes entstehen. Im Vergleich dazu wird für Verfahrensvariante 1 mit der Ozonung eine vollständig andere Verfahrensstufe mit der Filtration gekoppelt. Zudem werden für die Ozonung mehr Aggregate (Generatoren, Kompressoren) benötigt, die zusätzlichen Wartungsaufwand bedeuten. Daher wird Variante 2 aufgrund des niedrigeren Wartungsaufwandes mit 100 % ZE und Variante 1 mit 80 % ZE bewertet.

### Betriebssicherheit

Die Betriebssicherheit ist anhand monetärer oder verfahrenstechnischer Parameter mittels einer Berechnungsgrundlage nicht eindeutig zu bewerten. Beide verfahrenstechnische Varianten werden bereits großtechnisch eingesetzt, so dass von einer grundlegenden Betriebssicherheit bei beiden Varianten ausgegangen werden kann. Bei der GAK-Adsorption wird eine höhere Betriebssicherheit angenommen, da verfahrenstechnisch eine identisch zur Flockungsfiltration verwendete Technik (kontinuierlich betriebene Filter) verwendet wird. Die Peripherie ist somit die Gleiche, Ersatzaggregate sind daher leicht vorzuhalten. Im Vergleich dazu sind die für die Ozonherstellung und -einblasung erforderlichen Aggregate zusätzliche Betriebspunkte, die damit zu einer erhöhten Störanfälligkeit beitragen. Die Variante 2 wird daher mit 100 % Zielerfüllung und die Variante 1 mit 80 % bewertet.

### 9.1.3 **Umweltauswirkungen**

Die Erreichung der Reinigungsziele durch die Varianten wird für die in **Kapitel 3** erarbeiteten Parameter bewertet. Hierzu zählen die in Tabelle 9.2 aufgelisteten Parameter. In dieser Tabelle ist ebenfalls die Berechnungsgrundlage für die Zielerfüllung dargestellt. 100 % Zielerfüllung stellt jeweils die Erreichung des Überwachungswertes nach AbwV (bei AFS) bzw. die Unterschreitung des Jahresdurchschnittswertes der Umweltqualitätsnorm (JD-UQN) bzw. des Orientierungswertes (MW/a) nach OGewV dar. Bei der

## Anlage 9

möglichen Produktion an Bromat nach der Ozonung wird der Trinkwassergrenzwert als 100 % Zielerfüllung gesetzt.

Analog dazu wird 0 % Zielerfüllung gleich 0 % Reduktion festgelegt. Hierzu werden, mit Ausnahme der AFS-Konzentration, die jeweiligen Ausgangskonzentrationen aus den Laborversuchen herangezogen. Liegt die in den Laborversuchen erreichte Konzentration im Ablauf der Verfahrenskombinationen zwischen den Konzentrationen von 0 % und 100 % Zielerfüllung, wird die Zielerfüllung entsprechend interpoliert.

**Tabelle 9.2: Bewertung der Parameter im Hauptkriterium „Umweltauswirkungen“**

Parameter	Bewertungsgrundlage	100 % Zielerfüllung bei	0 % Zielerfüllung bei
AFS	ÜW nach AbwV	≤ 20 mg/l (85-Perz.)	35*
Phosphor, gesamt	MW/a nach OGewV	≤ 0,1 mg/l	0,7**
Cyanid, gesamt	JD-UQN nach OGewV	≤ 0,01 mg/l	0,14**
Benzo(a)pyren (= PAK)	JD-UQN nach OGewV	≤ 0,00017 µg/l	0,013**
PFOS	JD-UQN nach OGewV	≤ 0,00065 µg/l	0,0024**
Selen	JD-UQN nach OGewV	≤ 0,003 mg/l	0,016**
Bromat	Grenzwert nach TrinkwV	≤ 10 µg/l	-

\*85-Perzentil der Konzentrationen im Ablauf der WKA (2015-2017)

\*\*Ausgangskonzentration im Ablauf der Nachklärung bei Laborversuchen (Probenpunkt 1)

### Erreichung des Reinigungsziels AFS

Bei beiden Varianten wird durch die Flockungsfiltration eine ausreichende Reinigungsleistung erwartet, so dass im Ablauf, wie in Kapitel 6 dargestellt, sicher eine AFS-Konzentration von kleiner 20 mg/l im Ablauf der Teilstrombehandlung und auch im Ablauf der Werkskläranlage erreicht werden kann. Beide Varianten werden somit mit 100 % ZE bewertet.

### Erreichung des Reinigungsziels Phosphor, gesamt

Bei den Laborversuchen zu Verfahrensvariante 2 wurde eine Konzentration von unter 0,1 mg P/l im Ablauf erreicht. Somit erhält diese Variante eine Zielerfüllung von 100 %. Bei Variante 1 konnte dagegen nur eine

## Anlage 9

---

etwas geringere P-Elimination erreicht werden, was sich in einer Ablaufkonzentration von 0,12 mg P/l widerspiegelt. Die Zielerfüllung liegt entsprechend bei 89 %.

### Erreichung des Reinigungsziels Cyanid, gesamt

Beide Varianten haben in den Laborversuchen nur eine relativ geringe Cyanid-Entfernung erzielt, so dass die Zielkonzentration von 0,01 mg CN/l nicht erreicht werden konnte. Variante 1 hat eine Zielerfüllung von 48 % und Variante 2 eine Zielerfüllung von 51 %.

### Erreichung des Reinigungsziels Benzo(a)pyren

Benzo(a)pyren konnte in den Laborversuchen mit beiden Verfahrenskombinationen sehr gut gereinigt werden. Die Zielerfüllung bei Variante 1 liegt bei 95 % und bei Variante 2 bei 96 %.

### Erreichung des Reinigungsziels PFOS

Die Variante 1 schafft eine 44 %-ige Zielerfüllung. Variante 2 erreicht eine deutlich höhere Elimination, so dass die durch Mischungsrechnung bestimmte zukünftige Ablaufkonzentration im Bereich der UQN für PFOS von 0,00065 µg/l liegt. Die Variante 2 erzielt damit eine Zielerfüllung von 90 %.

### Erreichung des Reinigungsziels Selen

Die Verfahrenskombination Ozon und Flockungsfiltration erreicht bei Selen keinen Reinigungseffekt und wird somit mit 0 % Zielerfüllung bewertet. Die Verfahrenskombination von Flockungsfiltration und GAK kann zwar das vorgegebene Reinigungsziel nicht erreichen, besitzt aber eine, wenn auch geringe, Abscheideleistung des Selen und wird entsprechend mit 33 % ZE bewertet.

### Transformationsprodukte (u.a. Bromat)

Bromat wird durch eine starke Oxidierung (z.B. durch Ozon) aus Bromit, das im Abwasser vorhanden ist, gebildet. Da Bromat im Vergleich zu Bromit als krebserregend eingestuft ist, sollte die Bromat-Konzentration möglichst niedrig sein. Zur Beurteilung wird die Bromat-Konzentration im Ablauf der Verfahrensvariante 1 mit dem Grenzwert für Trinkwasser verglichen. Da die Konzentration mit 0,03 mg/l über dem Grenzwert

## Anlage 9

---

von 0,01 mg/l liegt, erreicht die Variante 1 nur eine Zielerfüllung von 32 %. Bei der Filtration und Adsorption an Aktivkohle kann hingegen kein Bromat gebildet werden. Auch ist die Entstehung von sonstigen Transformationsprodukten für eine GAK-Filtration grundsätzlich ausgeschlossen, so dass die Verfahrensvariante 2 bzgl. der Transformationsprodukte eine Zielerfüllung von 100 % erzielt.

### Sonstige Umweltauswirkungen (CO<sub>2</sub>-Emissionen)

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen werden als weiterer Faktor mitberücksichtigt. Hierzu werden die Forschungsergebnisse des BMBF-Projektes IST4R (Jekel et al., 2016) zu der Ökobilanzierung gleicher Verfahrenskombinationen zu dieser Studie zu Grunde gelegt. Hierbei wird die Variante 1 mit den geringsten CO<sub>2</sub>-Emissionen mit 100 % ZE bewertet. Im Vergleich dazu erreicht die Flockungsfiltration mit anschließender GAK-Adsorption 77 % ZE.

## Anlage 9

### 9.2 Ergebnis der Nutzwertanalyse

Die Bewertung der einzelnen Kriterien mit den Wichtungen ist in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt.

**Tabelle 9.3: Ergebnis der Nutzwertanalyse**

Nutzwertanalyse						
Kriterium	Haupt- wichtung	Teil- wichtung	Variante 1 Ozon + Flockungsfilter		Variante 2 Flockungsfilter + GAK	
			ZE	TN	ZE	TN
Wirtschaftlichkeit	<b>20%</b>			<b>100%</b>		<b>79%</b>
Investitionskosten		100%	1,00	1,00	0,79	0,79
Betriebliche Aspekte	<b>20%</b>			<b>79%</b>		<b>91%</b>
Platzbedarf & Erweiterbarkeit		20%	1,00	0,20	0,75	0,15
Betriebsmitteleinsatz		15%	1,00	0,15	0,73	0,11
Wartungsaufwand		25%	0,80	0,20	1,00	0,25
Betriebssicherheit		40%	0,60	0,24	1,00	0,40
Umweltaspekte	<b>60%</b>			<b>73%</b>		<b>89%</b>
Erreichung Reinigungsziel AFS		30%	1,00	0,30	1,00	0,30
Erreichung Reinigungsziel P		10%	0,89	0,09	1,00	0,10
Erreichung Reinigungsziel Cyanid		10%	0,48	0,05	0,51	0,05
Erreichung Reinigungsziel PAK		15%	0,95	0,14	0,96	0,14
Erreichung Reinigungsziel PFOS		15%	0,44	0,07	0,90	0,14
Erreichung Reinigungsziel Selen		5%	0,00	0,00	0,33	0,02
Transformationsprodukte (u.a. Bromat)		10%	0,32	0,03	1,00	0,10
sonst. Umweltauswirkungen (CO <sub>2</sub> )		5%	1,00	0,05	0,77	0,04
<b>Zielerfüllung gesamt</b>	<b>100%</b>			<b>79%</b>		<b>87%</b>
<b>Rangfolge</b>				<b>2</b>		<b>1</b>

Rangfolge (1 = höchste Zielerfüllung; 2 = niedrigste Zielerfüllung)

ZE = Zielerfüllung

TN = Teilnoten (gewichtete Zielerfüllung)

Im Ergebnis zeigt sich, dass hinsichtlich die Verfahrensvariante 1 aufgrund der niedrigeren Investitionskosten bzgl. der Wirtschaftlichkeit die höchste Zielerfüllung erreicht, jedoch Verfahrensvariante 2 sowohl hinsichtlich der betrieblichen Aspekte als auch der Umweltaspekte eine höhere Zielerfüllung als Variante 1 erreicht. Bei den Umweltaspekten ist dies darauf zurückzuführen, dass für viele der untersuchten

## Anlage 9

---

Parameter die Reinigungsleistung der GAK-Filtration die der Ozonung in den durchgeführten Laborversuchen übertraf. Zudem besteht bei der Verfahrensvariante 1 die Gefahr, dass sich durch schädliche Transformationsprodukte, wie Bromat, bilden und nur unzureichend durch die nachgeschaltete Filtration wieder abbauen, so dass diese möglicherweise zu einer neuen Belastung des Vorfluters führen können.

Insgesamt zeigt sich, dass beide Verfahrensvarianten eine hohe Zielerfüllung (> 75 %) aufweisen und damit beide die Eignung zur Ertüchtigung der Werkskläranlage, wie sie in Kapitel 4.3 angenommen wurde, bestätigt haben. Aufgrund der höheren Eliminationsraten bzgl. der untersuchten Parameter und der damit einhergehenden höheren Zielerfüllung bzgl. der Umweltaspekte, die die eigentliche Notwendigkeit für die Erweiterung der Werkskläranlage darstellen, erzielt Verfahrensvariante 2 die insgesamt höhere Zielerfüllung und wird damit als Vorzugsvariante bewertet.

## Anlage 9

---

### 10. Zeitliche Abwicklung

Die Umsetzung der in der vorliegenden Machbarkeitsstudie untersuchten Ertüchtigung der Werkskläranlage erfordern eine detaillierte Planung und sorgfältige Ausschreibung und Vergabe der Bauleistungen.

Sofern die weiteren Planungsleistungen zeitnah ausgeschrieben werden, ist eine Fertigstellung der Genehmigungsunterlagen im 3. Quartal 2020 möglich. Sofern die Genehmigungsbehörden die eingereichten Unterlagen in einer Frist von 3 Monaten freigeben, können die Ausschreibungsunterlagen anschließend erarbeitet und die Bauleistungen im 2. Quartal 2021 ausgeschrieben werden. Voraussetzung für eine Genehmigungsfrist von 3 Monaten ist, dass kein Genehmigungsverfahren nach § 60 Abs. 3 Satz 1 Nr. 2 WHG erforderlich wird.

Nach heutigem Kenntnisstand wird eine Bauphase von rund 2 Jahren gefolgt von einer rund 6-monatigen Inbetriebnahme erforderlich sein, bis die neuen Verfahrensgruppen die angestrebten Eliminationsleistungen im Dauerbetrieb gewährleisten. Unter Berücksichtigung eines Puffers von ca. 3 Monaten kann damit voraussichtlich Ende 2023 die Erweiterung der Werkskläranlage abgeschlossen werden, so dass ab 2024 die angestrebten Grenzwerte eingehalten werden können.

Die einzelnen Schritte zur Umsetzung der Maßnahmen sind in einem Rahmenterminplan, der als Anlage 9.4 beigefügt ist, aufgeführt.

Es ist zu berücksichtigen, dass Änderungen in Hinblick auf die Verfahrenswahl, Bereitstellung der finanziellen Mittel, unvorhergesehene Umstände im Bestand der Werkskläranlage sowie witterungsbedingte Verzögerungen während der Bauausführung zu einer Verlängerung der Maßnahme führen können.

## Anlage 9

---

### 11. Handlungsempfehlung

Für die von der Salzgitter Flachstahl GmbH auf dem Werksgelände in Salzgitter-Watenstedt betriebene mechanisch biologische Werkskläranlage wird ab dem 01.01.2021 eine neue gehobene Erlaubnis zur Einleitung des behandelten Abwassers in den Lahmanngraben erforderlich. Da sich die gesetzlichen Rahmenbedingungen an das Einleiten des Abwassers und an den Schutz der Oberflächengewässer seit dem Erteilen der letzten gehobenen Erlaubnis im Jahre 1996 in vielen Punkten geändert haben, ist davon auszugehen, dass mit der neuen gehobenen Erlaubnis zukünftig verschärfte und zusätzliche Anforderungen an das Einleiten des behandelten Abwassers gestellt werden.

Da diese Anforderungen mit der aktuellen Verfahrenstechnik der Werkskläranlage nicht alle erfüllt werden können, wurde in der vorliegenden Studie untersucht, welche Maßnahmen hierfür auf der Werkskläranlage technisch und wirtschaftlich machbar sind, um die Werkskläranlage auf den Stand der Technik zu bringen. In einem ersten Schritt wurden zwei Verfahrensvarianten ausgewählt, die anhand von bereits großtechnisch umgesetzten Anlagen grundsätzlich für die Erweiterung der Werkskläranlage geeignet sind. Beide Verfahrensvarianten beinhalten dabei eine Flockungsfiltration, mit der die Konzentrationen an Feststoffen (AFS), Phosphor und vielen Metallen deutlich reduziert werden. Da zusätzlich auch eine Reduktion von Spurenstoffen, wie z.B. PAK und PFOS, erforderlich ist, wurde in beiden Varianten die Flockungsfiltration um ein Verfahren zur gezielten Spurenstoffelimination ergänzt. Bei der ersten Verfahrensvariante wurde hierfür eine Ozonung des Abwassers und bei der zweiten Verfahrensvariante eine Adsorption der Spurenstoffe an granulierter Aktivkohle untersucht.

Die beiden ausgewählten Verfahrensvarianten wurden vordimensioniert und eine mögliche Umsetzung als Erweiterung der bestehenden Werkskläranlage sowohl aus verfahrenstechnischer Sicht als auch unter den gegebenen räumlichen Voraussetzungen untersucht. Dabei wurde für beide Verfahrensvarianten eine Teilstrombehandlung angesetzt, wofür die zusätzliche Behandlungsstufe hydraulisch so ausgelegt wurde, dass 90 % der Jahresabwassermenge in dieser behandelt werden können. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass diese Teilstrombehandlung zur sicheren Einhaltung des Überwachungswertes für AFS ausreicht. Da

## Anlage 9

---

nur bei hohen Abflüssen, d.h. bei Mischwasserzuflüssen in Folge von Regenereignissen Teile des Abwassers an der zusätzlichen Reinigungsstufe im Bypass vorbeigeleitet werden, wird die Schmutzwassermenge nahezu vollständig in den neuen Verfahrensstufen behandelt.

Die mit den Verfahrensvarianten erzielbaren Eliminationsraten bzgl. der relevanten Abwasserparameter wurden mittels Laborversuchen an der Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften ermittelt. Anhand dieser Ergebnisse wurden die nach Umsetzung der Verfahrensvarianten zu erwartenden Konzentrationen im Ablauf der Werkskläranlage berechnet.

Im Ergebnis zeigt sich, dass beide Verfahrensvarianten auf dem vorhandenen Klärwerksgelände realisiert werden können und zu einer deutlichen Verbesserung des in den Vorfluter eingeleiteten Abwassers beitragen. Der Vergleich der untersuchten Varianten zeigt, dass die Verfahrensvariante mit der GAK-Adsorption trotz höherer Investitionskosten aufgrund betrieblicher Vorteile und vor allem aufgrund höherer Eliminationsraten bzgl. der relevanten Umweltparameter insgesamt eine höhere Zielerfüllung erreicht und somit als Vorzugsvariante für die Erweiterung der Werkskläranlage empfohlen werden kann.

Für die Realisierung der empfohlenen Erweiterung der Werkskläranlage sind entsprechende Planungs-, Genehmigungs- und Bauphasen erforderlich, weshalb aus heutiger Sicht eine Fertigstellung zum Ende des Jahres 2023 und damit ein Dauerbetrieb ab 2024 realistisch erscheint.

Aufgestellt:	Dr. Born -Dr. Ermel GmbH - Ingenieure Achim, den 11.09.2019	MD
Geprüft:	Dr. Born -Dr. Ermel GmbH - Ingenieure Achim, den 11.09.2019	TO
Überarbeitet:	Dr. Born -Dr. Ermel GmbH - Ingenieure Achim, den 07.01.2020	CG