



# **Kläranlage Gescher-Harwick**

## **4. Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroschadstoffen**

Machbarkeitsstudie  
Dezember 2014 | 1. Ausfertigung  
Projektnummer 0270 029





# **Kläranlage Gescher-Harwick**

## **4. Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroschadstoffen**

Machbarkeitsstudie  
Dezember 2014 | 1. Ausfertigung  
Projektnummer 0270 029

Bearbeitet durch:  
Dipl.-Ing. Norbert Biebersdorf  
Dr.-Ing. Jan Mauriz Kaub  
M.Sc. Fernando Urueta

Aufgestellt:  
Bochum, im Dezember 2014  
bie-ka-uru

Dipl.-Ing. Norbert Biebersdorf

**Gesamtinhaltsverzeichnis****I Textteil**

- Erläuterungsbericht
- Anlagen

**II Zeichnungen**

<b>Blatt</b>	<b>Titel</b>	<b>Maßstab</b>	<b>Verwaltungsnummer</b>
1	Lageplan, Variante 1 PAK mit Rücklaufkohle	1 : 250	030 007 01 00
2	Lageplan, Variante 2 GAK-Filtration	1 : 250	030 007 02 00
3	Lageplan, Variante 3 Ozonung + Sandfilter	1 : 250	030 007 03 00

**Auftraggeber:**

Stadt Gescher  
Marktplatz 1  
48712 Gescher

Telefon: 02542 60-0  
Telefax: 02542 60-123

**Projektleiter:**

Herr Stegemann

Telefon: 02542 60 330  
stegemann@gescher.de

Herr Stockbrink

Telefon: 02542 98 230  
klaerwerk@gescher.de

**Bearbeitung durch:**

TUTTAHS & MEYER Ingenieurgesellschaft mbH  
Universitätsstraße 74  
44789 Bochum

Telefon: 0234 33305-0  
Telefax: 0234 33305-11  
info@tum-bochum.de

Herr Dipl.-Ing. Norbert Biebersdorf

Telefon: 0234 33305-54  
n.biebersdorf@tum-bochum.de

Herr Dr.-Ing. Jan Mauriz Kaub

Telefon: 0234 33305-36  
jm.kaub@tum-bochum.de

Herr M.Sc. Fernando Urueta

Telefon: 0234 33305-64  
f.urueta@tum-bochum.de

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Veranlassung und Aufgabenstellung</b> .....	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>Zugrunde liegende Unterlagen</b> .....	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>Belastungsdaten Hydraulik</b> .....	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>Reinigungsanforderungen</b> .....	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>Anlagenbestand</b> .....	<b>14</b>
5.1	Kurzbeschreibung.....	14
<b>6</b>	<b>Spurenstoffe im Wasserkreislauf</b> .....	<b>15</b>
6.1	Einleitung.....	15
6.2	Charakterisierung des Verhaltens von anthropogenen Spurenstoffen.....	15
6.3	Screening im Ablauf der Kläranlage Gescher-Harwick.....	16
<b>7</b>	<b>Verfahren zur Elimination von Spurenstoffen</b> .....	<b>18</b>
7.1	Überblick .....	18
7.2	Adsorption .....	18
7.2.1	Grundlagen.....	18
7.2.2	Einsatz Aktivkohle in der Abwassertechnik zur Spurenstoffelimination .....	23
7.2.2.1	Pulveraktivkohle .....	23
7.2.2.2	Granulierte Aktivkohle.....	24
7.3	Ozonung.....	26
7.3.1	Grundlagen.....	26
7.3.1.1	Einsatz und Wirkung von Ozon.....	26
7.3.1.2	Ozonanwendung.....	27
7.3.2	Einsatz von Ozon in der Abwassertechnik zur Spurenstoffelimination .....	28
<b>8</b>	<b>Darstellung der untersuchten Verfahrenskombinationen</b> .....	<b>30</b>
8.1	Beschickungsmenge.....	30
8.2	Verfahrensfestlegung.....	33
8.3	Randbedingungen .....	33
8.4	Varianten .....	33
8.4.1	Variante 1: PAK mit Rücklaufkohle .....	33
8.4.1.1	Allgemein.....	33
8.4.1.2	Ausführung .....	34

8.4.2	Variante 2: Filtration über granuliert Aktivkohle .....	36
8.4.2.1	Allgemeines .....	36
8.4.2.2	Ausführung .....	37
8.4.3	Variante 3: Ozonung mit nachgeschaltetem Sandfilter .....	38
8.4.3.1	Allgemeines .....	38
8.4.3.2	Ausführung .....	39
8.5	Ergebnisübersicht Varianten .....	42
<b>9</b>	<b>Kosten .....</b>	<b>43</b>
9.1	Allgemein .....	43
9.2	Investitionskosten .....	43
9.3	Betriebskosten .....	43
9.4	Jahreskosten .....	45
9.5	Einfluss der Förderung auf die Jahreskosten .....	46
9.6	Sensitivitätsanalyse .....	47
<b>10</b>	<b>Bewertung .....</b>	<b>49</b>
<b>11</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>51</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>53</b>

**Bildverzeichnis**

Bild 1:	Volumenstrom Ablauf KA Gescher-Harwick.....	12
Bild 2:	Vergleich der Spurenstoffkonzentrationen in verschiedenen Kläranlagen.....	17
Bild 3:	Verfahren zur Spurenstoffelimination (Kompetenzzentrum Spurenstoffe BW 2013) .....	18
Bild 4:	Grundbegriffe der Adsorption.....	19
Bild 5:	Teilschritte der Adsorption (Breitbach und Bathen, 2001) .....	19
Bild 6:	Isotherme Adsorption Phenol an Aktivkohle bei unterschiedlichen NaCl-Konzentrationen (Cooney 1998) .....	20
Bild 7:	Adsorptionsverhalten zweier unterschiedlicher Stoffe im Festbettadsorber (DVGW W 239).....	21
Bild 8:	Verlagerung der Adsorptionszone über die Filterlaufzeit (Sontheimer u. a., 1985) ..	22
Bild 9:	Durchbruchskurve eines Adsorptivgemisches (Worch 2004, modifiziert) .....	22
Bild 10:	Schema Ozonerzeugung (Gujer 1999, modifiziert) .....	27
Bild 11:	Ergebnisse Elimination Spurenstoffe ARA Regensdorf (Abegglen u. a. 2009) .....	28
Bild 12:	Wirkungsgrade bei Vollstrombehandlung (Konzentration beispielhaft).....	30
Bild 13:	Wirkungsgrade bei Teilstrombehandlung (Konzentration beispielhaft) .....	30
Bild 14:	Beispielhaft grafische Darstellung Wirkungsgrade bei Teilstrombehandlung .....	31
Bild 15:	Summenhäufigkeitskurve für die Ablaufwassermenge im Untersuchungszeitraum .....	32
Bild 16:	Behandelte Abwassermenge in Abhängigkeit des Bemessungszuflusses der Verfahrensstufe zur Spurenstoffelimination .....	32
Bild 17:	Blockscheema Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle .....	34
Bild 18:	Schnitt eines Tuchfilters, Ausführungsbeispiel (Quelle: Mecana) .....	35
Bild 19:	Lageplanausschnitt Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle.....	36
Bild 20:	Blockscheema Variante 2: GAK-Filtration .....	37
Bild 21:	Lageplanausschnitt Variante 2: GAK-Filtration.....	38
Bild 22:	Blockscheema Variante 3 .....	39
Bild 23:	Lageplanausschnitt Variante 3: Ozonung mit nachgeschaltetem Dynasandfilter.....	41

Bild 24:	Dyna-Sandfilter: links: Prinzipdarstellung, rechts: Anordnung im Betonbecken (Quelle: Nordic-Water).....	40
Bild 25:	Anteile kapital-, betriebs- und verbrauchsgebundene Kosten an den Jahreskosten .....	46
Bild 26:	Vergleich der Jahreskosten mit und ohne 60%-Förderung.....	47



## **Anlagen**

Anlage 1: Auslegung Varianten 1 bis 3

Anlage 2: Investitionskosten Varianten 1 bis 3

Anlage 3: Betriebskosten Varianten 1 bis 3

Anlage 4: Jahreskosten

Anlage 5: Screening-Ergebnisse Kläranlage Gescher-Harwick

## 1 **Veranlassung und Aufgabenstellung**

Die Ertüchtigung von kommunalen Kläranlagen im Hinblick auf die Elimination von anthropogenen Spurenstoffen wird derzeit in der Fachwelt diskutiert.

Diese 4. Reinigungsstufe ist in der Bundesrepublik, insbesondere in Baden-Württemberg und auf einigen Anlagen in Nordrhein-Westfalen bereits in Betrieb. In der Schweiz wird eine landesweite Einführung vorbereitet.

Nicht zuletzt lassen die Aktivitäten im Umweltausschuss des Europäischen Parlaments mit der Aufnahme von erstmals drei Pharmaka-Wirkstoffen in die sogenannte „Watch-List“ darauf schließen, dass die 4. Reinigungsstufe zukünftig Pflicht werden könnte.

In den letzten Jahren wurden verschiedene Verfahrenskombinationen auch im großtechnischen Maßstab untersucht. So stehen verschiedene Konzepte zur Elimination der genannten Stoffe zur Verfügung.

Um die Realisierbarkeit dieser Verfahren auf den Kläranlagen konkret zu untersuchen, fördert das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen Machbarkeitsstudien.

Die Stadt Gescher hat die TUTTAHS & MEYER Ing.-GmbH beauftragt, für die Kläranlage Gescher-Harwick eine solche Studie auszuarbeiten.

Mit der Studie soll eine Entscheidungsgrundlage geschaffen werden, um die Auswahl eines möglichen Verfahrens durch die Stadt Gescher zu unterstützen. Neben den technischen Aspekten werden auch die Wirtschaftlichkeit und weitere Punkte, wie z. B. die Nachhaltigkeit, bewertet.

Die Machbarkeitsstudie gliedert sich in folgende Punkte auf:

- Datenauswertung mit Ermittlung der für die Auslegung maßgeblichen Teilstrommenge;
- Auslegung der insgesamt drei Verfahrenskombinationen;
- Darstellung der Varianten im Lageplan und im Blockfließbild;
- Beschreibung und Bewertung der Verfahren;
- wirtschaftliche Bewertung der Konzepte anhand der Jahreskosten; dazu werden die Investitionskosten und die Betriebskosten abgeschätzt;
- Zusammenfassung der Bewertung in einer Entscheidungsmatrix.

## **2 Zugrunde liegende Unterlagen**

Die Grundlage der vorliegenden Planung bilden im Wesentlichen die folgenden Unterlagen:

- 2h-Werte Ablaufmessung KA Gescher-Harwick, Januar bis Dezember 2013
- Anlagenbeschreibung, Herr Stockbrink, September 2010
- Lageplan KA Gescher-Harwick (DWG-Format), Mai 2014, Gesellschaft für Abwasserberatung und Management mbH
- Erlaubnisbescheid KA Gescher-Harwick, Dezember 2010, Bezirksregierung Münster
- Verfahrensfleißbild KA Gescher-Harwick, November 2011

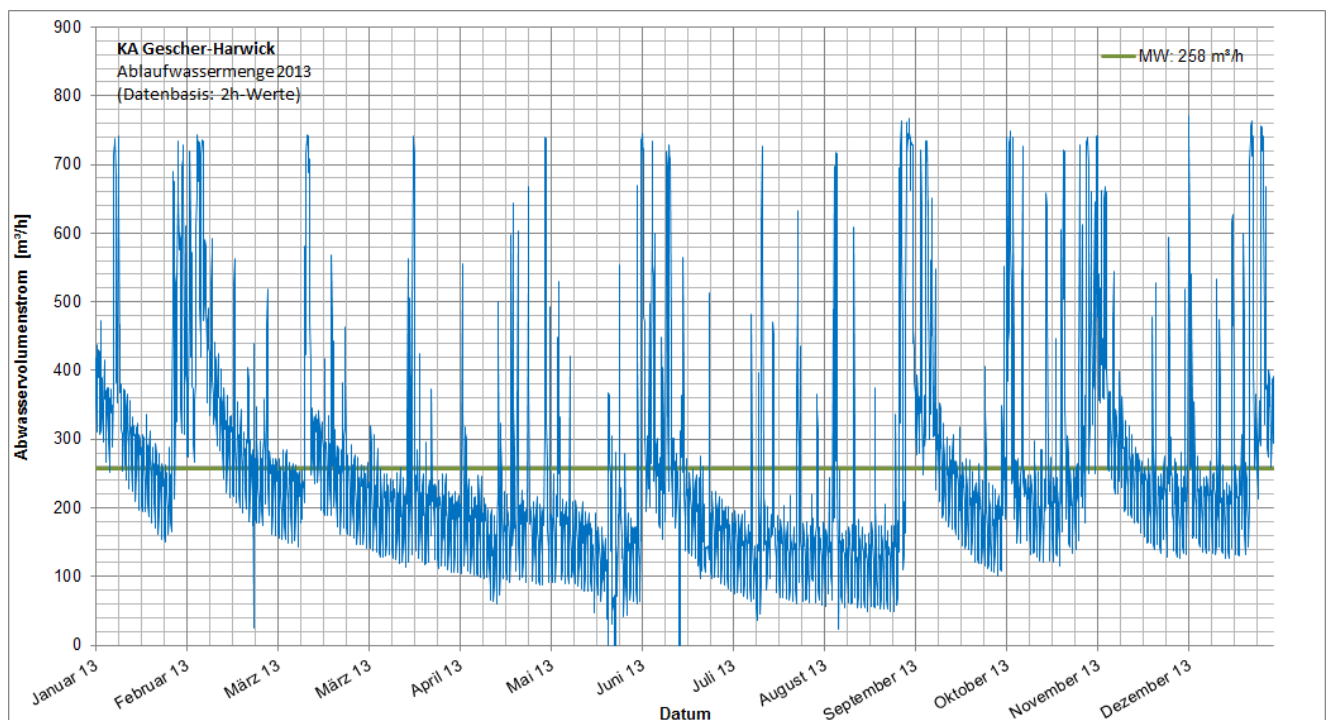
### 3 Belastungsdaten Hydraulik

Die Bemessungswerte der Kläranlage Gescher-Harwick sind im Folgenden aufgeführt:

Trockenwetterzufluss	$Q_{T,2h,max}$	=	378 m <sup>3</sup> /h	≈	105 l/s
Mischwasserabfluss	$Q_M$	=	756 m <sup>3</sup> /h	≈	210 l/s

Die hydraulische Auslegung der 4. Reinigungsstufe, die nach der Nachklärung in den Reinigungsprozess eingebunden wird, basiert auf den Ablaufmengen der Kläranlage.

**Bild 1** stellt die Ganglinie der Abwassermengen im Ablauf der Anlage für den Zeitraum Januar bis Dezember 2013 dar. Die mittlere Ablaufmenge beträgt 258 m<sup>3</sup>/h. Maximal wurden 771 m<sup>3</sup>/h im Betrachtungszeitraum abgeleitet. An 164 h im Betrachtungszeitraum lag die Abflussmenge oberhalb von 700 m<sup>3</sup>/h.



**Bild 1: Volumenstrom Ablauf KA Gescher-Harwick**

## 4 Reinigungsanforderungen

Die Überwachungswerte für die Kläranlage Gescher-Harwick sind für die Parameter CSB, Ammoniumstickstoff, Gesamt-Stickstoff, anorganisch und Gesamt-Phosphor festgelegt.

Folgende Überwachungswerte sind einzuhalten:

Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB):	56	mg/l
Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB <sub>5</sub> ):	12	mg/l
Stickstoff, anorganisch (N <sub>anorg</sub> ):	15	mg/l (≥ 12 °C)
Ammonium-Stickstoff (NH <sub>4</sub> -N):	4	mg/l (≥ 12 °C)
Phosphor, gesamt (P <sub>ges</sub> ):	1	mg/l

## **5 Anlagenbestand**

### **5.1 Kurzbeschreibung**

Die Kläranlage Gescher-Harwick wurde im Jahr 1965 gebaut und im Frühjahr 1994 zum zweiten Mal erweitert. Sie ist auf eine Anschlussgröße von 29.000 EW ausgelegt. Der Vorfluter der Anlage ist die Berkel. Die Anlage gliedert sich in eine mechanische und eine biologische Reinigungsstufe.

Das Abwasser wird zunächst von zwei Pumpwerken jeweils zu einem Regenüberlauf- sowie einem Regenfangbecken geführt. Der Ablauf dieser Becken fließt der Rechenanlage zu. Bei starken Regenwetterzuflüssen fließt der Überlauf des RÜB in die Retentionsbodenfilter und anschließend mit einer gedrosselten Abflussmenge (565 m<sup>3</sup>/h) in die Berkel.

Die mechanische Stufe umfasst eine Rechenanlage (Feinrechen) und einen belüfteten Sand- und Fettfang. Der Ablauf aus dem Sandfang wird in das Bio-P-Becken geleitet, dem ebenfalls der Rücklaufschlamm aus der Nachklärung zufließt. Nach der biologischen P-Elimination wird das Abwasser-Schlamm-Gemisch über das Zwischenpumpwerk auf das Niveau der Belebung gehoben. Diese besteht aus zwei gleichgroßen Rundbecken, die nach dem Belebungsverfahren mit intermittierender Nitrifikation/Denitrifikation zur Stickstoffeliminierung arbeiten. Zur chemischen Phosphateliminierung kommt Eisen-III-Chlorid als Fällmittel zum Einsatz.

Der Ablauf der Belebung gelangt über ein Verteilerbauwerk in die als Rundbecken ausgeführten Nachklärbecken. Der Ablauf der Nachklärung wird in einem offenen Gerinne gesammelt und in einen Schacht zur Ablaufmessung geführt. Im freien Gefälle wird der gesamte Ablauf der Kläranlage in die Berkel geleitet.

## **6 Spurenstoffe im Wasserkreislauf**

### **6.1 Einleitung**

Mit Spurenstoffe werden Substanzen bezeichnet, die im Konzentrationsbereich von  $10^{-9}$  (ng/l) bis  $10^{-6}$  g/l ( $\mu\text{g/l}$ ) in der aquatischen Umwelt zu finden sind.

Nach der Definition der DWA sind anthropogene Spurenstoffe organische Schadstoffe, wie Humanpharmaka, Industriechemikalien, Körperpflegemittel, Waschmittelinhaltsstoffe, Nahrungsmittelzusatzstoffe, Additive in der Abwasser- und Klärschlammbehandlung, Veterinärpharmaka, Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel sowie Futterzusatzstoffe (DWA 2008). Andere Bezeichnungen für die genannten Substanzen sind z. B. Mikroverunreinigungen und Mikroschadstoffe.

Die human- und ökotoxikologische Wirkung eines Teils dieser Stoffe ist abschließend geklärt. Hierzu werden gegenwärtig Untersuchungen durchgeführt. Eine direkte Gefährdung für den Menschen besteht in der Regel nicht, jedoch wurden schon Wirkungen von einzelnen Spurenstoffen auf aquatische Lebewesen festgestellt. Im Sinne des Vorsorge- und Minimierungsprinzips sollte daher der Eintrag dieser Stoffe in den Wasserkreislauf minimiert werden.

Eine Hauptemissionsquelle für den Eintrag von Humanpharmaka als eine Teilgruppe stellen kommunale Kläranlagen dar. Kommunale Kläranlagen sind derzeit ausgelegt für die Kohlenstoff- und, in Abhängigkeit von der Größe, auch für die Nährstoffelimination. Auf gut ausgebauten Anlagen werden organische Spurenstoffe teilweise erheblich eliminiert, wenn auch zumeist nicht vollständig, wie umfangreiche Studien belegen (MUNLV 2004; Joss 2005). Die unterschiedlichen Reinigungsleistungen lassen sich aus der chemischen Struktur der einzelnen Stoffe begründen.

Zur Verbesserung der Reinigungsleistung von Kläranlagen stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung, die momentan auch noch Gegenstand der Forschung sind. Erste Anlagen wurden großtechnisch umgesetzt. Im weiteren Verlauf der Studie werden insgesamt vier Verfahren vorgestellt. Zu allen Verfahren liegen Ergebnisse von großtechnischen Anlagen oder zumindest Versuchen im großtechnischen Maßstab vor.

### **6.2 Charakterisierung des Verhaltens von anthropogenen Spurenstoffen**

Die anthropogenen Spurenstoffe lassen sich, bedingt durch ihre physiko-chemischen Eigenschaften, keiner Stoffgruppe zuordnen. Daraus folgt auch, dass sich – wie schon gesagt – Unterschiede hinsichtlich der Elimination bei verschiedenen Stoffen ergeben. Folgende Eigenschaften der Stoffe sind zur Beurteilung ihres Eliminationsverhaltens von besonderer Wichtigkeit:

- Molekülaufbau und –struktur,
- Polarität/Hydrophobie,
- Sorptionsverhalten,
- Abbaubarkeit/Persistenz.

Der Molekülaufbau kennzeichnet entscheidend das Verhalten des Stoffes. Die Bindungsformen der Atome bzw. Molekülgruppen zueinander beispielsweise beeinflussen die Abbaubarkeit und die Reaktionseigenschaften des Stoffes. Polarität bezeichnet in der Chemie unterschiedliche Ladungsschwerpunkte innerhalb eines Moleküls. Dieses ist somit gegenüber seiner Umgebung nicht mehr elektrisch

neutral. Polare Stoffe weisen eine bessere Wasserlöslichkeit auf. Unpolare Stoffe sind schlechter wasserlöslich; sie werden auch als hydrophob bezeichnet. In wässrigen Lösungen liegen die Spurenstoffe mitunter in dissoziierter Form vor. Dies bedeutet, dass das Molekül eine Ladung angenommen hat. Zu beachten ist, dass diese Ladung pH-Wert-abhängig sein kann.

Als Modellmaß für die Polarität kann der n-Octanol-Wasserverteilungskoeffizient  $K_{OW}$  herangezogen werden. Dieser beschreibt die Verteilung einer Chemikalie zwischen organischer und wässriger Phase (Worch 1997). Unter Sorption werden als Sammelbegriff Wechselwirkungen an Grenzflächen zwischen festen, flüssigen und gasförmigen Phasen verstanden, die zu einer Anreicherung eines Stoffes führen. Bei der Absorption erfolgt die Anreicherung des Stoffes innerhalb der Phase, wie z. B. bei der Lösung von Gasen in Flüssigkeiten.

Persistenz bezeichnet die Beständigkeit von Stoffen gegenüber biologischen und chemischen Abbau- und Transformationsprozessen. Als persistent werden Substanzen eingestuft, die nicht oder nur sehr langsam abgebaut werden (Worch 1997). Aufgrund ihres ursprünglichen Einsatzes sind Spurenstoffe relativ persistent in der aquatischen Umwelt. So soll z. B. Röntgenkontrastmittel im menschlichen Körper keine Reaktion eingehen. Diese Persistenz beeinflusst jedoch auch die Elimination der Stoffe in der Umwelt bzw. in technischen Reinigungsprozessen.

### 6.3 Screening im Ablauf der Kläranlage Gescher-Harwick

Die Untersuchung von Wasserproben auf ausgewählte Spurenstoffe wurde von der OWL Umweltanalytik GmbH durchgeführt. Es wurde an drei unterschiedlichen Wochentagen eine zeitproportionale 24-Stunden-Mischprobe analysiert. Die Ergebnisse des Screenings sind in **Tabelle 1** aufgeführt.

**Tabelle 1: Untersuchungsbefund Ablauf Kläranlage Gescher-Harwick**

Bezeichnung	Parameter	Einheit	24h-Mischprobe vom 20.07.2014	24h-Mischprobe vom 21.08.2014	24h-Mischprobe vom 05.09.2014	Orientierungswert AUS: Anlage D4: Umweltqualitätsnormen und Orientierungswerte	Anmerkung
a	Bezafibrat	µg/l	0,130	0,200	0,170	0,100	
b	Diclofenac	µg/l	1,400	0,900	1,800	0,100	
c	Naproxen	µg/l	0,084	0,070	0,089	0,100	
d	Phenazon	µg/l	0,064	0,027	0,047	0,110	
e	Carbamazepin	µg/l	0,500	0,400	0,480	0,500	
f	Atenolol	µg/l	0,110	0,085	0,057	0,100	
g	Bisoprolol	µg/l	0,320	0,300	0,360	0,100	
h	Metoprolol	µg/l	1,100	0,940	1,400	7,300	
i	Sotalol	µg/l	0,280	0,220	0,280	0,100	
j	Clarithromycin	µg/l	0,130	0,170	0,210	0,020	
k	Sulfamethoxazol	µg/l	0,490	0,370	0,190	0,150	
l	Oxazepam	µg/l	0,040	0,040	0,020	0,100	
m	Amidotrizoesäure	µg/l	0,110	0,053	0,410	0,100	
n	lomeprol	µg/l	0,520	< 0,01	0,140	0,100	
o	Iopamidol	µg/l	8,200	8,300	8,800	0,100	
p	Iopromid	µg/l	0,059	0,570	0,036	0,100	
r	Diuron	µg/l	0,080	< 0,05	0,120	0,200	UQN (J-MW)
s	Isoproturon	µg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,300	UQN (J-MW)
t	Terbutryn	µg/l	<0,05	<0,05	<0,05	0,065	
u	Benzotriazol	µg/l	3,800	3,100	3,700	10,000	
v	17-alpha-Ethinylestradiol	ng/l	< 10	< 10	< 10	0,040	als Ethinylestradiol gefunden
w	17-beta-Estradiol	ng/l	< 10	< 10	< 10	0,400	als Estradiol gefunden
x	Estron	ng/l	< 10	< 10	< 10		OW nicht gefunden
y	Bromid (Br)	mg/l	< 1	< 1	< 1		OW nicht gefunden

Quelle Tabelle Orientierungswerte: Leitfaden Monitoring Oberflächengewässer Teil D des MKULNV NW  
 Link: [http://www.flussgebiete.nrw.de/index.php/Leitfaden\\_Monitoring\\_Oberfl%C3%A4chengew%C3%A4sser\\_Teil\\_D\\_L\\_Anlage\\_4](http://www.flussgebiete.nrw.de/index.php/Leitfaden_Monitoring_Oberfl%C3%A4chengew%C3%A4sser_Teil_D_L_Anlage_4)

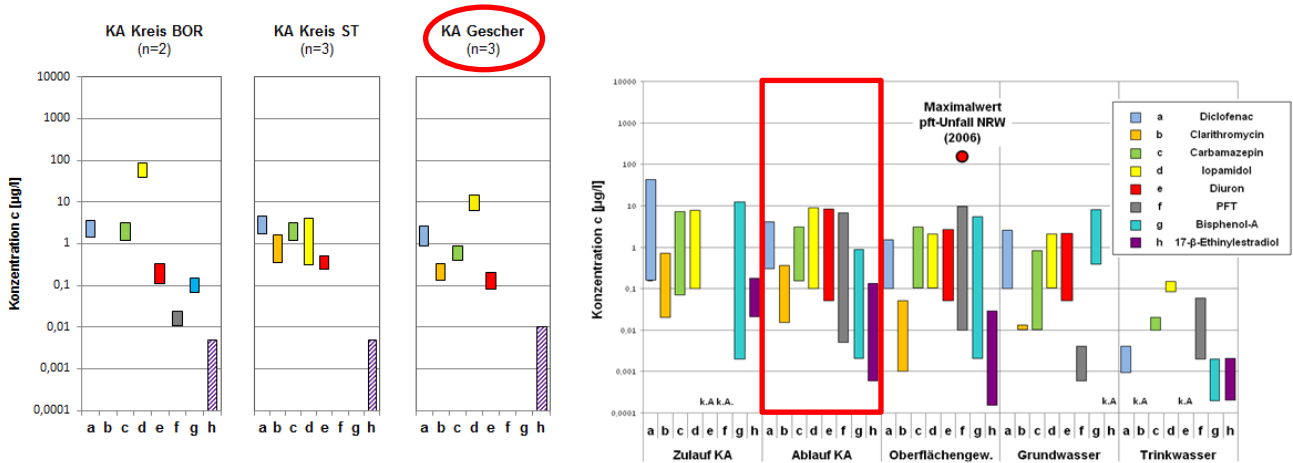
Farbe	Beurteilung	Kriterium
sehr gut	sehr gut	MW<=0,1*OW
gut	gut	0,1*W<MW<=OW
mäßig	mäßig	OW<MW<=2*OW
unbefriedigend	unbefriedigend	2*OW<MW<=10*OW
schlecht	schlecht	MW>10*OW
keine Aussage	keine Aussage	unter BG

- BG Bestimmungsgrenze
- OW Orientierungswert
- MW Messwert
- UQN Umweltqualitätsnorm



Die Orientierungswerte wurden der sogenannten D4-Liste (www.flussgebiete.nrw.de, Stand: April 2014) entnommen.

**Bild 2** zeigt ein Diagramm der gemessenen Spurenstoffkonzentrationen in anderen Kläranlagen sowie Literaturwerte. Ein Balken stellt den Bereich zwischen der niedrigsten und höchsten gemessenen Konzentration dar. Die Spurenstoffkonzentrationen im Ablauf der Kläranlage Gescher-Harwick entsprechen größtenteils den Literaturwerten. Bei den schraffierten Balken handelt es sich um Konzentrationen die bei der Laboruntersuchung unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen.



**Bild 2: Vergleich der Spurenstoffkonzentrationen in verschiedenen Kläranlagen**

Auffällig ist die vergleichsweise hohe Konzentration des Röntgenkontrastmittels Iopamidol von 8,8 µg/l (OW = 0,1 µg/l).

## 7 Verfahren zur Elimination von Spurenstoffen

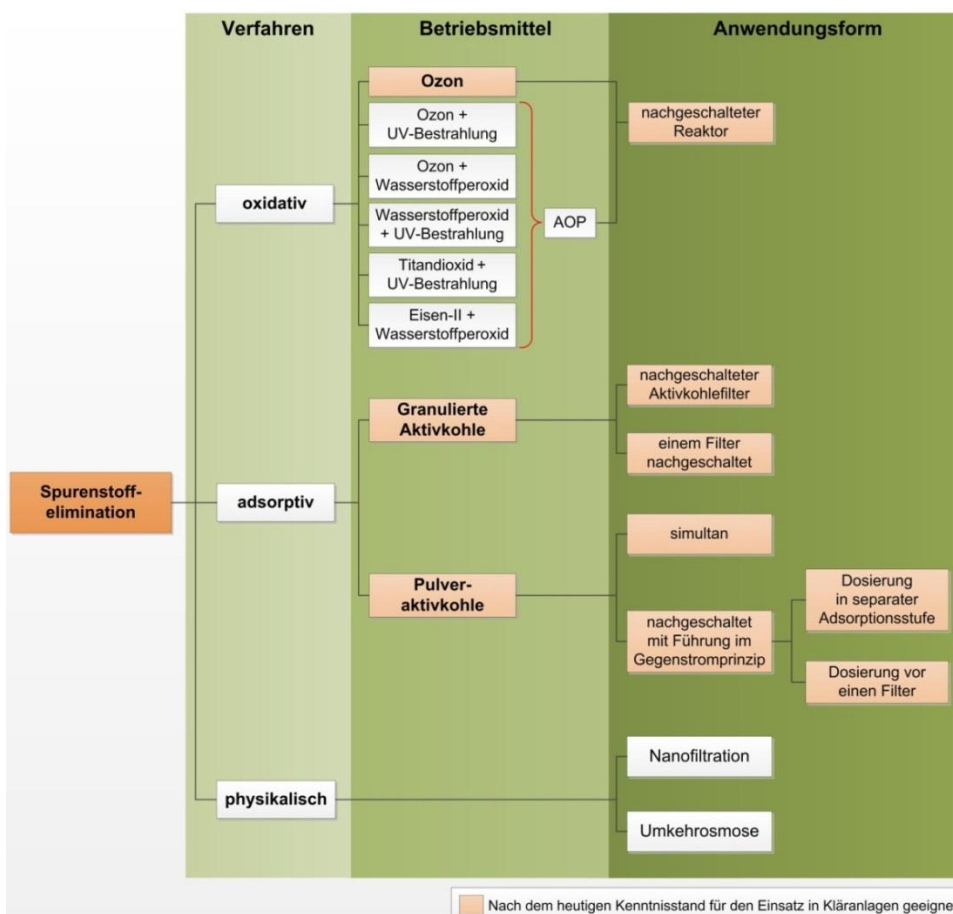
### 7.1 Überblick

Die nachfolgende Grafik gibt einen schematischen Überblick über die verschiedenen Verfahren zur Elimination von anthropogenen Spurenstoffen auf kommunalen Kläranlagen. Für die Kläranlage Gescher-Harwick werden die Anwendung von Ozon und Pulveraktivkohle untersucht (**Kapitel 8**). Die Grundlagen und Möglichkeiten der adsorptiven und oxidativen Verfahren werden im Folgenden kurz erläutert.

### 7.2 Adsorption

#### 7.2.1 Grundlagen

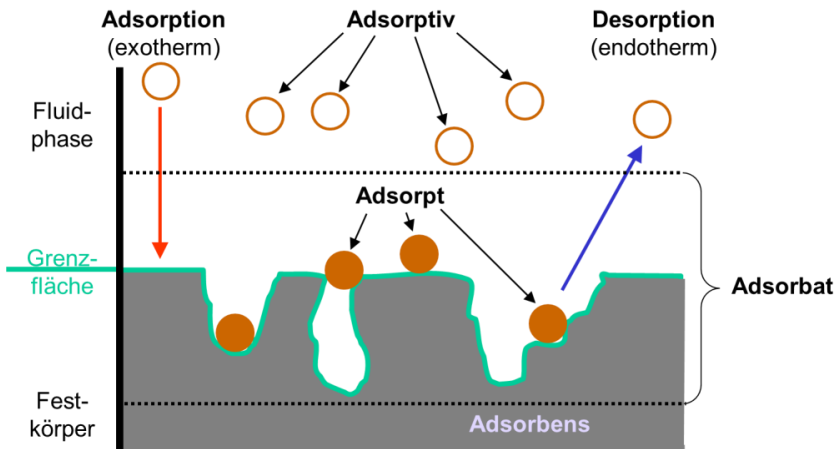
Unter Adsorption wird die Anreicherung von Stoffen an der Oberfläche von Flüssigkeiten und besonders Festkörpern verstanden. Sie erfolgt durch die Wechselwirkung der aktiven, energiereichen Zentren einer Grenzfläche mit den Atomen, Molekülen oder Ionen einer benachbarten Phase (Kümmel und Worch 1990).



**Bild 3: Verfahren zur Spurenstoffelimination (Kompetenzzentrum Spurenstoffe BW 2013)**

Die adsorptionsaktive Phase, an der die Anreicherung erfolgt, wird als Adsorbens bezeichnet. An diesem lagern sich das Adsorptiv, also die Teilchen des zu adsorbierenden Stoffes an. Desorption

bezeichnet die Remobilisierung bereits fixierter Teilchen. Im **Bild 4** sind schematisch die Zusammenhänge dargestellt.

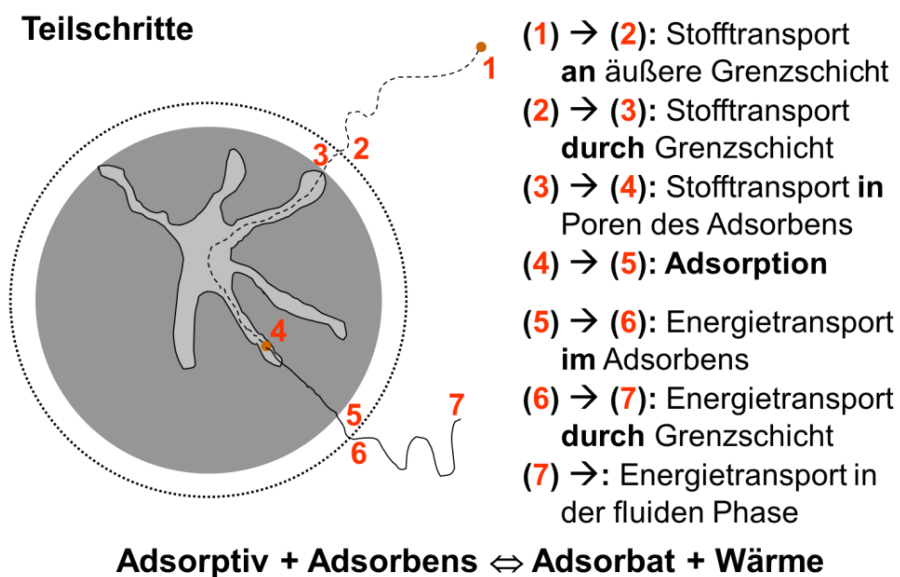


**Bild 4: Grundbegriffe der Adsorption**

Die Adsorption erfolgt in mehreren Teilschritten auch an der inneren Oberfläche des Adsorbens. Dies ist im **Bild 5** dargestellt.

In Abhängigkeit von der Stärke der Bindung des Adsorptivs an das Adsorbens wird zwischen Physisorption und Chemisorption unterschieden. Die physikalische Sorption ist vor allem auf Van-Deer-Waalsche-Wechselwirkungen zurückzuführen. Der chemischen Sorption liegen chemische Reaktionen zwischen dem Adsorbens und dem Adsorptiv zugrunde (Kümmel u. Worch 1990).

Bei der Adsorption aus Flüssigkeiten überwiegt die Physisorption mit den relativ kleinen Bindungskräften. Die Physisorption ist reversibel; damit ist eine Reaktivierung des Adsorbens (Aktivkohle) möglich und gegebenenfalls wirtschaftlich.



**Bild 5: Teilschritte der Adsorption (Breitbach und Bathen, 2001)**

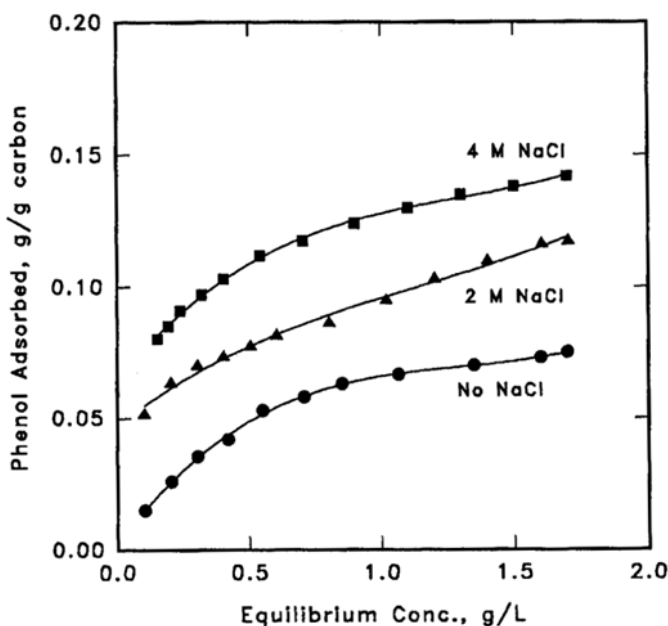
Folgende Eigenschaften des Adsorptivs können nach Cooney (1998) die Physisorption beeinflussen:

- Steigende Unpolarität/Hydrophilität erhöht die Adsorbierbarkeit
- Funktionelle Gruppen
  - Hydroxyl-Gruppe (R-OH) senken die Adsorbierbarkeit
  - Amino-Gruppe (R-NH<sub>2</sub>) senken die Adsorbierbarkeit sehr stark
  - Sulfonsäure-Gruppe (R-SO<sub>3</sub>H) senken meistens die Adsorbierbarkeit
  - Nitro-Gruppe (R-NO<sub>2</sub>) verbessern die Adsorbierbarkeit

Aus dem pH-Wert des Fluids können folgende Schlussfolgerungen abgeleitet werden:

- Kleiner pH-Wert führt zu einer höheren Adsorbierbarkeit acider Stoffe.
- Ein hoher pH-Wert in der Lösung führt zur besseren Adsorbierbarkeit von basischen Stoffen.

Die Anwesenheit von anorganischen Salzen im Fluid führt zur einer höheren Beladung des Adsorbens (Aktivkohle). In der nachfolgenden Grafik, **Bild 6**, ist die Adsorption von Phenol an Aktivkohle bei unterschiedlichen Konzentrationen von NaCl in der fluiden Phase dargestellt. Durch die Salzionen werden die gleichsinnig geladenen Gruppen des Adsorbens (Phenol) neutralisiert und eine höhere Packungsdichte auf dem Adsorbens erreicht (Cooney 1998).



**Bild 6: Isotherme Adsorption Phenol an Aktivkohle bei unterschiedlichen NaCl-Konzentrationen (Cooney 1998)**

Beim Abwasser handelt es sich um ein Mehrphasensystem. Dies bedeutet, dass die verschiedenen Adsorptive im Wasser um die Adsorptionsplätze auf dem Adsorbens konkurrieren. Dies beeinflusst die Adsorbierbarkeit der einzelnen Stoffe.

Zur Entfernung organischer Spurenstoffe wird in der Wassertechnik Aktivkohle eingesetzt, die aus Holz, Kohlen und ähnlichen Stoffen durch Aktivierung bei hohen Temperaturen und Luftabschluss, zum Teil unter Einsatz von Säuren (chemische Aktivierung), hergestellt werden. Durch die Aktivie-

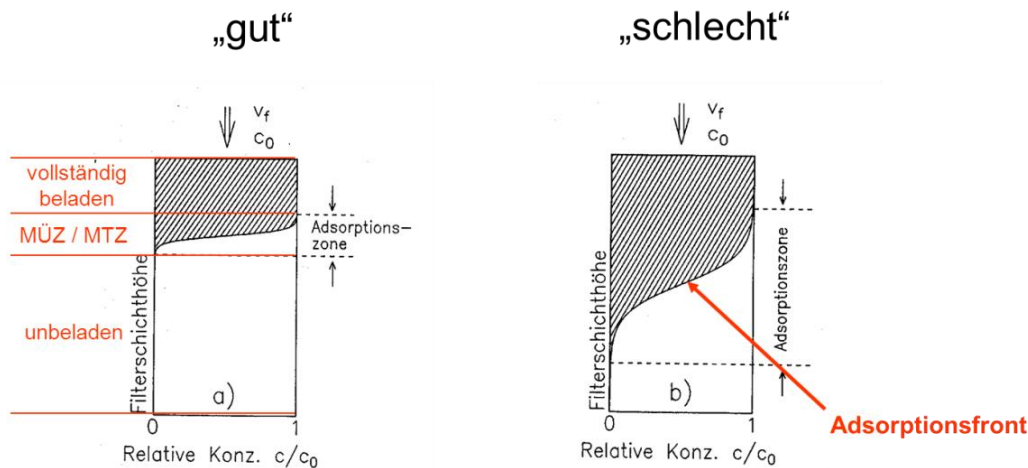
rung erhalten die Kohlen eine innere Oberfläche von  $800 \dots 1.200 \text{ m}^2/\text{g} \approx 1 \text{ km}^2/\text{kg}$ , an der die Adsorption erfolgt. Die äußere Oberfläche wird durch den Partikeldurchmesser bestimmt.

Hinsichtlich der Korngröße werden die Kohlen in zwei Gruppen eingeteilt:

- Pulverkohlen (PAC = powdered activated carbon) weisen einen Durchmesser von weniger als 0,05 mm auf;
- Kornkohlen (GAC = granulated activated carbon) liegen im Durchmesser zwischen 0,5 und 4 mm.

Des Weiteren wird noch Formkohle angeboten. Diese weist eine zylindrische Form auf und liegt im gleichen Größenbereich wie die Kornkohlen. Die beiden beschriebenen Kohlenarten werden in verschiedenen Reaktortypen eingesetzt – die Pulverkohle in einem Rührreaktor und die Kornkohle in einem Festbettreaktor (Filter). Dadurch ergibt sich eine andere Kinetik. Beim Rührreaktor stellt sich eine Gleichgewichtsbeladung zwischen der Konzentration des Adsorptivs im Fluid und am Adsorbens ein. Über die Zeit nähert sich diese der maximalen Gleichgewichtsbeladung an.

Beim Einsatz der Kornkohle im Filter erfolgt die Adsorption über die Betttiefe in der sogenannten Adsorptionszone. Im **Bild 7** ist dies für zwei unterschiedlich adsorbierbare Stoffe dargestellt.



MÜZ = Massenübergangszone

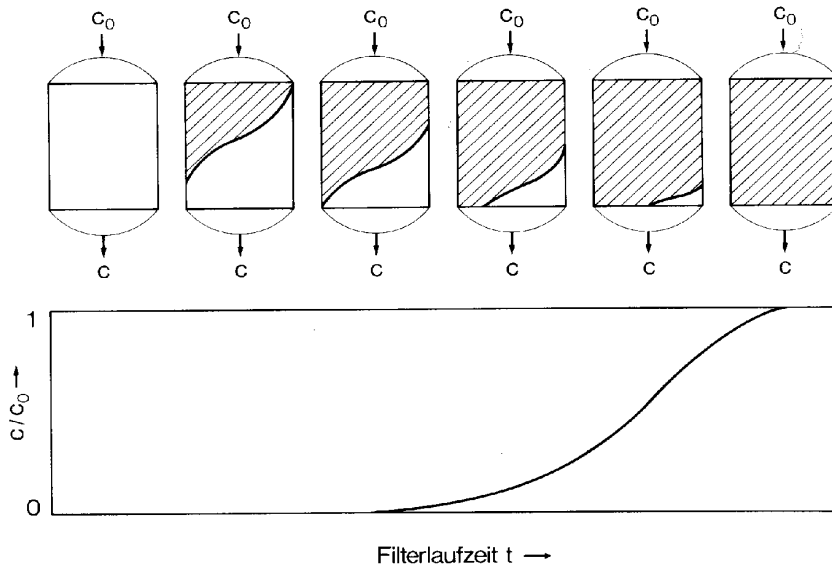
MTZ = Mass Transfer Zone

**Bild 7: Adsorptionsverhalten zweier unterschiedlicher Stoffe im Festbettadsorber (DVGW W 239)**

Zu erkennen ist, dass der gut adsorbierbare Stoff eine deutlich kürzere Übergangszone aufweist, in der das Adsorptiv bis auf die Konzentration von nahezu null zurückgehalten wird. Beim schlechter adsorbierbaren Stoff ist die Zone größer; der Stoff bricht also früher durch.

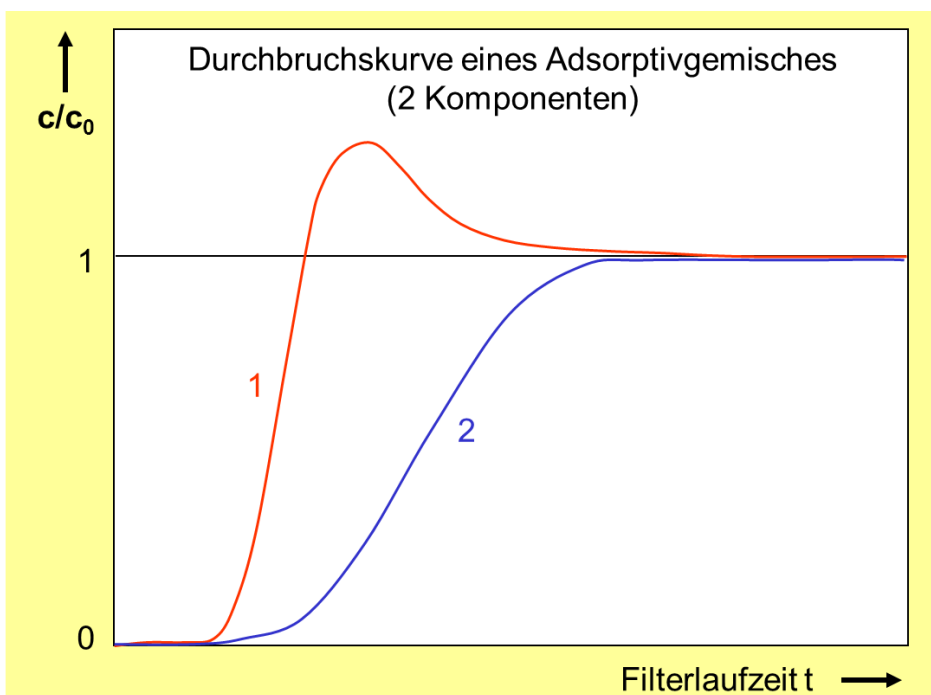
Über die Betriebszeit verlagert sich die aktive Zone tiefer in die Schüttung des Kornkohlefilters, wie **Bild 8** zeigt. In darunterliegenden Graphen ist die Ablaufkonzentration über der Filterlaufzeit aufgetragen. Der Durchbruch des Adsorptivs erfolgt zu dem Zeitpunkt, an dem die Übergangszone den unteren Rand der Schüttung erreicht hat. Im Filter wird zu diesem Zeitpunkt ein Teil des Adsorptivs noch zurückgehalten.

Bei der Adsorption von Mehrstoffgemischen konkurrieren, wie erwähnt, verschiedene Adsorptive um die Adsorptionsplätze auf dem Adsorbens. Dies kann dazu führen, dass ein schlecht adsorbierbarer Stoff, der rasch im Filterbett die Adsorptionsplätze belegt hat, von einem guten adsorbierbaren Stoff verdrängt wird. Infolgedessen kann die Konzentration des schlecht adsorbierbaren Stoffes im Ablauf des Filters größer sein als die Zulaufkonzentration. Im **Bild 9** ist der Zusammenhang dargestellt. Dieses Verhalten wird „Chromatografie-Effekt“ genannt.



**Bild 8:** Verlagerung der Adsorptionszone über die Filterlaufzeit (Sontheimer u. a., 1985)

Zu beachten ist, dass bei mehreren Kornkohlefiltern mit versetzten Laufzeiten (unterschiedlichen Beladungszuständen) der Verschnitt aller Abläufe eine bessere Qualität hat, als der Ablauf des schlechtesten (beladensten) Filters ist.



**Bild 9:** Durchbruchskurve eines Adsorptivgemisches (Worch 2004, modifiziert)

## 7.2.2 Einsatz von Aktivkohle in der Abwassertechnik zur Spurenstoffelimination

### 7.2.2.1 Pulveraktivkohle

Für die Spurenstoffelimination mittels Pulveraktivkohle als Stufe zwischen Nachklärung und Ablauf liegen derzeit großtechnische Erfahrungen zu zwei Verfahren vor.

#### 1. Pulveraktivkohle in den Filterüberstau

Bei dem ersten Verfahren wird die Pulverkohle direkt in den Ablauf der Nachklärung vor der Filtration dosiert. Als Kontaktraum zwischen Kohle und Abwasser dient der Filterüberstau. Über die Filterlaufzeit reichert sich die Kohle im Filter und in der Schüttung an. Hier kann weiterhin eine Adsorption erfolgen. Bei der Rückspülung der Filter wird die beladene Kohle aus dem Filterbett entfernt. Über das Schlammwasser wird diese in den Zulauf der Kläranlage geführt. Dort kann eine weitere Beladung auf einem höheren Konzentrationsniveau erfolgen. In der Vorklärung wird die Kohle abgetrennt und mit dem Primärschlamm der Schlammbehandlung zugeführt.

Dieses Verfahren wurde von Meyer (2008) vorgeschlagen. Auf dem Klärwerk Wuppertal-Buchenhofen wurde für einen großtechnischen Versuch eine Filterkammer ( $A = 60 \text{ m}^2$ ) umgerüstet. Innerhalb eines Forschungsprojektes wurde der Betrieb dieser Kammer mit Pulveraktivkohledosierung über 1,5 a begleitet. Die wesentlichen Ergebnisse sind im Folgenden zusammengefasst. Weitere Angaben sind dem Abschlussbericht (Bornemann u. a., 2012) zu entnehmen.

- Favorisierte Dosiermenge PAK: 20 mg/l.
- Fällmitteldosierung ist erforderlich, da sonst rascher Durchbruch der Kohle durch den Filter.
- Optimierte Fällmitteldosierung ( $\text{FeCl}_3$ ): 0,1...0,2 mg Fe/mg PAK.  
Bei 20 mg PAK/l sind dies 2...4 mg Fe/l.
- Rückhaltung der PAK im Filterbett zu 96 %.
- Über die Rückspülung wurde die gesamte Kohle wieder aus dem Filter entfernt.
- Das Rückspülintervall des Filters lag bei einer Rückspülung in 24 d. Dies entsprach dem regulären Betrieb des Filters.
- Bei den beschriebenen Dosierungen scheint für den Standort Buchenhofen eine dauerhafte Unterschreitung des Schwellenwertes der Abwasserabgabe von 20 mg/l erreichbar.
- Eliminationsleistung im PAK-Filter für Carbamazepin, Diclofenac und Metoprolol ca. 80 %, bezogen auf Filterzulauf.
- Gesamtelimination im Klärwerk mit PAK-Filter für die Stoffe Sulfamethoxazol, Diclofenac oder Metoprolol zwischen 80 und 90 %.

#### 2. Pulveraktivkohle mit Rückführung

Ein weiteres Verfahren stellt der Einsatz von Pulveraktivkohle in Verbindung mit einer Rückführung der Kohle dar.

Grundgedanke des Verfahrens ist die Zugabe von frischer Pulveraktivkohle (PAK) in biologisch gereinigtes Abwasser, wobei zur besseren Ausnutzung der Adsorptionskapazität der Kohle diese innerhalb der Stufe als Rücklauf im Kreislauf gefahren wird und so mehrmals mit frischem Ab-

wasser in Kontakt kommt. Ein Teil der beladenen Kohle wird als Überschussskohle aus dem System entfernt und durch Frischkohle ersetzt. Die aus der Adsorptionsstufe abgezogene beladene Kohle kann zur weiteren Ausnutzung der Restadsorptionskapazität in die biologische Stufe rückgeführt werden. Alternativ kann sie über die Schlammbehandlung aus dem System ausgeschleust werden.

Für die eigentliche Adsorption ist ein Kontaktbecken mit einer Aufenthaltszeit von insgesamt 30 min vorgesehen. Die Abtrennung der Pulverkohle aus dem Abwasser erfolgt unter Einsatz von Flockungs- und Flockungshilfsmittel in der nachgeschalteten Sedimentation.

Restsuspensa und Kohlepartikel, die nicht in der Sedimentation der Adsorptionsstufe aus dem Wasser entfernt wurden, werden in der nachfolgenden Filtration zurückgehalten.

Dieses Verfahren wurde in Baden-Württemberg schon mehrfach umgesetzt. Als Beispiel sind folgende Kläranlagen zu nennen: Mannheim, Kressbronn-Langenargen, Stockacher Aach sowie Böblingen-Sindelfingen. Weitere Anlagen, wie Ravensburg oder Karlsruhe und Stuttgart, befinden sich im Bau bzw. in der Planung.

Die Ergebnisse aus dem Betrieb der großtechnischen Anlagen in Mannheim und Sindelfingen wurden von Schwentner u. a. (2013) veröffentlicht. Die wichtigsten Punkte werden hier wiedergegeben:

- optimierte PAK-Dosierung: 10 mg/l.
- Feststoffgehalt im Kontaktbecken: ca. 4 g TS/l.
- Einsatz von Fällmittel (Me-Salzen) und Flockungshilfsmittel ( $0,3 \text{ g/m}^3$ ) hilfreich, um Filterdurchbruch zu verhindern.
- $P_{\text{ges}}$ -Gehalte im Ablauf Filtration von 0,1 mg/l erreichbar, wenn nicht fällbarer P-Anteil gering.
- kein Mehrverbrauch von Fällmittel → Simultanfällung wird reduziert, erhöhte Dosierung in Adsorptionsstufe.
- Reduktion CSB-Konzentration um ca. 30 % gegenüber Ablauf Nachklärung.
- Eliminationsleistung Mikroschadstoffe in Adsorptionstufe Kläranlage Sindelfingen größer 70 % bei 10 mg PAK/l für Bezafirbat, Diclofenac, Naproxen, Fenibrinsäure, Carbamazepin, Metoprolol, Iohexol, Iomeprol, Iopromid. Die Entnahme liegt bei ca. 10 % für das Antibiotikum Sulfamethoxazol.
- Stellenanteil Adsorptionsstufe ca. 0,65 MA/Monat.

### 7.2.2.2 Granulierte Aktivkohle

Der Einsatz von granulierter Aktivkohle in Festbettfiltern wurde in großtechnischen Versuchen in Nordrhein-Westfalen auf der Kläranlage Düren und der Kläranlage Obere Lutter untersucht.

In Düren wurde in einer vorhandenen Filterkammer die bestehende Schüttung (Zweischichtfilter) gegen granulierte Aktivkohle (GAK) ausgetauscht. Innerhalb eines Forschungsprojektes wurden zwei GAK-Füllungen untersucht (Bornemann u. a., 2012).



Die erste Kohle wies mit 1,4 bis 2,5 mm eine Körnung auf, die der oberen Schicht des ursprünglichen Zweischichtfilters entsprach. Die Füllhöhe betrug 1,2 m. Zusätzlich verblieben 0,4 m des alten Filtermaterials als untere Schicht im Filter. Die zweite GAK hatte mit 0,5 bis 2,5 mm eine feinere Körnung. Die Füllhöhe betrug 1,5 m. Das alte Filtermaterial wurde bis auf die Stützsicht beräumt.

Die Filterkammer wurde analog zu den restlichen Filtern mit der regulären Filtergeschwindigkeit betrieben. Diese unterliegt der normalen Dynamik des Filterzulaufs. Bei einer Elimination von rund 78 % können für die **erste GAK** folgende ausgetauschte Bettvolumina (BV) angesetzt werden:

Carbamazepin:	500 BV
Diclofenac:	900 BV
Metoprolol:	5.700 BV

Bei der **zweiten Aktivkohle** mit der feineren Körnung wurden folgende Ergebnisse erzielt:

Carbamazepin:	2.500 BV
Diclofenac:	4.000 BV
Metoprolol:	4.600 BV

Zu berücksichtigen ist weiterhin, dass sich die Rückspülintervalle bei der zweiten Aktivkohle auf 6 h reduzierten. Bei der ersten Kohle unterschied sich die Rückspülhäufigkeit nicht von den restlichen Filtern.

Auf der Kläranlage „Obere Lutter“ wurde eine Filterkammer der bestehenden Filtration mit GAK ausgerüstet (Nahrstedt u. a. 2011). Der Filtration vorgeschaltet ist eine Festbettdenitrifikation. Die Schütthöhe betrug 2,5 m bei einer Filtergeschwindigkeit von 2 m/h. Dies entspricht einer Leerbettkontaktzeit (EBCT) von 75 min. Über eine Laufzeit von ca. 9.000 BV konnten sehr gute Eliminationsgrade für viele Spurenstoffe erzielt werden. Parallel dazu wurden Untersuchungen mit Versuchssäulen durchgeführt, die mit einer Filtergeschwindigkeit von 10 m/h durchflossen wurden. Die EBCT lag damit bei 15 min. Über eine Betriebszeit von etwa 9.000 Bettvolumina konnten für eine Auswahl von Spurenstoffen folgende mittlere Eliminationsgrade erreicht werden:

Ibuprofen:	59 %
Bezafibrat:	77 %
Diclofenac:	79 %
Carbamazepin:	90 %
Metoprolol:	91 %

Für CSB wurde eine mittlere Elimination von 45 % erzielt. Hinsichtlich der erzielbaren Eliminationsgrade und Standzeiten der Filter wurden mit den nachgeschalteten GAK-Filtern (nach Festbettdenitrifikation) in der Kläranlage „Obere Lutter“ bessere Ergebnisse als mit dem Austausch des Filtermaterials in der bestehenden Filtration, wie in Düren, erzielt.

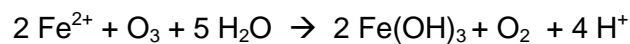
## 7.3 Ozonung

### 7.3.1 Grundlagen

#### 7.3.1.1 Einsatz und Wirkung von Ozon

Ozon wird als starkes Oxidationsmittel in der Wassertechnik schon lange genutzt. Hier ist z. B. die Trink- und Schwimmbadwasseraufbereitung zu nennen. Ozon wurde auch in der Abwasserreinigung eingesetzt, um Abwässer mit einem hohen Anteil schwer abbaubarer CSB-Verbindungen zu behandeln. Als Beispiel kann hier die Kläranlage Ochtrup genannt werden.

Ozon wirkt als Oxidationsmittel entweder durch Transfer eines Sauerstoffatoms oder rein durch Aufnahme von Elektronen des Oxidationspartners. Bei der Oxidation wird es selbst reduziert. Im folgenden Beispiel ist dies an der Oxidation von zweiwertigem zu dreiwertigem Eisen durch Ozon dargestellt:



Das  $\text{Fe}^{2+}$ -Ion gibt ein weiteres Elektron ab und ist dann dreifach positiv geladen. Das Ozon transferiert ein Sauerstoffatom zum sich bildenden dreiwertigen Eisenhydroxid. Im Vergleich zu molekularem Sauerstoff ist Ozon als Oxidationsmittel mit einem Redoxpotenzial von 1,24 Volt gegenüber 0,401 Volt (bezogen auf pH 14) deutlich stärker. Ozon oxidiert Nitrit sehr rasch bis zum Nitrat. Dabei werden je g Nitritstickstoff stöchiometrisch 3,43 g Ozon benötigt. Es geht keine Reaktion mit Ammonium ein.

Die Reaktionswege des Ozons sind sehr unterschiedlich. Damit ist die Wirkung des Ozons komplex. Zum einen kann Ozon direkt mit den anorganischen und organischen Wasserinhaltsstoffen reagieren; indirekt erfolgt die Reaktion über Hydroxid-Radikale ( $\text{OH}\cdot$ ). Je nach Milieubedingung überwiegt eine der beiden Reaktionsweisen. Im Wasser mit neutralem pH-Wert, geringer DOC-Hintergrundbelastung und niedrigen Temperaturen dominiert die direkte Reaktion. Bei höheren pH-Werten und DOC-Konzentrationen erfolgt die Reaktion zumeist über den indirekten Weg.

Die Bildung der genannten Radikale erfolgt beispielsweise über die Anwesenheit bestimmter Wasserinhaltsstoffe, wie Huminstoffe. Die  $\text{OH}\cdot$ -Radikale reagieren sehr schnell, jedoch auch sehr unspezifisch. Zudem können sie durch sogenannte Radikalfänger (Scavenger) reduziert werden. Als Fänger können Karbonationen (Härtebildner), Huminstoffe aber auch Ortho-Phosphat wirken. Die Radikale reagieren jedoch auch mit Wasserinhaltsstoffen, die allein mit dem Ozon nicht reagiert hätten.

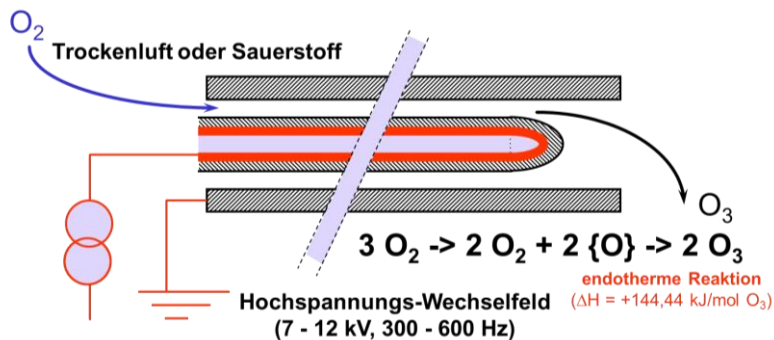
Bei dem sogenannten AOP (Advanced Oxidation Process) wird die Bildung von Radikalen künstlich unterstützt. Beim Peroxon-Verfahren durch die Dosierung von Wasserstoffperoxid als zweites Oxidationsmittel oder durch eine UV-Bestrahlung parallel zur Ozondosierung.

Insgesamt oxidiert Ozon die meisten organischen Wasserinhaltsstoffe nicht bis zum  $\text{CO}_2$ , sondern bewirkt eine Teiloxidation. Die Molekülgröße der Stoffe wird verringert. Ozon wirkt weiterhin bevorzugt auf Doppelbindungen in den Molekülen. Dies bedeutet, dass durch die Ozonbehandlung Zwischenprodukte gebildet werden, die beispielsweise wieder biologisch verfügbar sind. Der Ozonbehandlung in der Trinkwasseraufbereitung wird zumeist standardmäßig eine biologisch arbeitende Stufe nachgeschaltet (z. B. biologisch aktivierter Aktivkohlefilter), um die neu gebildeten Stoffe ab-

bauen zu können. Weiterhin ist die toxikologische Wirkung der gebildeten Transferprodukte zu beachten.

### 7.3.1.2 Ozonanwendung

Ozon ist aufgrund seiner hohen Reaktivität selbst sehr instabil. Es wird daher in der Regel am Ort der Anwendung hergestellt. Dies erfolgt über die stille elektrische Entladung aus Sauerstoff bzw. sauerstoffhaltigem Gas (Luft) in einem Hochspannungs-Wechselfeld. In nachstehender Grafik ist dies schematisch dargestellt.



**Bild 10: Schema Ozonerzeugung (Gujer 1999, modifiziert)**

Die Reaktion selbst ist endotherm; es muss also Energie in Form von elektrischer Energie zum Ablauf der Reaktion von außen zugeführt werden. Theoretisch werden pro kg Ozon 0,836 kWh benötigt. In der Praxis kann dieser Wert aufgrund von Verlusten (rascher Zerfall) nicht erreicht werden. Moderne Ozonerzeuger benötigen ca. 8...10 kWh/kg  $\text{O}_3$ , wenn technischer Sauerstoff als Prozessgas eingesetzt wird.

Die Verluste treten in Form von Wärme auf, die abgeführt werden muss. Dies bedeutet, dass der Ozonerzeuger gekühlt werden muss. Dazu sind wiederum Energieaufwendungen notwendig.

Aufgrund der gesundheitsschädlichen Wirkung des Ozons muss die Abluft aus den Reaktionsbecken vor Abgabe in die Umgebung behandelt werden. Zur sogenannten Restozonvernichtung stehen thermisch/katalytische oder thermische Verfahren zur Verfügung.

Insgesamt addiert man den Energiebedarf von  $\text{O}_3$ -Erzeugung, Kühlung und Restozonvernichtung, so ergibt sich ein Bedarf an elektrischer Energie von 10...11 kWh/kg  $\text{O}_3$ .

Für den Eintrag des Ozons werden im Abwasserbereich heute zwei Verfahren vorwiegend genutzt.

1. **Eintrag über Diffusoren.** Das ozonhaltige Gas wird über Domdiffusoren aus Keramik in das Abwasser eingetragen.
2. **Eintrag über Injektoren.** Ein Teilstrom des zu behandelnden Abwassers wird über Injektoren mit dem ozonhaltigen Gas versetzt. Dieser ozonhaltige Teilstrom wird nachfolgend mit dem Hauptstrom vermischt.

Für den Eintrag über Injektoren ist ein weiterer Pumpenkreislauf notwendig. Aufgrund der nur geringen Ozoneinträge für die Spurenstoffelimination stellt für diesen Anwendungsfall der Eintrag über Diffusoren das bevorzugte Eintragungssystem dar.

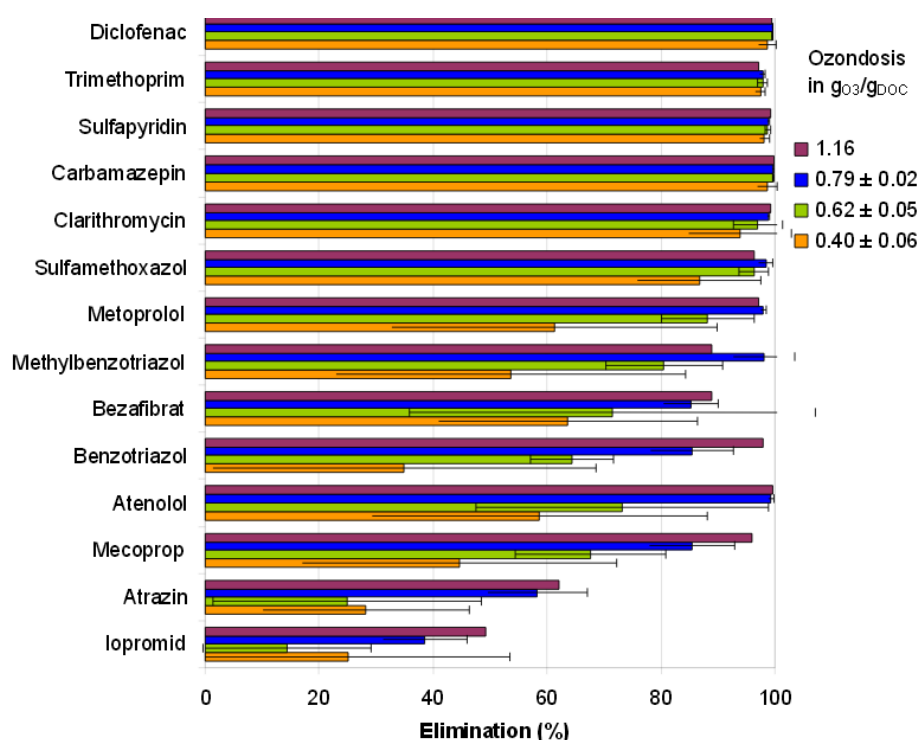
Der Eintrag erfolgt in beiden Systemen in Behältern mit einem Wasserspiegel zwischen 5 und 6 m. Neben dem Eintrag erfolgt in diesen Kammern auch die Reaktion des Ozons mit den Wasserinhaltsstoffen. Die Aufenthaltszeit in den Kontakt-/Traktionsbehältern liegt zwischen 15 und 30 min. Einbauten in den Behältern, mit Ausnahme einer Tauchwand im Abflussbereich, ergeben keine Verbesserungen (Herbst u. a., 2011). Der Ablauf aus dem Behälter wird, wie schon erwähnt, der Restozonbehandlung zugeführt.

### 7.3.2 Einsatz von Ozon in der Abwassertechnik zur Spurenstoffelimination

Zum Einsatz von Ozon in der 4. Reinigungsstufe gibt es verschiedene Untersuchungen auch im großtechnischen Maßstab. Ternes u. a. (2003) führten Untersuchungen im halbtechnischen Maßstab mit dem Ablauf der Kläranlage Braunschweig durch. Bei einer Ozondosis von 10 mg/l wurden von den 23 untersuchten Arzneimittelwirkstoffen alle bis unter die Nachweisgrenze eliminiert. Eine weitgehende Wirkung war jedoch auch schon bei einer Dosierung von 5 mg/l zu beobachten. Eliminationsgrade von über 80 % konnten bei den drei Röntgenkontrastmitteln Iopamidol, Iomeprol und Iopromid erst bei Dosierung von 15 mg/l erreicht werden. Der DOC des Kläranlagenablaufs betrug 23 mg/l; der pH-Wert lag bei 7,2. Die Kontaktzeit des Ozons lag bei 9 min.

Auf der Kläranlage Regensdorf (30.000 EW) in der Schweiz wurden im technischen Maßstab Untersuchungen durchgeführt (Abegglen u. a. 2009). Der Ablauf aus der Nachklärung der Anlage wurde mit Ozon behandelt. Dem Ozon nachgeschaltet war die (bestehende) Filtrationsanlage. Der DOC im Ablauf der Nachklärung lag mit ca. 5 mg/l auf einem niedrigen Niveau. In der Grafik, **Bild 11**, sind die erzielten Eliminationsgrade dargestellt.

In wirtschaftlicher und betrieblicher Hinsicht erwies sich in Regensdorf eine Ozondosis von 0,62 mg O<sub>3</sub>/mg DOC als optimal. Aufgrund des geringen DOC im Ablauf der Nachklärung ergab sich daraus eine Ozondosis von 3,1 mg/l. Bei einer Übertragung auf andere Standorte mit einem gegebenenfalls höheren DOC-Gehalt im Zulauf der Ozonstufe ist dies zu berücksichtigen.



**Bild 11:** Ergebnisse Elimination Spurenstoffe ARA Regensdorf (Abegglen u. a. 2009)

Innerhalb des Projektes wurden auch die Bildung von Transferprodukten und ihre Umweltrelevanz untersucht. Es zeigte sich, dass der Ablauf der Ozonung ein erhöhtes ökotoxikologisches Potenzial aufwies. Durch den nachgeschalteten Sandfilter wurde dieses wieder reduziert. Die Bildung von stabilen und toxikologisch relevanten Reaktionsprodukten konnte nicht festgestellt werden. In Regensdorf handelte es sich um einen Dynasandfilter, der mit einer Filtergeschwindigkeit von 14,4 m/h im Trockenwetterfall betrieben wurde. Bei einer Filterbetttiefe von 1 m ergibt dies eine Aufenthaltszeit von ca. 4 min.

In Nordrhein-Westfalen wurden die kommunalen Kläranlagen Bad Sassendorf, Schwerte und Duisburg-Vierlinden mit einer Ozonstufe ausgerüstet. Bei den Kläranlagen Bad Sassendorf und Vierlinden wird der Ablauf ozoniert. Die Ergebnisse beider Anlagen entsprechen sich (Grünebaum u. a., 2012).

Die notwendigen Ozondosen, die in Duisburg-Vierlinden und Bad Sassendorf zur Eliminierung notwendig waren, bewegen sich auf dem Niveau der Werte von Regensdorf. Zu berücksichtigen ist, dass der DOC im Ablauf der Nachklärung in Bad Sassendorf ebenfalls auf einem niedrigen Niveau liegt.

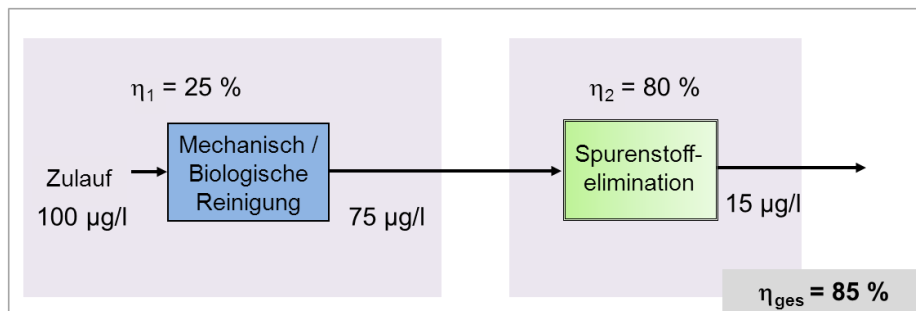
## 8 Darstellung der untersuchten Verfahrenskombinationen

### 8.1 Beschickungsmenge

Im Hinblick auf eine wirtschaftliche Auslegung der Verfahrensstufe zur Spurenstoffelimination ist eine Betrachtung zur Teilstrombehandlung erforderlich. Der Teilstrom wird so gewählt, dass ein Großteil der jährlichen Abflusssituationen darüber abgedeckt wird. Zudem muss sichergestellt sein, dass eine ausreichende Spurenstoffelimination in der Gesamtanlage (bestehende Anlage + 4. Reinigungsstufe) erfolgt.

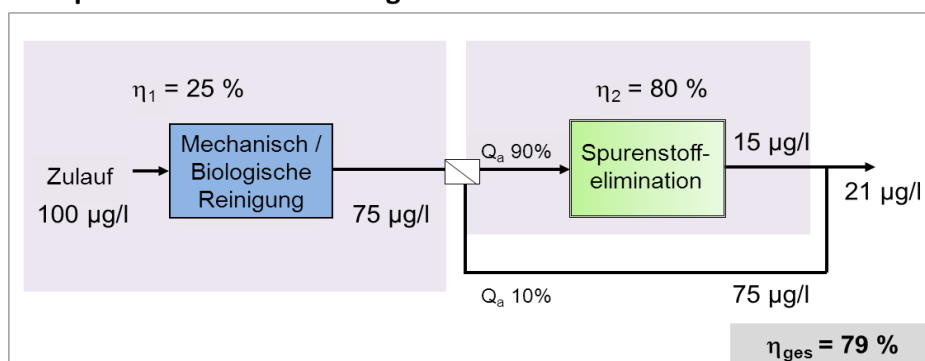
Im Folgenden wird dies am Beispiel des Arzneimittels Diclofenac dargestellt. Für diesen Stoff kann in der bestehenden mechanisch/biologischen Reinigungsstufe ein Eliminationsgrad von 25 % angesetzt werden (**Siegrist 2013, Bsp. Diclofenac**). In der weitergehenden Abwasserreinigung wird von einer zusätzlichen Eliminationsrate von 80 % in dieser Reinigungsstufe ausgegangen. Unter diesen Rahmenbedingungen kann bei einer Vollstrombehandlung ein Gesamtwirkungsgrad von 85 % erreicht werden. Bei einer Teilstrombehandlung von 90 % der gesamten Abwassermenge können Eliminationsarten von 79 % erzielt werden. Schematische Darstellungen dazu siehe **Bild 12** und **Bild 13**. Stellt man den Zusammenhang zwischen den Anteilen Teilstrombehandlung und Eliminationsgrad unter den oben genannten Annahmen grafisch dar, so ergibt sich der in **Bild 14** gezeigte Zusammenhang.

#### Beispiel Vollstrombehandlung



**Bild 12:** Wirkungsgrade bei Vollstrombehandlung (Konzentration beispielhaft)

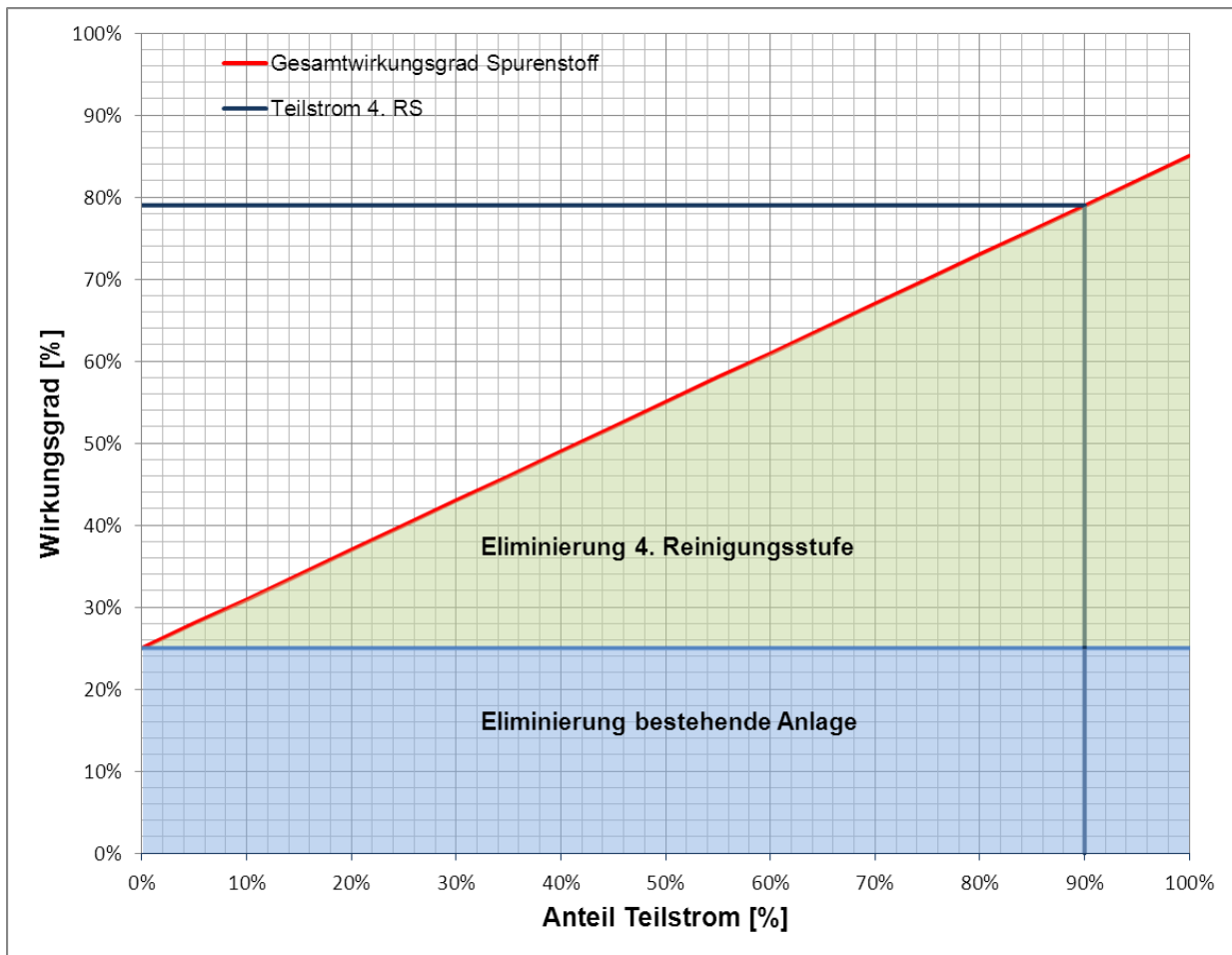
#### Beispiel Teilstrombehandlung



**Bild 13:** Wirkungsgrade bei Teilstrombehandlung (Konzentration beispielhaft)

Die Bemessung der 4. Reinigungsstufe erfolgt auf Basis der Ablaufwerte der Kläranlage Gescher-Harwick für den Zeitraum Januar bis Dezember 2013 (**Kapitel 3**). Für eine Vollstrombehandlung

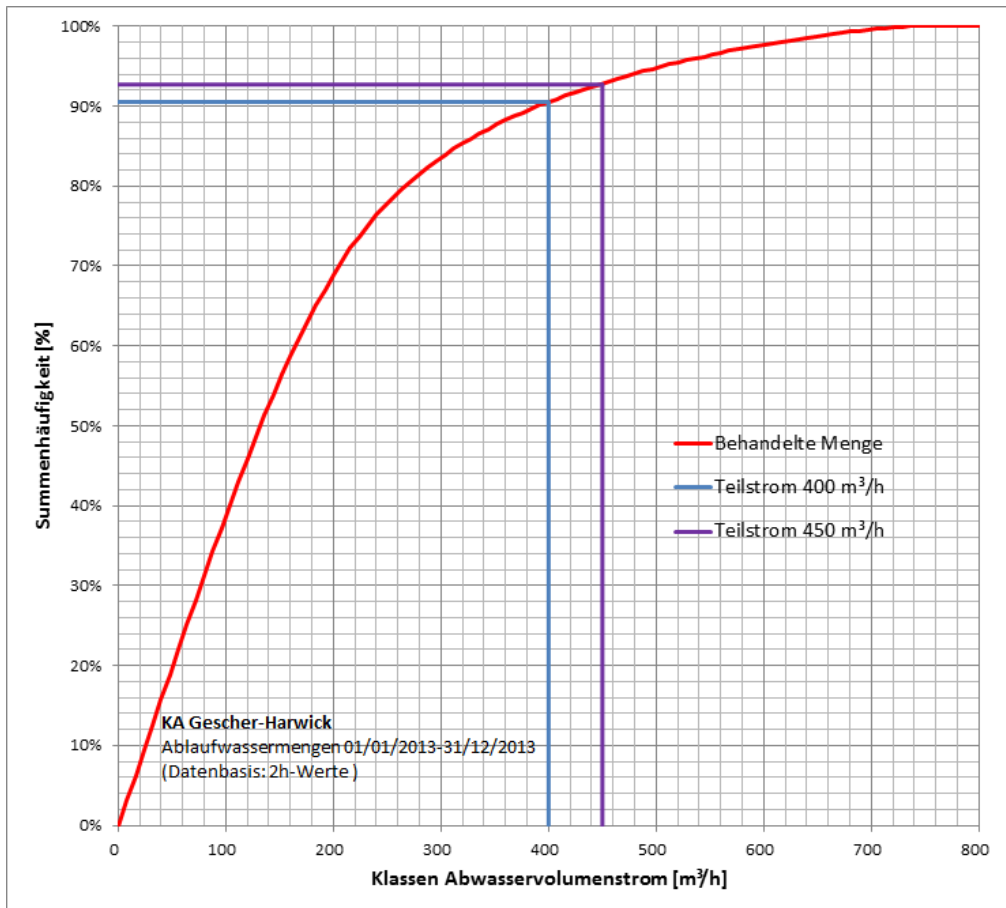
müsste auf der Kläranlage Gescher-Harwick eine Kapazität zur Behandlung von 756 m<sup>3</sup>/h vorgehalten werden.



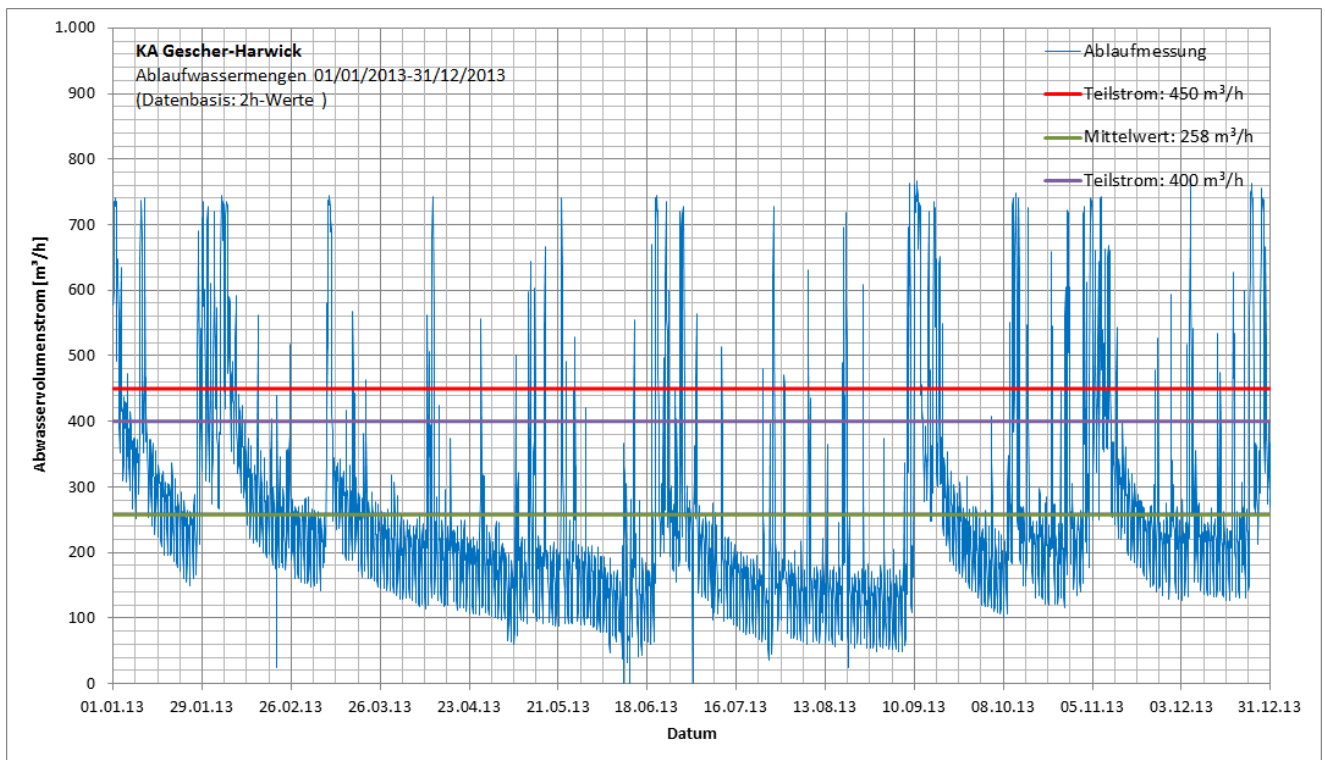
**Bild 14:** Beispielhaft grafische Darstellung Wirkungsgrade bei Teilstrombehandlung

**Bild 15** stellt die Summenhäufigkeit der einzelnen Teilstrommengen dar. Die berechnete Gesamtabwassermenge nach dieser Auswertung beträgt 2.218.234 m<sup>3</sup>/a (Vollstrom). Wenn die Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination auf eine Teilstrommenge von 400 m<sup>3</sup>/h ausgelegt wird, werden 90,05 % der gesamten Jahresabwassermenge behandelt, dies entspricht 2.008.026 m<sup>3</sup>/a. Unter den gewählten Ansätzen kann somit eine Elimination von 79 % erreicht werden. Die Verfahrensstufe kann so bei einer Behandlung von 90,05 % der Jahresabwassermenge im Vergleich zur Vollstrombehandlung um ca. 71 % kleiner ausgeführt werden.

Bei einer Teilstrommenge von 448 m<sup>3</sup>/h würden 92,7 % der Jahresabwassermenge behandelt. Die Stufe könnte hydraulisch um etwa 66 % kleiner ausgeführt werden, als bei einer Auslegung für den Vollstrom. Bei einem Teilstrom von 448 m<sup>3</sup>/h würde eine Abwassermenge von rund 2.057.862 m<sup>3</sup>/a in der vierten Reinigungsstufe behandelt werden. Die Teilstrombehandlung wurde basierend auf dem Vorschlag von Tuttahs & Meyer in Abstimmung mit der Stadt Gescher auf einen Volumenstrom von 448 m<sup>3</sup>/h ( $\approx$  450 m<sup>3</sup>/h) ausgelegt. Die Mengen beziehen sich auf die eigene Auswertung der aus den 2h-Werten der Ablaufmessung von 01/2013 bis 12/2013.



**Bild 15:** Summenhäufigkeitskurve für die Ablaufwassermenge im Untersuchungszeitraum



**Bild 16:** Behandelte Abwassermenge in Abhängigkeit des Bemessungszuflusses der Verfahrensstufe zur Spurenstoffelimination



## 8.2 Verfahrensfestlegung

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie werden die folgenden drei Verfahrenskombinationen untersucht:

1. **Pulveraktivkohle mit Rücklaufkohleführung.** Nutzung des alten Regenfangbeckens als Baugrube für das Absetzbecken. Der PAK-Abtrennung ist eine Tuchfiltration nachgeschaltet.
2. **Filtration über granulierten Aktivkohle.** Festbettadsorber werden der bestehenden Anlage nachgeschaltet.
3. **Ozonung mit Sandfilter.** Ablauf der Nachklärung wird mit Ozon behandelt und anschließend über einen kontinuierlichen Sandfilter als biologisch aktive Stufe geführt.

## 8.3 Randbedingungen

Als Standort für die 4. Reinigungsstufe wurde die freie Fläche rechts neben dem bestehenden Regenfangbecken gewählt. Bei Variante 1 ist die Nutzung des Regenfangbeckens als Baugrube für das Absetzbecken vorgesehen. Auf das Regenfangbecken kann aus Betriebssicherheitsgründen nicht verzichtet werden, sodass der Neubau eines Regenfangbeckens auf der Erweiterungsfläche im Südosten der Kläranlage notwendig ist. Diese Maßnahme wird in der Kostenannahme berücksichtigt.

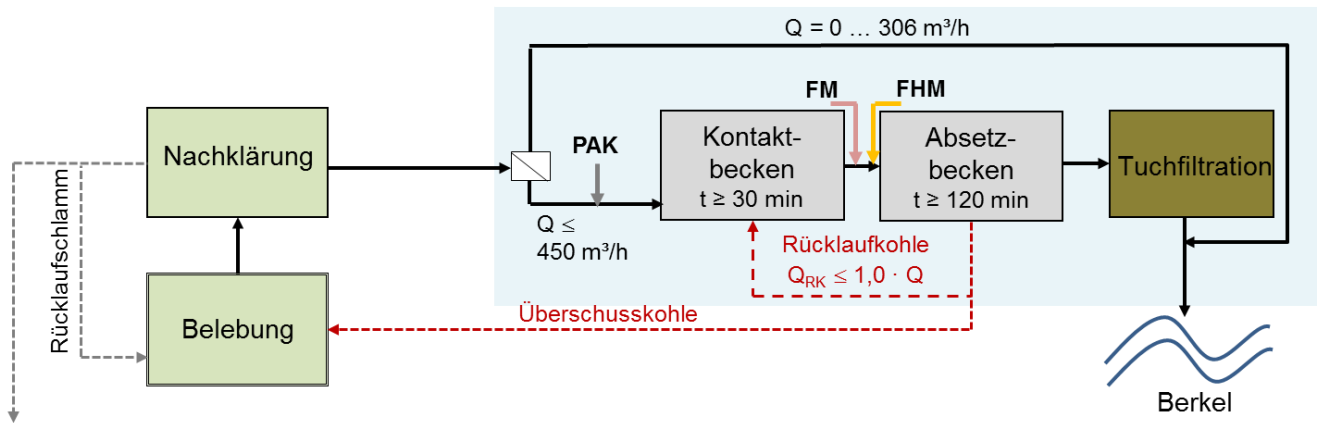
## 8.4 Varianten

### 8.4.1 Variante 1: PAK mit Rücklaufkohle

#### 8.4.1.1 Allgemein

Dieses Verfahren wurde, wie schon im Kapitel 7.2.2.1 beschreiben, an einigen Standorten in Baden-Württemberg umgesetzt. Für die Rückführung der Kohle ist ein Absetzbecken notwendig. Die Rücklaufkohle wird zusammen mit der Frischkohle in den Zulauf des Kontaktbeckens dem Ablauf der Nachklärung zugegeben. In dem Absetzbecken vorgeschalteten Kontaktbecken erfolgt der eigentliche Adsorptionsvorgang. Der im Absetzbecken zurückgehaltene Kohleschlamm wird über eine Pumpe als Rücklaufkohle wieder in den Zulauf des Kontaktbeckens zurückgeführt. Entsprechend der Frischkohledosierung wird ein Teil der rückgeführten Kohle als Überschussskohle aus dem System entnommen. Besonderer Vorteil dieses Verfahrens ist, dass die Pulverkohle mehrfach mit dem Abwasser in Kontakt kommt, um die Beladungskapazität möglichst gut ausnutzen zu können.

Für die Kläranlage Gescher-Harwick würde dies bedeuten, dass ein Kontaktbecken sowie eine Filtration gebaut werden müssen. Das Regenfangbecken soll zum Absetzbecken umfunktioniert und umgebaut werden. Weiterhin ist ein Silo einschließlich der Dosiertechnik für die Pulveraktivkohle notwendig. Fällmittel wird über die bestehende Anlage bezogen.



**Bild 17: Blockscheema Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle**

Diese Variante hat neben der Elimination der Spurenstoffe auch einen großen Einfluss auf die Parameter CSB,  $P_{ges}$  und abfiltrierbare Stoffe im Teilstrom. Insgesamt ist davon auszugehen, dass auch bei diesen Parametern deutlich geringere Ablaufwerte zu erwarten sind. Zu beachten ist, dass jeweils immer nur ein Teilstrom von maximal  $450 \text{ m}^3/\text{h}$  behandelt wird.

Ein Mehrverbrauch an Fällmittel (Me-Salzen) gegenüber dem Ausgangszustand konnte beispielsweise in Böblingen-Sindelfingen nicht festgestellt werden, da die Dosierung der Simultanfällung reduziert werden konnte. Die Dosierung hat sich also in die 4. Reinigungsstufe verlagert.

Bei dieser Variante erhöht sich der Schlammanfall der Kläranlage. Nach Erfahrungen von bereits in Baden-Württemberg realisierten Anlagen setzt sich der in dieser Stufe anfallende Schlamm zu jeweils einem Drittel aus Aktivkohle, Organik und anorganischen Fällprodukten zusammen.

#### 8.4.1.2 Ausführung

Den Lageplan der Variante stellt **Blatt 1** der Planunterlagen dar.

#### Pumpwerk 4. Reinigungsstufe

Die Beschickung der PAK-Stufe erfolgt über das Pumpwerk 4. Reinigungsstufe. Insgesamt stehen drei Pumpen mit einem Volumenstrom von je  $225 \text{ m}^3/\text{h}$  zur Verfügung. Eine der drei Pumpen dient als Reserve.

#### Kontaktbecken

Es werden zwei Kontaktbecken eingesetzt. Jedes Kontaktbecken ist als quadratisches Becken mit einer Wasserspiegelhöhe von  $3,4 \text{ m}$  ausgeführt. Bei einer Innenkantenlänge von  $5,8 \text{ m}$  ergibt sich ein Volumen von  $114 \text{ m}^3$  je Kontaktbecken. Des Weiteren ist die Rücklaufkohleföhrung auf ein Rückföhrverhältnis von 1 ausgelegt. Insgesamt ist durch diese Maßnahmen sichergestellt, dass die Adsorptionskapazität der eingesetzten Kohle sehr gut genutzt werden kann. Jedes Kontaktbecken ist mit einem Vertikalröhrwerk ausgestattet.

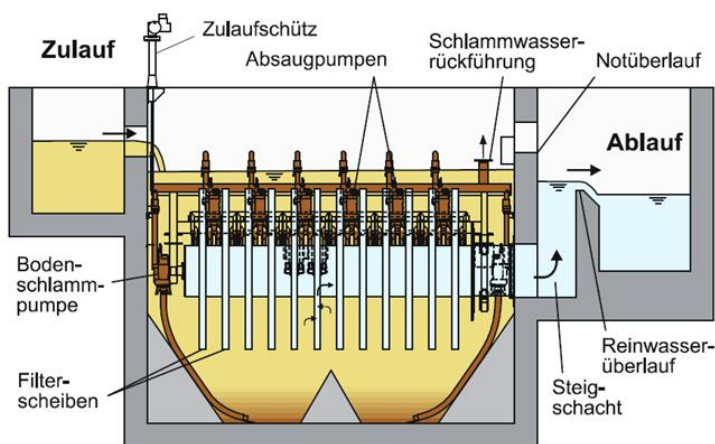
## Absetzbecken

Das Absetzbecken ist als Rundbecken ausgeführt und wird horizontal durchströmt. Der Innendurchmesser des Beckens beträgt 22 m. Die Beckentiefe im 2/3-Punkt liegt bei 2,9 m. Es ergibt sich ein Gesamtvolumen von 1.073 m<sup>3</sup>.

Für die Räumung des anfallenden Schlammes wird eine Schildräumung vorgesehen. Der gesammelte Schlamm wird mittels einer Pumpe wieder in den Zulauf der Kontaktbecken zurückgeführt. Die Überschussskohle wird aus dem ÜSK-Schacht entnommen und der Belebung zur weiteren Beladung zugeführt.

## Tuchfiltration

Dem Absetzbecken wird eine zweistraßige Filtrationsstufe zur Suspensa-Restentfernung nachgeschaltet. Es wird hier eine Tuchfiltration mit 6 Scheiben à 5 m<sup>2</sup> vorgesehen. Damit ergibt sich eine Gesamtfiltrationsfläche von 30 m<sup>2</sup> pro Straße. Die Tuchfiltration wurde in Bezug auf die Abtrennung von Aktivkohle in verschiedenen Forschungsprojekten untersucht. Derzeit wird auf der Kläranlage Lahr die erste Anlage im technischen Maßstab umgesetzt. Vorteile der Tuchfiltration sind der geringe Platzbedarf und die geringen Energiekosten im Betrieb (Rückspülung und hydraulische Verluste) gegenüber Raumfiltern. Zu beachten ist, dass die Filtertücher in regelmäßigen Abständen (ca. 5 a) erneuert und jährlich einer Intensiv-Reinigung unterzogen werden müssen. In **Bild 18** ist ein Tuchfilter im Schnitt dargestellt.



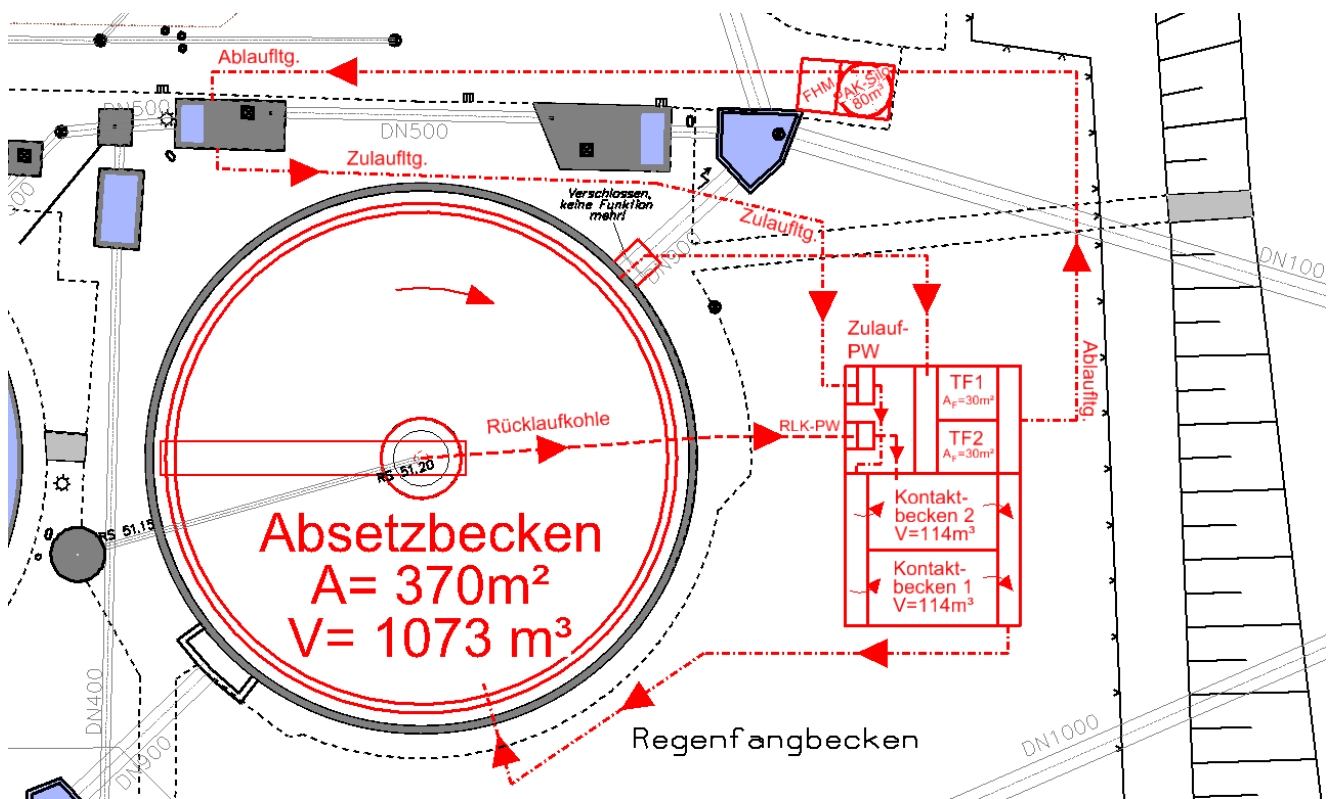
**Bild 18:** Schnitt eines Tuchfilters, Ausführungsbeispiel (Quelle: Mecana)

## PAK-Silo

Zur Lagerung der Aktivkohle ist ein Silo mit einem Inhalt von 80 m<sup>3</sup> vorgesehen.

## Flockungs- und Flockungshilfsmittel

Als Flockungsmittel wird die Dosierung von FeCl<sub>3</sub> vorgesehen. Das Fällmittel wird der bestehenden Anlage auf der Kläranlage entnommen. Die bestehende Dosieranlage wird dazu um eine zusätzliche Dosierpumpe erweitert. Die Bereitungsanlage für das Flockungshilfsmittel wird im Bereich des PAK-Silos errichtet.



**Bild 19: Lageplanausschnitt Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle**

## 8.4.2 Variante 2: Filtration über granulierte Aktivkohle

### 8.4.2.1 Allgemeines

Der ausgewählte Teilstrom von maximal 450 m<sup>3</sup>/h wird über Aktivkohlefilter geführt.

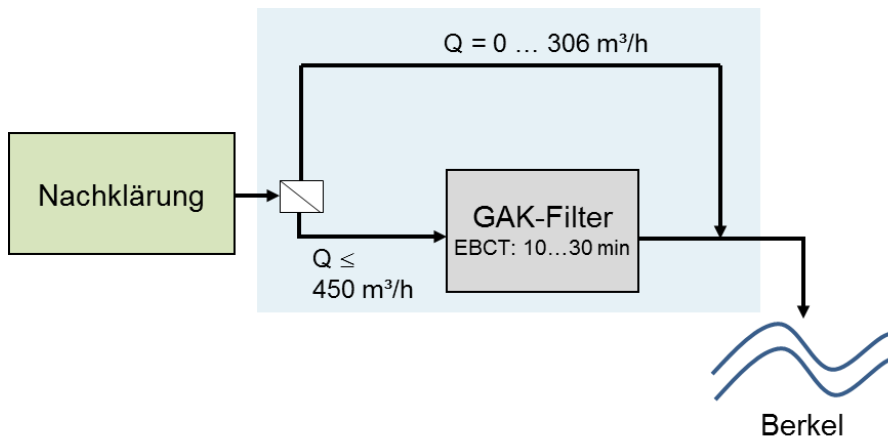
Die Filterstufe wird anhand folgender Bemessungsparameter ausgelegt:

Leerbettkontaktzeit (EBCT):	10...30 min
Filtergeschwindigkeit:	5...20 min
Bethöhe GAK:	1,5...3 m

Folgende Werte wurden gewählt:

Anzahl Filter:	6 Stück
Bethöhe GAK:	2,5 m
Leerbettkontaktzeit (EBCT):	30 min
Filterfläche gesamt:	90 m <sup>2</sup>

Die Stufe kann als Druckfiltration – zumeist in Filterkesseln aus Stahl – oder als offene Filtration realisiert werden. Für den Anwendungsfall wurde eine Ausführung als offener Rechteckfilter aus Beton gewählt, da so der Filterblock zusammen mit der benötigten Spülwasservorlage als kompaktes Bauwerk realisiert werden kann.



**Bild 20: Blockschema Variante 2: GAK-Filtration**

Zu beachten ist, dass die Aktivkohlefilter neben der adsorptiven Wirkung auch Suspensa zurückhalten. Daher wird von einer täglichen Spülung der Filter ausgegangen.

Die Rückspülgeschwindigkeiten sind geringer als bei Mehrschichtfiltern.

Sontheimer u. a. (1985) nennen folgende Werte:

Spülluftgeschwindigkeit: 60...80 m/h

Spülwassergeschwindigkeit: 25...35 m/h

Die Filter werden für eine Durchlaufspülung ausgelegt. Die Spülwasserableitung erfolgt über eine Rinne.

Die Standzeit der granulierten Aktivkohle in den Filtern wird mit 8.000 Bettvolumina (BV) angesetzt. Dieser Wert ist vergleichsweise günstig für das Verfahren gewählt, wenn man bedenkt, dass die Adsorption der Spurenstoffe in Konkurrenz zur Restorganik erfolgt, die noch im Ablauf der Nachklärung enthalten ist.

### 8.4.2.2 Ausführung

Den Lageplan der Variante stellt **Blatt 2** der Planunterlagen dar.

#### Pumpwerk 4. Reinigungsstufe

Die Beschickung der Ozonung erfolgt über das Pumpwerk 4. Reinigungsstufe. Insgesamt stehen 3 Pumpen mit einem Volumenstrom von je 225 m³/h zur Verfügung. Diese Variante ist zweistraßig ausgeführt; daher werden jeder Straße (Kontaktbecken) zwei Pumpen zugeordnet. Die dritte Pumpe dient als Reserve.

#### Filterblock

Der Filterblock besteht aus sechs abwärtsdurchströmten offenen Filtern. Jede Filterkammer weist eine Fläche von 15 m² auf. Die Abmessungen einer Filterkammer liegen bei einer Breite von 3 m und einer Länge von 5 m.

Der Zulauf zu den sechs Filtern erfolgt aus einem offenen Gerinne. Über mit Schiebern versehene Öffnungen fließt das Wasser in die Filterkammern. Die Gleichverteilung des Zulaufs auf alle in Betrieb befindlichen Filterkammern wird über die Schwellen an der Stirnseite der Filter realisiert.

### Spülwasserspeicher

Das Filtrat der Adsorptionsstufe wird in einer Spülwasservorlage mit 100 m<sup>3</sup> Inhalt gespeichert. Der Überlauf des Spülwasserspeichers wird wieder in das Ablaufgerinne der Kläranlage zurückgeführt. Für die Rückspülung der Filter stehen zwei Rückspülpumpen zur Verfügung.

### Spülabwasserspeicher

Das bei der anfallenden Rückspülung anfallende Spülabwasser wird zwischengespeichert und über eine Pumpe dosiert dem Zulauf der Kläranlage zugeführt.

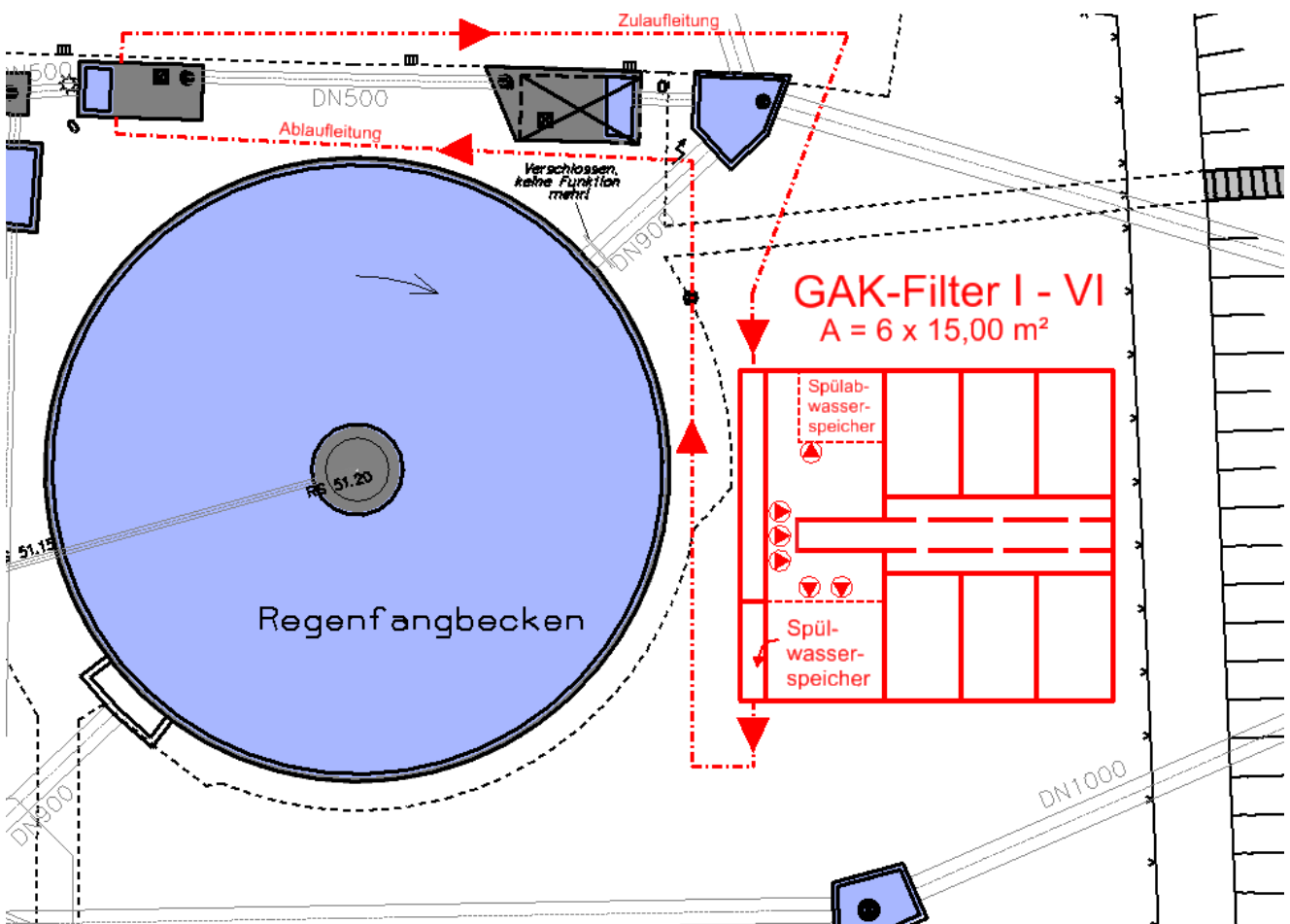


Bild 21: Lageplanausschnitt Variante 2: GAK-Filtration

## 8.4.3 Variante 3: Ozonung mit nachgeschaltetem Sandfilter

### 8.4.3.1 Allgemeines

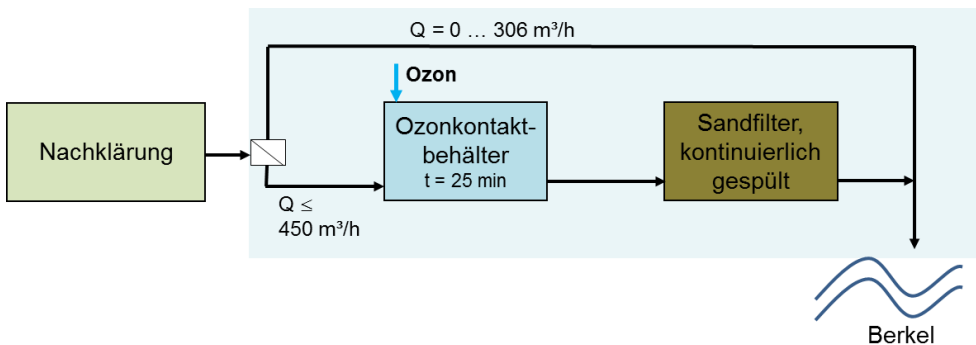
Neben der Entfernung der Spurenstoffe auf adsorptivem Wege ist die Oxidation der Stoffe eine andere Möglichkeit zur Elimination. Hier bietet sich der Einsatz von Ozon als starkes Oxidationsmittel an.

Zu berücksichtigen ist, dass durch den Einsatz von Ozon Oxidationsprodukte gebildet werden können, die toxisch sind. Daher wird empfohlen, eine biologisch arbeitende Stufe der Ozonung nachzuschalten. Dies kann eine Filtration sein, wie Abbecken u. a. (2009) in einem großtechnischen Versuch auf der ARA Regensdorf nachweisen konnte.

Die Ozonung wird anhand folgender Bemessungsparameter ausgelegt:

Ozondosis:  $2 \dots 10 \text{ g/m}^3$

Kontaktzeit im Reaktionsbehälter:  $10 \dots 30 \text{ min}$



**Bild 22: Blockschema Variante 3**

Folgende Werte wurden gewählt:

Anzahl Kontaktbehälter: 2 Stück

Wassertiefe Kontaktbehälter: 6 m

Es wurde eine mittlere Ozondosis angenommen von:

$$c_{\text{O}_3, \text{a}} = 7,00 \text{ mg O}_3/\text{l}$$

Es ist davon auszugehen, dass sich mit Betrieb der Anlage ein Optimierungspotential ergibt.

### 8.4.3.2 Ausführung

Den Lageplan der Variante stellt **Blatt 3** der Planunterlagen dar. Die Ozonung mit Ozonerzeuger und Kontaktbecken ist zweistraßig ausgeführt. Bei geringem Durchfluss (z. B. in der Nacht) kann eine Straße außer Betrieb genommen werden.

### Pumpwerk 4. Reinigungsstufe

Die Beschickung der Ozonung erfolgt über das Pumpwerk 4. Reinigungsstufe. Insgesamt stehen 3 Pumpen mit einem Volumenstrom von je  $225 \text{ m}^3/\text{h}$  zur Verfügung. Diese Variante ist zweistraßig ausgeführt; daher werden jeder Straße (Kontaktbecken) zwei Pumpen zugeordnet. Die dritte Pumpe dient als Reserve für beide Straßen.



## Kontaktbehälter

Die beiden Kontaktbehälterstraßen werden als Betonbauwerk ausgeführt. Die Behälter verfügen über keine Einbauten, außer einer unterströmten Tauchwand im letzten Drittel des Behälters. Dieser Bereich dient als Entspannungszone. Untersuchungen von Herbst u. a. (2011) zeigten, dass weitere Einbauten (Leitwände) die Effizienz nicht nachhaltig verbessern.

Der Ozoneintrag kann über eine Teilstrombegasung mit Injektoren erfolgen, oder über Diffusoren direkt in das Abwasser. Im konkreten Fall wird der Eintrag über Diffusoren gewählt, da er verfahrenstechnisch einfacher zu realisieren ist (kein weiterer Kreislauf mit Pumpe). Der Ablauf der Ozonbehandlung wird anschließend über eine Rohrleitung in den nachgeschalteten Schönungsteich geführt.

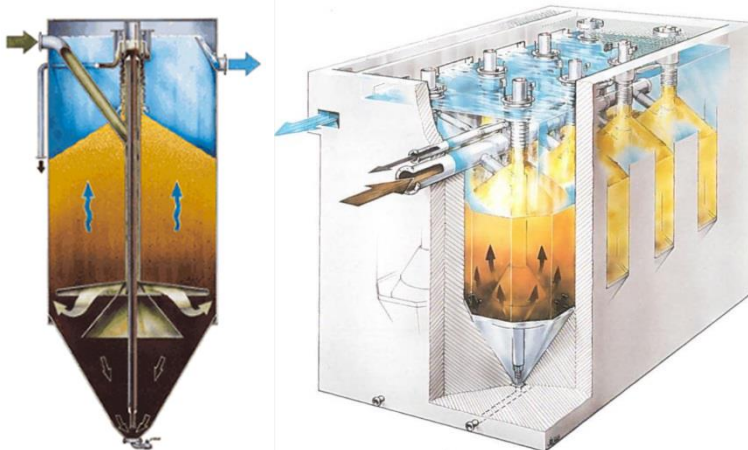
## Ozonerzeugung

Die Ozonerzeuger weisen eine Leistung von  $2 \times 2.250$  g/h auf. Als Prozessgas ist flüssiger Sauerstoff vorgesehen. Die Kühlung erfolgt über einen Nass/Nass-Wärmeübertrager, der ebenfalls im Container untergebracht ist. Das benötigte Kühlwasser im Sekundärkreislauf wird über zwei Pumpen (eine Reserve) bereitgestellt. Die Erzeuger werden mit der zugehörigen Schaltanlage in Containern untergebracht.

## Sandfilter (kontinuierlich gespült)

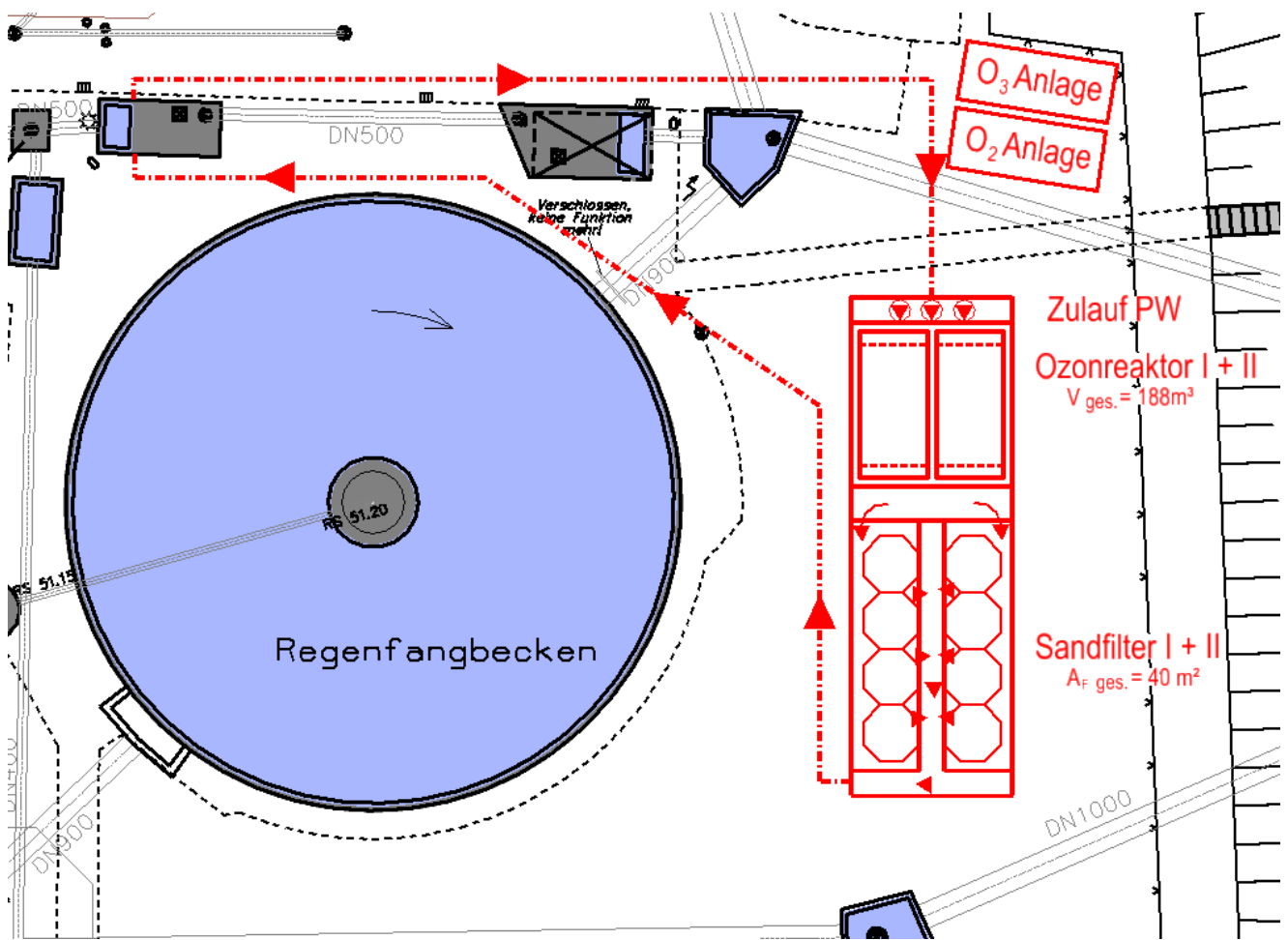
Als Nachreaktor wird ein kontinuierlich arbeitender Sandfilter (Dyna-Sandfilter) eingesetzt. Das Sandbett im Filter wird von unten nach oben durchströmt. Die im Abwasser enthaltenen Suspensa werden im Sand zurückgehalten. Über eine Mammutpumpe wird der verunreinigte Sand aus dem Filterbett von unten nach oben transportiert. In einem Sandwäscher wird dieser Sand mit Filtrat gereinigt. Der gereinigte Sand fällt auf das Filterbett zurück. Das anfallende Schlammwasser aus dem Sandwäscher fließt über den Waschwasserablauf ab. Für den Betrieb der Mammutpumpe ist eine Druckluftversorgung notwendig. Rückspülpumpen werden nicht benötigt. Siehe **Bild 23**.

Es sind insgesamt 8 Filter aufgeteilt auf zwei Straßen vorgesehen. Jeder Filter weist eine Filterfläche von  $5 \text{ m}^2$  auf, sodass sich eine GesamtfILTERfläche von  $40 \text{ m}^2$  ergibt. Jeweils 4 Filter werden in ein Betonbecken eingebaut. Der Zulauf auf die einzelnen Filterstraßen erfolgt über Gerinne. Jede Straße kann über ein Schütz abgeschiebert werden.



**Bild 23:** Dyna-Sandfilter: links: Prinzipdarstellung, rechts: Anordnung im Betonbecken (Quelle: Nordic-Water)





**Bild 24:** Lageplanausschnitt Variante 3: Ozonung mit nachgeschaltetem Dynasandfilter

### 8.5 Ergebnisübersicht Varianten

	<b>Variante 1 Pulverkohle mit Rücklaufkohle</b>	<b>Variante 2 GAK-Filtration</b>	<b>Variante 3 Ozonung + Sandfilter</b>
<b>Anlagenkomponenten</b>			
	<p><b>Kontaktbecken:</b>  <math>t_A = 30 \text{ min}</math>, <math>V_{\text{ges}} = 228 \text{ m}^3</math></p> <p><b>Absetzbecken:</b>  <math>D_i = 22 \text{ m}</math>; <math>h_{2/3} = 2,9 \text{ m}</math>  <math>A_{\text{ges}} = 370 \text{ m}^2</math>; <math>V_{\text{ges}} = 1.073 \text{ m}^3</math></p> <p><b>Tuchfiltration (zweistraßig):</b>  <math>A_{F,\text{ges}} = 60 \text{ m}^2</math></p> <p><b>PAK-Silo:</b>  <math>V = 80 \text{ m}^3</math></p>	<p><b>GAK-Filtration:</b>          6 Filter, <math>B \times L = 3 \times 5 \text{ m}</math>  <math>A = 90 \text{ m}^2</math>; <math>H_{\text{FB}} = 2,5 \text{ m}</math>;  <math>V = 225 \text{ m}^3</math></p>	<p><b>Flüssigsauerstoff:</b>          Tankanlage und Verdampfer</p> <p><b>Ozonerzeuger:</b>          2 x 2,25 kg <math>\text{O}_3/\text{h}</math></p> <p><b>Reaktionsbehälter:</b>          2 Straßen,          je <math>L = 5,8 \text{ m}</math>; <math>B = 2,7 \text{ m}</math>; <math>V_{\text{ges}} = 188 \text{ m}^3</math></p> <p><b>Sandfiltration (kont. gespült):</b>          8 Filter mit <math>A_F = 5 \text{ m}^2</math>  <math>A_{F,\text{ges}} = 40 \text{ m}^2</math></p>
<b>Vorteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Bildung von Reaktionsprodukten</li> <li>Wirkungsweise der Stoffelimination eindeutig</li> <li>sehr guter Suspensarückhalt im AB und durch Filtration</li> <li>sehr gute Reduzierung <math>P_{\text{ges}}</math> und CSB</li> <li>Mehrfachbeladung der PAK</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Bildung von Reaktionsprodukten</li> <li>Wirkungsweise der Stoffelimination eindeutig</li> <li>Sicherer und einfacher Betrieb</li> <li>Suspensarückhalt durch Filtration</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>geringer Platzbedarf</li> <li>Suspensarückhalt durch Filtration</li> <li>Optimierungspotential bei Ozondosis zu erwarten</li> </ul>
<b>Nachteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>höhere Schlammanfall als bei den anderen Varianten</li> <li>betreuungsintensiv, da Dosierung von PAK, FHM und FM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>GAK-Austausch</li> <li>Hoher Kohlebedarf in Vergleich zu anderen Varianten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reaktionsmechanismen und -produkte sind teilweise unbekannt,</li> <li>Wartung erfordert geschultes Personal oder externes Personal,</li> <li>hohe Sicherheitsanforderungen an den Arbeitsschutz, da Ozon toxisch ist und als Reizstoff wirkt</li> <li>hoher Energiebedarf</li> </ul>

## 9 Kosten

### 9.1 Allgemein

Die Wirtschaftlichkeit der drei betrachteten Varianten wird anhand der Investitions- und Betriebskostenschätzung ermittelt. Anhand der Jahreskosten werden dann die Varianten verglichen. In einer Sensitivitätsanalyse wird der Einfluss einzelner Kostengruppen und der betrieblichen Einstellungen auf die Jahreskosten betrachtet. Die im Rahmen dieser Studie geschätzten Kosten können um  $\pm 30\%$  von den tatsächlichen Kosten abweichen.

### 9.2 Investitionskosten

Anhand der Bemessungen und der Auslegung sowie der zeichnerischen Darstellung der Varianten wurden für die betrachteten Lösungen die Investitionskosten, unterteilt in die Kostengruppen Bau-, Maschinen- und EMSR-Technik, ermittelt. Die genaue Zusammenstellung enthält **Anlage 2**.

Grundlage der eingesetzten Preise waren aktuelle Ausschreibungsergebnisse in vergleichbaren Projekten sowie Richtpreisangebote von Herstellern.

Als Baunebenkosten wurden 20 % der Netto-Investitionssumme angesetzt. In nachfolgender Tabelle sind die Kosten zusammengestellt:

**Tabelle 2: Investitionskosten für die Varianten 1 bis 3**

Pos.-Nr	Text		Variante 1 PAK m. Rücklaufk.	Variante 2 GAK-Filtration	Variante 3 Ozon mit Sandfilter
1	Bautechnik	EUR	1.578.597,46	883.484,30	1.240.605,90
2	Maschinenteknik	EUR	818.582,78	580.188,00	825.300,00
3	EMSR-Technik	EUR	331.503,97	290.094,00	330.120,00
<b>Summe Herstellungskosten, netto</b>		<b>EUR</b>	<b>2.728.684,22</b>	<b>1.753.766,30</b>	<b>2.396.025,90</b>
Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)		EUR	545.736,84	350.753,26	479.205,18
<b>Summe Baukosten, netto</b>		<b>EUR</b>	<b>3.274.421,06</b>	<b>2.104.519,56</b>	<b>2.875.231,08</b>
Mehrwertsteuer		EUR	518.450,00	333.215,60	455.244,92
<b>Summe Baukosten, brutto</b>		<b>EUR</b>	<b>3.792.871,07</b>	<b>2.437.735,16</b>	<b>3.330.476,00</b>
<b>Anteil</b>			<b>156%</b>	<b>100%</b>	<b>137%</b>

Am teuersten ist Variante 1. Dies lässt sich durch den Neubau des Regenfangbeckens erklären. Für Variante 2 sind die Investitionskosten am günstigsten, gefolgt von Variante 3.

### 9.3 Betriebskosten

Für die Berechnung der Betriebskosten wurden folgende Werte mit dem Auftraggeber abgestimmt:

Strombezugskosten	0,17	EUR/kWh, netto
Entsorgungskosten		
<i>Verbrennung Schlamm</i>	65	EUR/Mg Nassschlamm, netto
<i>Entwässerungsergebnis</i>	25	%
→	167,4	EUR/Mg TS, netto

Folgende Werte wurden seitens T&M angenommen:

Personal	40.000	EUR/(MA·a), netto
Pulveraktivkohle	1.500	EUR/Mg, netto
Granulierte Aktivkohle	1.300	EUR/Mg, netto
Flockungshilfsmittel	3.000	EUR/kg WS, netto
Sauerstoff inkl. Tankmiete	0,25	EUR/kg, netto
Entwässerungskosten Schlamm	50	EUR/Mg TS, netto

Die Kosten für die Aktivkohlen entstammen aus aktuellen Ausschreibungsergebnissen (PAK). Derzeit sind Preise von 1.300 EUR/Mg, netto noch gängig. Eine Steigerung des Preises für Aktivkohle wird erwartet. Daher wird für die Berechnung ein Preis von 1.500 EUR/Mg, netto angesetzt. Für alle verbrauchsgebundenen Kosten wurden die mittleren Verbrauchsmengen aus der Bemessung und Auslegung der Varianten in **Anlage 1** herangezogen.

Für die Variante 1 ist die Dosierung von Flockungs- bzw. Fällmitteln (Me-Salzen) notwendig. In der Summe ist jedoch keine zusätzliche Menge notwendig, da die Dosierung der Fällmittel von der Beladung (Simultanfällung) in die Adsorptionsstufe verlagert wird. Insgesamt ergeben sich damit keine erhöhten Kosten für den Einsatz von Me-Salzen als Fäll- und Flockungsmittel. Wie die Anlage in Sinfeldingen zeigt, ist mit einem Mehranfall an Schlamm zu rechnen. Zum einen ist dies die dosierte Pulverkohle. Zum anderen ist dies Schlamm, der aus den zusätzlich gefällten Stoffen (Phosphor, CSB, u. Ä.) gebildet wird. Hierfür wurde für die Betriebskostenermittlung folgender Ansatz gewählt. Der Schlamm setzt sich zu einem Drittel aus der PAK und zu 2/3 aus Organika (CSB, AFS) und Fällprodukten zusammen.

Neben den Entsorgungskosten des Schlammes fallen im Rahmen der Schlammbehandlung noch die Entwässerungskosten auf der Kläranlage an. Diese wurden mit 50 EUR/Mg TS, netto berücksichtigt. Bei Variante 1 ist in jedem Fall der Einsatz von Flockungshilfsmitteln notwendig. Es wurden spezifische Kosten von 3.000 EUR/Mg Wirkstoff angesetzt. Weitere Werte sind der Betriebskostenberechnung in **Anlage 3** zu entnehmen.

Für Wartung und Instandhaltung wurden folgende Prozentsätze der Netto-Investitionskosten angesetzt:

Bautechnik:	1,0 % der Investitionskosten/a
Maschinentechnik:	4,0 % der Investitionskosten/a
E-/MSR-Technik:	2,0 % der Investitionskosten/a

Die betriebsgebundenen Kosten beinhalten Personal- und Wartungs-/Instandhaltungskosten. Die verbrauchsgebundenen Kosten setzen sich aus den Energie-, den Chemikalien- und den Schlammmentwässerungs- sowie Schlammmentsorgungskosten zusammen.

**Tabelle 3: Betriebskosten für die Varianten 1 bis 3**

	Text		Variante 1 PAK m. Rücklaufk.	Variante 2 GAK	Variante 3 Ozonung + SF
B	Betriebsgebundene Kosten	EUR	74.559,37	59.844,24	76.020,46
C	Verbrauchsgebundene Kosten	EUR	86.297,25	152.831,27	84.373,91
<b>Summe Betriebskosten, netto</b>		<b>EUR</b>	<b>160.856,61</b>	<b>212.675,51</b>	<b>160.394,37</b>
Mehrwertsteuer: 19%		EUR	30.562,76	40.408,35	30.474,93
<b>Summe Betriebskosten, brutto</b>		<b>EUR</b>	<b>191.419,37</b>	<b>253.083,86</b>	<b>190.869,30</b>
<b>Anteil</b>			<b>100%</b>	<b>133%</b>	<b>100%</b>

Die Betriebskosten liegen für die Varianten 1 und 3 auf einem vergleichbaren Niveau von rund 191.000 EUR/a, brutto. Die Betriebskosten für die Variante 2 (GAK) sind mit ca. 250.000 EUR/a, brutto am höchsten.

#### 9.4 Jahreskosten

Die Jahreskosten wurden anhand folgender Vorgaben berechnet:

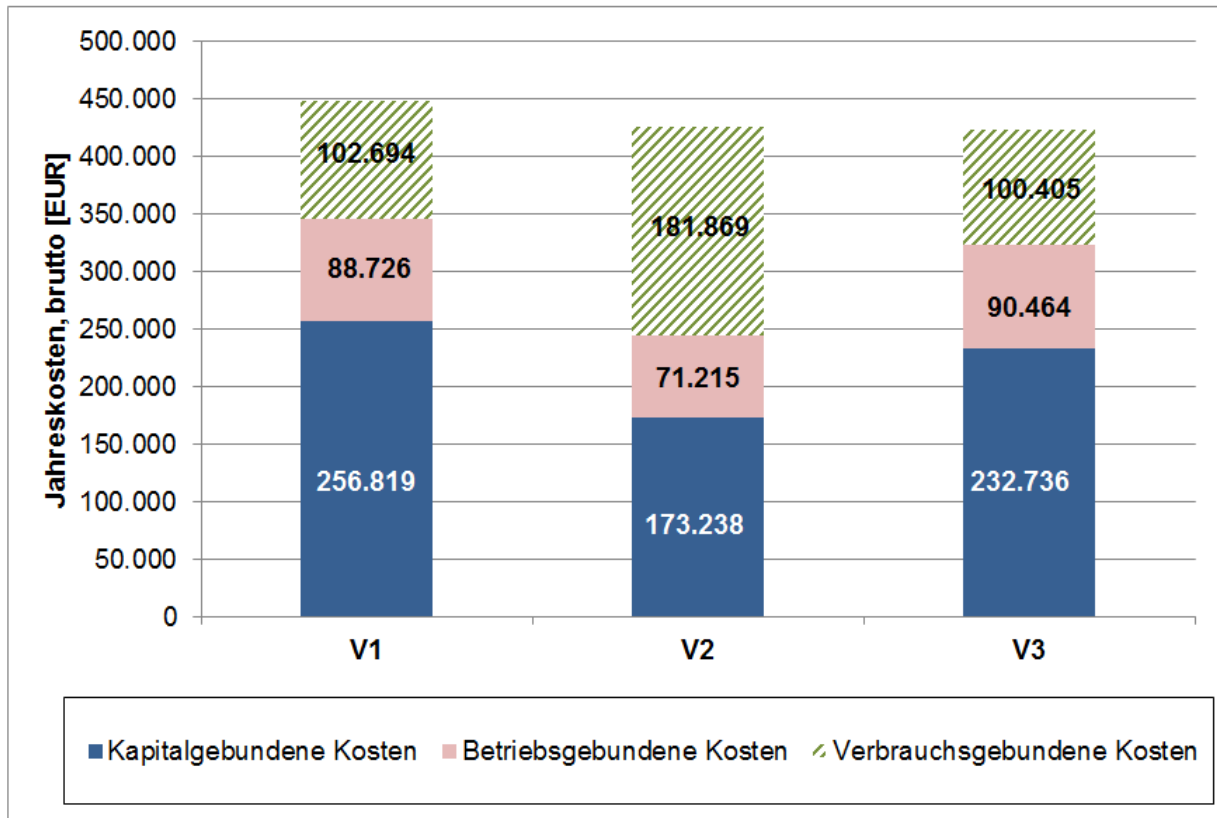
Betrachtungszeitraum	30 a
Nutzungsdauer Bautechnik	30 a
Nutzungsdauer Maschinenteknik	15 a
Nutzungsdauer E-/MSR-Technik	10 a
Realzinssatz	3 %

Die Nutzungsdauern lehnen sich an die Vorgaben der Landesarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) an. Der nominale Zinssatz von 3 % p. a. ist seit 1986 ein Standardwert, der sich auf einer Abstimmung des Bundes und der Länder zur Beurteilung von technischen Infrastrukturmaßnahmen gründet. Er kann auf Projekte in der Siedlungswasserwirtschaft übertragen werden.

**Tabelle 4: Jahreskosten und spezifische Kosten für die Varianten 1 bis 3**

Pos.-Nr	Text		Variante 1 PAK m. Rücklaufk.	Variante 2 GAK	Variante 3 Ozonung + SF
A	Kapitalgebundene Kosten	EUR	215.814,22	145.578,12	195.576,18
B	Betriebsgebundene Kosten	EUR	74.559,37	59.844,24	76.020,46
C	Verbrauchsgebundene Kosten	EUR	86.297,25	152.831,27	84.373,91
<b>Summe Jahreskosten, netto</b>		<b>EUR</b>	<b>376.670,83</b>	<b>358.253,63</b>	<b>355.970,55</b>
Mehrwertsteuer: 19%		EUR	71.567,46	68.068,19	67.634,40
<b>Summe Jahreskosten, brutto</b>		<b>EUR</b>	<b>448.238,29</b>	<b>426.321,82</b>	<b>423.604,96</b>
<b>Anteil</b>			<b>106%</b>	<b>101%</b>	<b>100%</b>

Die niedrigsten Jahreskosten wurden für die Variante 3 (Ozonung + Sandfilter) und Variante 2 (GAK) mit ca. 424.000 bis 426.000 EUR/a, brutto ermittelt. Die Variante 1 (PAK mit Rücklaufkohle) weist mit rund 448.000 EUR/a, brutto die höchsten Jahreskosten auf.

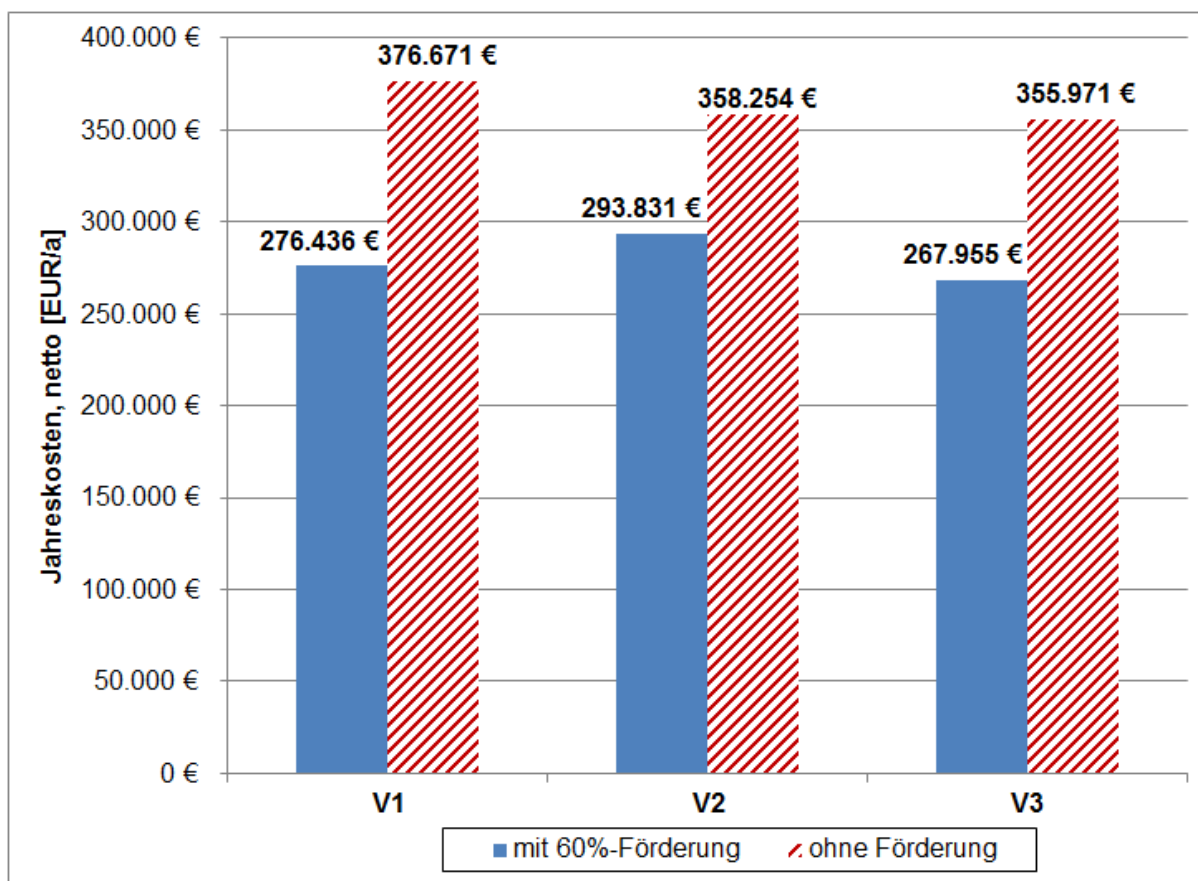


**Bild 25:** Anteile kapital-, betriebs- und verbrauchsgebundene Kosten an den Jahreskosten

Aus der im **Bild 25** dargestellten Aufteilung der Jahreskosten ist erkennbar, dass Variante 1 die höchsten kapitalgebundenen Kosten und Variante 2 die höchsten betriebsgebundenen Kosten aufweisen.

## 9.5 Einfluss der Förderung auf die Jahreskosten

Das Land Nordrhein-Westfalen fördert die Umrüstung von öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen mit innovativen Reinigungsverfahren. Auf der Basis der Förderrichtlinien „Ressourceneffiziente Abwasserbeseitigung“ werden Maßnahmen zur Elimination von Mikroschadstoffen bis zu 70% gefördert. Für das Jahr 2015 ist mit einer 60%-Förderung zu rechnen. Bei einer Förderung der Erstinvestition reduzieren sich die Jahreskosten aller Varianten (siehe **Bild 26**).



**Bild 26: Vergleich der Jahreskosten mit und ohne 60%-Förderung**

## 9.6 Sensitivitätsanalyse

Die Einflüsse von geänderten Verbrauchsmengen und deren spezifischen Kosten auf die Betriebs- und damit Jahreskosten wurden untersucht. Hierbei sind die entscheidenden Parameter herauszuarbeiten und zu bewerten. Folgende Punkte werden betrachtet:

- Steigerung der Energiekosten (elektrisch) um 20 % auf 0,2 EUR/kWh, netto (0,24 EUR/kWh, brutto),
- Steigerung Bezugskosten für Aktivkohle (PAK und GAK) und Flüssigsauerstoff um 10 %,
- Reduzierung Dosierung Pulverkohle und Ozon um 10 %.

In **Tabelle 5** sind die prozentualen Erhöhungen bzw. Senkungen der Jahreskosten dargestellt. Rot und gelb deuten auf eine hohe bzw. mittlere Sensitivität hin, während grün einer niedrigen Sensitivität entspricht. Die **Steigerung des Bezugspreises** für elektrische Energie um 20 % führt bei der energieintensiven Variante 3 (Ozon) zu einer Steigerung der Jahreskosten von rund 2,8 % bzw. 12.000 EUR/a, brutto. Bei Variante 2 ist die Kostensteigerung mit 4.500 EUR/a, brutto (1,1 %) am geringsten, gefolgt von Variante 1 mit 5.700 EUR/a, brutto (1,3 %).

Die **Steigerung der Bezugskosten** um 10 % für die Aktivkohle steigert die Jahreskosten von Variante 1 um 3.700 EUR/a, brutto. Die Preissteigerung hat bei Variante 2 mit rund 16.000 EUR/a, brutto den größten Einfluss. Bei Variante 3 erhöhen sich die Jahreskosten um 4.000 EUR/a, brutto. Bei

den Jahreskosten ergeben sich damit Steigerungen von 3,6 % bei Variante 2, sowie 0,8 % und 0,9 % bei den Varianten 1 und 3.

Die **Reduzierung der Dosiermengen** um 10 % hat große Einflüsse auf die Jahreskosten. Bei Variante 1 (PAK) würden durch die Reduzierung der Aktivkohlemenge die Jahreskosten um ca. 3.600 EUR/a, brutto (-0,8 %) sinken. Bei der Variante 3 (Ozonung + Sandfilter) würde sich eine Einsparung von rund 6.700 EUR/a, brutto (-1,6 %) ergeben. Die Verlängerung der GAK-Filter-Standzeit um 10 % verringert die Jahreskosten der Variante 2 um rund 16.000 EUR/a, brutto (-3,9 %).

Zu beachten ist, dass die genauen Einsatzmengen nicht exakt vorausgesagt werden können. Sie sind abhängig vom Reinigungsziel, aber auch beispielsweise von der CSB-Fraktion im Ablauf der Nachklärung. Insbesondere bei den Ozon-Varianten können Reduzierung der Dosierungen erwartet werden.

**Tabelle 5: Prozentuale Erhöhung bzw. Senkung der Jahreskosten unter sensitiver Betrachtung der Energie- und Bezugskosten, sowie Einsatzmenge.**

Prozentuale Differenz	Variante 1	Variante 2	Variante 3
	PAK m. Rücklaufk.	GAK-Filtration	Ozonung + Sandfilter
Energiekosten (+20%)	1,26%	1,05%	2,77%
Bezugskosten (+10%)	0,81%	3,60%	0,94%
Einsatzmenge(-10%)	-0,83%	-3,88%	-1,62%



## 10 Bewertung

Neben den Kosten sind noch weitere Kriterien, wie Reinigungsleistung, Betriebssicherheit, Bildung von Abbauprodukten, Betriebs- und Wartungsaufwand, Sensitivität bei Kostensteigerungen, für die Bewertung der Varianten wichtig. In der nachfolgenden Bewertungsmatrix wurden diese Kriterien zusammengestellt und gewichtet. Die Variante mit der jeweils höchsten Punktzahl ist als Vorzugsvariante anzusehen.

**Tabelle 6: Bewertungsmatrix für die Varianten 1 bis 3**

Kriterium	Wichtung	Wertung					
		Variante 1 PAK m. Rücklaufk.		Variante 2 GAK		Variante 3 Ozonung + Sandfilter	
		Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet
Jahreskosten	0,30	4	1,2	5	1,5	5	1,5
Reinigungsleistung $P_{ges}$ /CSB (zusätz. Reduk.)	0,30	5	1,5	4	1,2	4	1,2
Bildung Nebenprodukte	0,06	5	0,3	5	0,3	3	0,18
Erfahrungen/Referenzen	0,06	5	0,3	4	0,24	4	0,24
Betriebs- und Wartungsaufwand	0,06	3	0,18	5	0,3	4	0,24
Betriebssicherheit	0,06	4	0,24	5	0,3	4	0,24
Sensitivität Kostensteigerungen	0,10	4	0,4	2	0,2	4	0,4
CO <sub>2</sub> -Bilanz	0,06	4	0,24	4	0,24	4	0,24
<b>Summe</b>	<b>1,00</b>	<b>34</b>	<b>4,36</b>	<b>34</b>	<b>4,28</b>	<b>32</b>	<b>4,24</b>

Die **Jahreskosten** werden mit einer Wichtung von 30 % eingestuft. Wie schon im **Kapitel 9.4** dargestellt, sind die Jahreskosten bei Variante 2 (GAK) und 3 (Ozonung + Sandfilter) am geringsten, bei der Varianten 1 (PAK) am teuersten. Die Varianten 2 und 3 bekommen aufgrund der geringen Kosten fünf Punkte und die Variante 1 nur 4 Punkte.

Die **Reinigungsleistung  $P_{ges}$**  und **CSB** wurde in Gescher mit 30 % gewichtet. Sehr gute Ergebnisse hat hier die Variante 1 (PAK mit RLK) in Sindelfingen für  $P_{ges}$  erzielt. Bei Variante 2 wird eine Reduktion des CSB (DOC) durch Adsorption erwartet. Variante 2 erhält hier vier Punkte. Bei Variante 3 (Ozonung mit Sandfilter) sind die zu erwartenden Effekte geringer. Daher werden für Variante 3 ebenfalls nur 4 Punkte vergeben. Allein Variante 1 erhält fünf Punkte in diesem Kriterium.

Die **Bildung von Transformationsprodukten** ist beim Einsatz von oxidativen Verfahren wie dem Ozon gegeben. In Versuchen wurde die Bildung bestätigt. Durch eine nachgeschaltete biologische Stufe können diese Produkte wieder abgebaut werden. Dies erfolgt auch in Variante 3. Um der besonderen Bedeutung dieses Punktes Rechnung zu tragen, wurde die Ozonvariante hier mit 3 Punkten bewertet. Variante 1 und 2, wo keine Abbauprodukte entstehen können, erhalten beide fünf Punkte.

Für die vorgestellten Varianten ist die Situation hinsichtlich **Erfahrungen und Referenzen** unterschiedlich. Für die Variante 1 (PAK mit Rücklaufkohle), die bislang in Baden-Württemberg bevorzugt umgesetzt wurde, liegen derzeit schon sehr gute Erfahrungen vor. Derzeit sind Anlagen bis 1.000 l/s in Betrieb. Größere sind in Planung. Daher werden hier fünf Punkte vergeben. Auch für die Ozonung liegen schon einige Erfahrungen aus Referenzanlagen vor (z. B. Regensdorf, Duisburg-Vierlingen, Bad Sassendorf). Insgesamt ist die Referenz- und Erfahrungslage jedoch geringer als bei der PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle. Daher werden vier Punkte vergeben. Für die GAK-Filtration liegen Er-

fahrungen aus großtechnischen Versuchen vor. Deshalb werden an diese Variante ebenfalls 4 Punkte vergeben.

Der **Betriebs- und Wartungsaufwand** ist für den Betrieb der Kläranlage ein wichtiger Punkt. Hier wurde die GAK-Filtration mit fünf Punkten am besten bewertet. Vier Punkte wurden an die Variante 3 vergeben. Die Ozonung stellt aufgrund der Komplexität der Erzeugungsanlage schon einen besonderen Betriebspunkt auf der Kläranlage dar. Die Variante 1 (PAK mit Rücklaufkohle) wurde mit drei Punkten schlechter eingestuft. Der Betriebsaufwand ist größer als bei der GAK-Filtration und der Ozonung. Die Erfahrungen zeigen jedoch, dass die Dosierung von Pulveraktivkohle mit hoher Genauigkeit und vertretbarem Betriebsaufwand erfolgen kann.

Beim Punkt **Betriebssicherheit** wird das Verhalten des Verfahrens beim Ausfall eines Aggregates bewertet, auch inwieweit durch redundante Anlagenteile ein Weiterbetrieb und die Einhaltung der Reinigungsziele möglich sind. Die Auswirkungen auf weitere Anlagenteile werden in die Beurteilung einbezogen. Die höchste Betriebssicherheit (5 Punkte) weist die GAK-Filtration auf. Die Anlage ist sehr stabil zu betreiben. Weiterhin ist keine Dosierung erforderlich. Mit vier Punkten wird Variante 1 bewertet. Aufgrund der verschiedenen Aggregate und Pumpen, die für die Dosierung von PAK, Me-Salzen und Flockungshilfsmittel sowie die Rücklaufkohleförderungen erforderlich sind, wird die Betriebssicherheit etwas schlechter als bei der GAK-Filtration bewertet. Bei Ausfall der PAK-Dosierung erfolgt weiterhin die Spurenstoffelimination, da durch den Rücklaufstrom der Zulauf weiterhin mit Aktivkohle behandelt wird. Die Variante 3 (Ozonung) wird ebenfalls mit vier Punkten bewertet.

Die **Sensitivität** gegenüber **Kostensteigerungen** bei den Betriebsmitteln ist über die Laufzeit der Anlage zu betrachten, wie schon im **Abschnitt 9.6** dargestellt. Hier zeigt die Variante 1 (PAK mit Rückführung) die geringsten Einflüsse auf Kostensteigerungen. Sie wird daher mit 4 Punkten bewertet. Die Variante 3 folgt und erhält ebenfalls 4 Punkte, da die Abweichungen gering sind. Die Variante 2 reagiert am empfindlichsten auf Kostensteigerungen. Deshalb werden hier zwei Punkte vergeben.

In letzter Zeit ist die **Nachhaltigkeit (CO<sub>2</sub>-Emissionen)** von Verfahren gerade auch bei der 4. Reinigungsstufe immer stärker in den Fokus gerückt. Die Bewertung ist derzeit noch schwierig, da entsprechend weitreichende Untersuchungen noch nicht abgeschlossen sind. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt kann noch keine eindeutige Bewertung abgegeben werden (Palmowski u. a. 2011). Vor diesem Hintergrund werden alle Verfahren mit vier Punkten bewertet.

In der **Summe** schneidet Variante 1 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung) mit 4,36 Punkten am besten ab. Gefolgt von Variante 2 (GAK-Filtration) mit 4,28 Punkten. Die Variante 3 (Ozonung + Sandfilter) hat mit 4,24 Punkten die niedrigste Bewertung.

## 11 Zusammenfassung

Im Rahmen der Studie zur Ertüchtigung und Erweiterung der Kläranlage Gescher-Harwick in Bezug auf die Elimination von anthropogenen Spurenstoffen (4. Reinigungsstufe) wurden folgende vier Verfahrensvarianten untersucht, die mit dem Auftraggeber abgestimmt wurden:

**Variante 1:** Pulverkohledosierung mit Rücklaufkohle,

**Variante 2:** GAK-Filtration,

**Variante 3:** Ozonung mit nachgeschaltetem Sandfilter.

Die Screening-Ergebnisse zeigten, dass die Konzentrationen der untersuchten Spurenstoffe im Ablauf der Kläranlage Gescher sich mit Werten aus der Literatur und anderen Kläranlagen vergleichen lassen.

Die ausgewählten Varianten wurden auf ihre Umsetzbarkeit geprüft und zeichnerisch in Lageplanausschnitten dargestellt. Basierend auf den Abschätzungen der Betriebs- und Investitionskosten wurden die Jahreskosten ermittelt. Die Bewertung der einzelnen Varianten erfolgte anhand einer Entscheidungsmatrix, in der neben den Jahreskosten noch weitere Kriterien berücksichtigt wurden. Maximal konnte eine Punktzahl von 5 Punkten erreicht werden.

Die höchste Punktzahl erreicht Variante 1 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle) mit 4,36 Punkten; Variante 2 (GAK-Filtration) kommt auf den zweiten Platz mit 4,28 Punkten. Die Ozonung mit nachgeschaltetem Sandfilter (Variante 3) liegt mit 4,24 Punkten auf dem dritten Platz.

Bei den Jahreskosten liegt Variante 3 (Ozonung + Sandfilter) mit 424.000 EUR/a, brutto vorn, gefolgt von Variante 2 (GAK) mit 426.000 EUR/a, brutto. Die Varianten 1 (PAK mit RLK) liegt mit 448.000 EUR/a, brutto auf dem dritten Platz.

Variante 1 (PAK mit Rücklaufkohle) lag in der Bewertungsmatrix auf dem ersten Rang. Sie stellt das derzeit verbreitetste Verfahren zur Spurenstoffelimination dar (in Baden-Württemberg derzeit sieben Anlagen in Betrieb, weitere in Planung und Bau). Neben der Pulverkohle wird in diesem Verfahren noch Flockungs- und Flockungshilfsmittel dosiert. Auf der einen Seite führt dies zu einem erhöhten Betriebsaufwand, auf der anderen Seite kann damit auch direkt auf eine Veränderung der Rohwasserbeschaffenheit bzw. der Ablaufziele reagiert werden. Die Erfahrungen aus Baden-Württemberg zeigen, dass ein sehr sicherer Betrieb möglich ist.

Durch die Rückführung der Aktivkohle ist eine sehr gute Nutzung der Adsorptionskapazität der Kohle gegeben. Dadurch reduziert sich insgesamt der benötigte Kohlebedarf. Das Verfahren reagiert damit auf Preisschwankungen bei der Aktivkohle weniger sensitiv. Das Verfahren führt neben der Spurenstoffelimination noch zu einer deutlichen Reduzierung bei den Parametern CSB und  $P_{ges}$ . Gegenüber den anderen Verfahren ist der Einfluss hier höher zu bewerten.

Bei der PAK-Dosierung ist der zusätzliche Schlammfall im Vergleich zu den anderen Verfahren erhöht. Der Schlamm enthält neben der Kohle noch Fällprodukte und Organik. Der Energiebedarf liegt im Vergleich zu den Ozonverfahren auf einem unteren Niveau.

Die GAK-Filtration (Variante 2) weist hohe verbrauchsgebundene Kosten auf. Für dieses Verfahren sprechen die hohe Betriebssicherheit und der vergleichsweise niedrige Betriebsaufwand. Die relativ geringe prognostizierte Standzeit der Aktivkohle im Filter führt zu den hohen Verbrauchskosten. Die GAK-Filtration ist gegenüber Kostensteigerungen bei den Verbrauchsmaterialien am anfälligsten. Der Energiebedarf liegt, wie auch bei Variante 1, auf einem niedrigen Niveau.

Bei Variante 2 ist grundsätzlich neben dem beschriebenen Einsatz von Frischkohlen bzw. reaktivierten Kohlen auch der Einsatz von vorbeladenen Kohlen aus der Trinkwasseraufbereitung möglich. Das Konzentrationsniveau der Spurenstoffe ist in der Trinkwasseraufbereitung i. d. R. niedriger als im Abwasserbereich, sodass diese Kohlen in der vierten Reinigungsstufe weiterbeladen werden könnten. Die Eignung sollte vor dem Einsatz in jedem Fall durch Versuche bzw. eine Pilotierung untersucht werden. In Abhängigkeit von den erreichbaren Standzeiten dieser Kohlen ist dann die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes zu bewerten.

Die Ozonung mit nachgeschaltetem Sandfilter (Variante 3) lag in der Bewertungsmatrix auf dem dritten Platz. Die Jahreskosten dieses Verfahrens sind stark von der angewandten Ozondosis abhängig. In der Berechnung wurde derzeit von einer vergleichsweise hohen Dosis ausgegangen. Sollte sich diese Annahme bestätigen oder noch geringere Dosen möglich sein, so wird dieses Verfahren wirtschaftlich interessanter. Die weiteren Forschungsergebnisse hinsichtlich der Bildung von Transferprodukten sollten in die Entscheidungsfindung einfließen. Der Einsatz von Ozon bedingt einen hohen Energiebedarf auf der Kläranlage für die Erzeugung des Ozons. Damit reagieren die Ozonvarianten generell sensitiver auf Kostensteigerungen beim Strombezug.

Die TUTTAHS & MEYER Ing.-GmbH empfiehlt Variante 1 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung) und 2 (GAK-Filtration) für weitere Untersuchungen auf der Kläranlage Gescher-Harwick zu berücksichtigen.

## Literaturverzeichnis

### **Abegglen u. a. 2009**

*Abegglen, C.; Escher, B.; Hollender, J.; Koepke, S.; Ort, C.; Peter, A.; Siegrist, H.; von Gunten, U.; Zimmermann, S.; Koch, M.; Niederhauser, P.; Schärer, M.; Braun, C.; Gälli, R.; Junghans, M.; Brocker, S.; Moser, R.; Rensch, D.*: Ozonung von gereinigtem Abwasser – Schlussbericht Pilotversuch Regensdorf; Studie der Eawag im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (CH), 2009, Download unter: [www.eawag.ch/medien/bulletin/20090616/schlussbericht.pdf](http://www.eawag.ch/medien/bulletin/20090616/schlussbericht.pdf).

### **ATV-A 203**

*DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.*: ATV-Arbeitsblatt A 203/Abwasserfiltration durch Raumfilter nach biologischer Reinigung, April 1995.

### **Bornemann u. a. 2012**

*Bornemann, C.; Hachenberg, M.; Kazner, C.; Herr, J.; Jagemann, P.; Lyko, S.; Benstöm, F.; Montag, D.; Platz, S.; Wett, M.; Kaub, J. M.; Kolisch, G.; Osthoff, T.; Rolfs, T.; Stepkes, H.*: Teilprojekt 5: Er-tüchtigung kommunaler Kläranlagen, insbesondere kommunaler Flockungsfiltrationsanlagen durch den Einsatz von Aktivkohle. Abschlussbericht, gerichtet an das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2012.

### **Breitbach u. Bathen 2001**

*Breitbach, Marc; Bathen, Dieter*: Adsorptionstechnik. 1. Auflage. Springer-Verlag, 2001. – ISBN 9783540419082.

### **Cooney 1998**

*Cooney, D. O.*: Adsorption Design for Wastewater Treatment. 1. Auflage. CRC, 1998. – ISBN 9781566703338

### **DVGW W 239**

DVGW W 239 (A) März 2011. Entfernung organischer Stoffe bei der Trinkwasseraufbereitung durch Adsorption an Aktivkohle.

### **DWA 2008**

*Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hrsg.)*: Anthropogene Spurenstoffe im Wasserkreislauf – Arzneistoffe. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, 5/2008 (DWA-Themen). – ISBN 9783940173744.

### **Grünebaum u. a. 2012**

*Grünebaum, T.; Herbst, H.; Keysers, C.; Lyko, S.; Türk, J.*: Mikroschadstoffelimination mit Ozon: Beispiele für Kläranlagen; Vortrag auf dem 2. Fachsymposium Mikroschadstoffe. NRW 2012; Elimination von Mikroschadstoffen, Keimen und Bakterien in kommunalen Kläranlagen am 21.06.2012 in Düsseldorf.

### **Gujer 1999**

*Gujer, Willi*: Siedlungswasserwirtschaft. 1. Auflage. Springer-Verlag, 1999.

**Herbst u. a. 2011**

*Herbst, H.; Kaufmann, M.; Türk, J.; Launer, M.:* Abwasser ozonierung Kläranlage Duisburg-Vierlinden – Auslegung – Bau – erste Betriebsergebnisse. In Innovation und Flexibilität – Systemoptimierung und Systemerweiterung; Tagungsband der 25. Karlsruher Flockungstage 2011, Schriftenreihe SWW (Bd. 141), Verlag Siedlungswasserwirtschaft Karlsruhe, ISBN 978-3-9813069-4-1.

**Joss u. a. 2005**

*Joss, Adriano; Keller, Elvira; Alder, Alfredo C.; Göbel, Anke; McArdell, Christa S.; Ternes, Thomas; Siegrist, Hansruedi:* Removal of pharmaceuticals and fragrances in biological wastewater treatment. In: Water Res 39 (2005), Sep, Nr. 14, S. 3139–3152.

**Kompetenzzentrum Spurenstoffe BW 2013**

<http://www.koms-bw.de>, Abruf: 01.09.2013

**Kümmel u. Worch 1990**

*Kümmel, R.; Worch, E.:* Adsorption aus wässrigen Lösungen. 1. Auflage. VEB Dt. Verl. für Grundstoff-industrie, 1990.

**Meyer 1979**

*MEYER, Hermann:* Untersuchung zur weitergehenden Reinigung biologisch gereinigten Abwassers – Die praktische Anwendung der Abwasserfiltration und ihre Bedeutung in der Abwassertechnologie; Schriftenreihe GWA, Bd. 35, 1979.

**Meyer 2008**

*MEYER, Hermann:* Abwasserreinigung – Qua vadis?, in GWF Wasser, Abwasser, 149, Nr. 4, 2008.

**MUNLV 2004**

*MUNLV NRW:* Untersuchung zum Eintrag und zur Elimination von gefährlichen Stoffen in kommunalen Kläranlagen. 2004 – Forschungsbericht.

**Nahrstedt u. a. 2011**

*Nahrstedt, A.; Alt, K.; Barnscheidt, I.; Fritzsche, J.; Sürder, T.; Burbaum, H.; Klak, A.:* CSB- und Spurenstoffelimination am Aktivkohlefestbettfilter. Abschlussbericht, gerichtet an das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2011.

**Palmowski u. a. 2011**

*Palmowski, L.; Veltmann, K.; Mousel, D.; Mauer, C.; Simsheuser, C.; Schmitz, U.; Eckers, S.; Jagemann, P.; Thöle, D.; Riße, H.; Gredugk-Hoffmann:* Energiebedarf von Verfahren zur Elimination von organischen Spurenstoffen – Phase I. Abschlussbericht, gerichtet an das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2011.

**Pinnekamp u. a. 2010**

*Pinnekamp, Johannes; Keyers, Christoph; Montag, David; Veltmann, Karin:* Elimination von Mikro-schadstoffen – Stand der Wissenschaft. In: Gewässerschutz – Wasser – Abwasser (GWA) 220 (2010), S. 28/1 – 28/21.

**Schröder und Grömping 2013**

*Schröder, Karl-Heinz; Grömping, Markus:* Einsatz von Aktivkohle auf der Kläranlage Gütersloh-Putzhagen, Vortrag auf dem DWA-Praxisseminar „Strategien zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen“ am 2. Juli 2013 in Gütersloh, Juli 2013.

**Schwentner u. a. 2013a**

*Schwentner, G; Kremp, W.; Mauritz, A; Hein, A.; Metzger, S; Rössler, A.:* Kosten in der weitergehenden Abwasserreinigung mit PAK – Teil 1, in *Wasserwirtschaft – Wassertechnik (wwt)*, 63, Nr. 4, 2013.

**Schwentner u. a. 2013b**

*Schwentner, G; Kremp, W.; Mauritz, A; Hein, A; Metzger, S; Rössler, A.:* Kosten in der weitergehenden Abwasserreinigung mit PAK – Teil 2, in *Wasserwirtschaft – Wassertechnik (wwt)*, 63, Nr. 5, 2013.

**Siegrist 2013**

*Siegrist, H.-R.:* *Energieverbrauch für die weitergehende Spurenstoffelimination – Maßnahmen zur Reduktion*, in: *Schriftreihe Siedlungswasserwirtschaft Bochum*, Band 65, 31. Bochumer Workshop, Klimaschutz und Energiewende – Welchen Beitrag liefert der Abwassersektor?, 2013

**Sontheimer u. a. 1985**

Sontheimer, H.; Frick, B.; Fettig, J.; Hörner, G.; Hubele, C.; Zimmer, G.: Adsorptionsverfahren zur Wasserreinigung. DVGW Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut der Universität Karlsruhe (TH), 1985.

**Ternes u. a. 2003**

*Ternes, T. A.; Stüber, J.; Herrmann, N.; McDowell, D.; Ried, A.; Kampmann, M.; Teiser, B.:* Ozonation: A tool for removal of pharmaceuticals contrast media and musk fragrances from wastewater?, *Water Research*, 37, 1976 – 1982, 2003.

**Worch 1997**

*Worch, E.:* *Wasser- und Wasserinhaltsstoffe – eine Einführung in die Hydrochemie*. Teubner-Verlag, Stuttgart-Leipzig, 205 S, 1997.

**Worch 2004**

*Worch, E.:* Vorlesungsunterlagen, Technische Universität Dresden, 2004.

## Anlagen



**Anlage 1:  
Auslegung  
Varianten 1 bis 3**

**KA Gescher****Projekt:****Studie 4. Reinigungsstufe****Projekt-Nr.:****0270 029 Eingangsdaten****Variante:****Auslegungsdaten Hydraulik**

<i>Gesamtzulauf Kläranlage</i>			
Max. TW-Zufluss (mit Fremdwasser)	Q <sub>t</sub>	105,00 l/s	
		378 m <sup>3</sup> /h	
Maximaler Wasserzufluss	Q <sub>m</sub>	210,00 l/s	
		756 m <sup>3</sup> /h	
<i>Teilstrombehandlung (4. Reinigungsstufe)</i>			
Min. Volumenstrom für Teilstrombehandlung	Q <sub>Teil,min</sub>	50 m <sup>3</sup> /h	Auswert.
Max. Volumenstrom für Teilstrombehandlung	Q <sub>Teil,max</sub>	450 m <sup>3</sup> /h	Auswert.
		125 l/s	
Behandelte Abwassermenge im Teilstrom	Q <sub>Teil,a</sub>	2.057.862 m <sup>3</sup> /a	Auswert.
Behandelte Teilstrommenge pro Tag	Q <sub>Teil,d</sub>	5.638 m <sup>3</sup> /d	

Eingabefelder

Berechnungsfelder

**KA Gescher****Projekt:****Studie 4. Reinigungsstufe****Projekt-Nr.:****0270 029****Variante:****PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung****Auslegungsdaten Hydraulik**

<i>Gesamtzulauf Kläranlage</i>		
Max. TW-Zufluss (mit Fremdwasser)	Q <sub>t</sub>	105,00 l/s 378 m <sup>3</sup> /h
Maximaler Wasserzufluss (Trennsystem)	Q <sub>m</sub>	210,00 l/s 756 m <sup>3</sup> /h
<i>Teilstrombehandlung (4. Reinigungsstufe)</i>		
Min. Volumenstrom für Teilstrombehandlung	Q <sub>Teil,min</sub>	50 m <sup>3</sup> /h
Max. Volumenstrom für Teilstrombehandlung	Q <sub>Teil,max</sub>	450 m <sup>3</sup> /h 125 l/s
Behandelte Abwassermenge im Teilstrom	Q <sub>Teil,a</sub>	2.057.862 m <sup>3</sup> /a
Behandelte Teilstrommenge pro Tag	Q <sub>Teil,d</sub>	5.638 m <sup>3</sup> /d

**Auslegung Zwischenhebewerk**

<i>Vorgaben</i>		
Volumenstrom, gesamt	Q <sub>Teil,max</sub>	450 m <sup>3</sup> /h
Anzahl Straßen	n <sub>Str</sub>	1
Volumenstrom, je Straße	Q <sub>Teil,max,Str</sub>	450 m <sup>3</sup> /h
Förderhöhe, abgeschätzt, zusätzlich	h <sub>gesch</sub>	4,0 m
spez. Energiebedarf		7 Wh/(m <sup>3</sup> ·m)
<i>Bemessung</i>		
Energiebedarf		57.620 kWh/a

**Auslegung Kontaktbecken**

<i>Vorgaben</i>		
Aufenthaltszeit (ohne Berücksichtigung RLK)	t <sub>a,min</sub>	30 min
<i>Bemessung</i>		
erforderliches Gesamtvolumen KB	V <sub>KB,erf,ges</sub>	225 m <sup>3</sup>
Anzahl Becken	n <sub>KB,ist</sub>	2
Kantenlänge Becken	l <sub>KB,ist</sub>	5,80 m
Höhe Wasserspiegel	h <sub>WS,KB,ist</sub>	3,40 m
Volumen eines KB	V <sub>KB,ist,n</sub>	114 m <sup>3</sup>
Gesamtvolumen KB	V <sub>KB,ist,ges</sub>	228 m <sup>3</sup>
<i>Nachweise bezogen auf Q<sub>Teil,max</sub></i>		
Aufenthaltszeit (ohne Berücksichtigung RLK)	t <sub>a,ist</sub>	30,40 min

**Auslegung Rührwerk Kontaktbecken**

<i>Vorgaben</i>		
Energieeintrag		8,00 W/m <sup>3</sup>
Anzahl Rührwerke, insgesamt	n_RW	2
Laufzeit, anteilig		24 h/d
<i>Bemessung</i>		
Leistungsbedarf	P_RW,KB	0,91 kW
Energiebedarf Rührwerke		44 kWh/d

**Auslegung Rücklaufkohlepumpwerk**

<i>Vorgaben</i>		
Rückführverhältnis	RV	1,00
Förderhöhe, abgeschätzt	h_gesch	0,5 m
spez. Energiebedarf		8 Wh/(m <sup>3</sup> ·m)
<i>Bemessung</i>		
Volumenstrom Rücklaufkohle	Q_RLK	450 m <sup>3</sup> /h
Energiebedarf		8.231 kWh/a

**Auslegung Überschussschleimabnahme**

<i>Vorgaben</i>		
TS-Gehalt Schlamm		8,00 kg/m <sup>3</sup>
Tagesschlammmenge	V_ÜS	23,40 kg/m <sup>3</sup>
angenommene Laufzeit		5,00 h/d
Förderhöhe, abgeschätzt	h_gesch	2,00 m
spez. Energiebedarf		8 Wh/(m <sup>3</sup> ·m)
<i>Bemessung</i>		
berechnete Fördermenge	Q_ber	23,40 m <sup>3</sup> /d
Gewählte Fördermenge	Q_gew	23,40 m <sup>3</sup> /d
Energiebedarf		137 kWh/a

**Pulverkohledosierung**

<i>Vorgaben</i>		
min. Dosierkonzentration	c_PAK,min	5,0 g/m <sup>3</sup>
max. Dosierkonzentration	c_PAK,max	20,0 g/m <sup>3</sup>
max. Dosierung		10,0 kg/h
<i>gewählte Dosiersysteme</i>		
1 Dosiergerät, (Ger. 1)	m•_Dos,Ger_1	5,0 kg/h
1 Dosiergerät, (Ger. 2)	m•_Dos,Ger_2	2,5 kg/h
Regelbereich je Dosiergerät		1/10
min. c_PAK bei Q_Str,min (Ger. 1)		10 g/m <sup>3</sup>
max. c_PAK bei Q_Str,max (Ger. 1)		11 g/m <sup>3</sup>
min c_PAK bei Q_Str,min (Ger. 2)		5 g/m <sup>3</sup>
max c_PAK bei Q_Str,max (Ger. 2)		6 g/m <sup>3</sup>
<i>PAK-Bedarf</i>		
mittlere PAK-Dosierkonzentration im Jahr	c_PAK,a	10,0 g/m <sup>3</sup>
Tagesbedarf	m_PAK,d	56 kg/d
Jahresbedarf	m_PAK,a	21 Mg/a
<i>PAK-Silo</i>		
gewähltes Silo-Volumen	V_Silo	80 m <sup>3</sup>
Nutzvolumen	V_Silo,Nutz	26 m <sup>3</sup>
Lagerungsdichte PAK	rho_B,PAK	400 kg/m <sup>3</sup>
Masse PAK, nutzbar	m_PAK,nutz	11 Mg
Intervall Nachfüllung Silo		0,5 a

**Pumpen Treibwasser für PAK-Dosierung**

<i>Vorgaben</i>		
Anzahl Dosiergeräte mit Treibstahlpumpen	n_DG	1
Volumenstrom je Dosiergerät	Q_Treib,DG	5 m <sup>3</sup> /h
Volumenstrom Treibwasser, gesamt	Q_Treib,ges	5 m <sup>3</sup> /h
Förderhöhe, abgeschätzt (incl. Verluste)	h_gesch	55 m
spez. Energiebedarf		7 Wh/(m <sup>3</sup> ·m)
Laufzeit, anteilig		24 h/d
<i>Bemessung</i>		
Energiebedarf		16.863 kWh/a

**Flockungsmitteldosierung (Me-Salze), gewählt: Fe(III)-Chlorid**

<i>Vorgaben</i>		
min. Dosierkonzentration	c_Me,min	2,0 g/m <sup>3</sup>
max. Dosierkonzentration	c_Me,max	8,0 g/m <sup>3</sup>
mittlere Dosierkonzentration im Jahr	c_Me,a	4,0 g/m <sup>3</sup>
WS-Gehalt FeCl im FM		0,138 kg Fe/kg FM
<i>FM-Bedarf</i>		
Tagesbedarf	m_FM,d	163 kg/d
Jahresbedarf	m_FM,a	60 Mg/a
<i>FM-Tank</i>		
gewähltes Volumen	V_Tank,FM	25 m <sup>3</sup>
Nutzvolumen	V_Tank,Nutz	20 m <sup>3</sup>
Dichte FM	rho_FM	1.430 kg/m <sup>3</sup>
Masse PAK, nutzbar	m_FM,nutz	28.600 kg
Intervall Nachfüllung Tank		175 d

**Flockungshilfsmitteldosierung**

<i>Vorgaben</i>		
min. Dosierkonzentration	c_Me,min	0,1 g/m <sup>3</sup>
max. Dosierkonzentration	c_Me,max	0,3 g/m <sup>3</sup>
mittlere Dosierkonzentration im Jahr	c_Me,a	0,2 g/m <sup>3</sup>
WS-Gehalt im FHM-Granulat		1,000 kg WS/kg Gr.
<i>FHM-Bedarf</i>		
Tagesbedarf	m_FM,d	1,1 kg/d
Jahresbedarf	m_FM,a	0,41 Mg/a

**Auslegung Tuchfiltration**

<b>Vorgaben</b>		
Filtergeschwindigkeit, maximal	v_F,max	8 m/h
Feststoffflächenbelastung	BA,max	0,200 kg/(m <sup>2</sup> ·h)
max. xTS-Konzentration im Zulauf	xTS.max,zu	25 mg/l
<b>Bemessung</b>		
erforderliche Filterfläche, gesamt nach V_F,max	A_F,erf,ges,vF	56 m <sup>2</sup>
erforderliche Filterfläche, gesamt nach BA,max	A_F,erf,ges,BA	56 m <sup>2</sup>
Anzahl Filterstraßen	n_Filt,ist	2
<i>gewählter Filtertyp (Beispielfabrikat)</i>		
Anzahl Scheiben je Filter	n_Scheiben	15
Filterfläche je Filter	A_F,ist,Str	30 m <sup>2</sup>
Filterfläche, gesamt	A_F,ist,ges	60 m <sup>2</sup>
<b>Nachweise bezogen auf Q_Teil,max</b>		
Filtergeschwindigkeit, maximal	v_F,ist,max	7,50 m/h
Feststoffflächenbelastung, maximal	BA,ist,max	0,188 kg/(m <sup>2</sup> ·h)
<b>Spülwasseranfall und -förderung</b>		
spez. Spülwasseranfall bezogen auf Filtratmenge		2%
Schlammwasseranfall pro Tag	V_Schlammwas,d	113 m <sup>3</sup> /d
Schlammwasseranfall pro Jahr	V_Schlammwas,a	41.157 m <sup>3</sup> /a
Förderhöhe, abgeschätzt (incl. Verluste)	h_gesch	7 m
spez. Energiebedarf		7 Wh/(m <sup>3</sup> ·m)
Energiebedarf		6 kWh/d
		2.017 kWh/a

**Legende**

Eingabefelder
Berechnungsfelder

**KA Gescher**

**Projekt:** Studie 4. Reinigungsstufe  
**Projekt-Nr.:** 0270 029  
**Variante:** PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung

**Bemessung Absetzbecken**

Beckentyp		Rundbecken
Schlammräumung (Schildräumung/Saugräumung)		Schildräumung
Durchströmung (vertikal/horizontal)		horizontal
Anzahl der Becken	n	1 Stück
Innendurchmesser Becken	$D_i$	22,00 m
Außendurchmesser Becken	$D_A$	22,80 m
Außendurchmesser Königstuhl	$D_{KS,a}$	3,60 m
Oberfläche	A	370 m <sup>2</sup>
Beckentiefe im 2/3-Punkt	$h_{2/3} = h_{ges}$	2,90 m
Beckenrandtiefe	$h_{Rand}$	2,70 m
Neigung der Sohle	$l_s$	0,07
Beckenvolumen	$V_{Sed}$	1.073 m <sup>3</sup>

**Festlegung der Bemessungsdaten**

Max. Zulauf	$Q_{max}$	450 m <sup>3</sup> /h
		125 l/s
Rücklaufverhältnis	RV	1,00
Min. Aufenthaltszeit Sedimentation	$t_{v,Sed, min}$	2,00 h
max. Oberflächenbeschickung	$q_{a,max}$	1,8 m/h
Schlammvolumen	ISV	100,0 ml/g
TS-Gehalt im Kontaktbecken	TS	4,0 g/l

**Nachweis Flächenbeschickung und Aufenthaltszeit**

Flächenbeschickung	$q_A$	$Q_{max}/A =$	1,20 m/h
Aufenthaltszeit	$t_{v,sed}$	$V_{Sed}/Q_{max} =$	2,38 h

**Legende**

Eingabefelder

Berechnungsfelder



## KA Gescher-Harwick

**Projekt:** Studie 4. Reinigungsstufe  
**Projekt-Nr.:** 0270 029  
**Variante:** GAK-Filtration

### Auslegungsdaten Hydraulik

<i>Gesamtzulauf Kläranlage</i>		
Max. TW-Zufluss (mit Fremdwasser)	Q <sub>t</sub>	105,00 l/s 378,00 m <sup>3</sup> /h
Maximaler Wasserzufluss (Trennsystem)	Q <sub>m</sub>	210,00 l/s 756,00 m <sup>3</sup> /h
<i>Teilstrombehandlung (4. Reinigungsstufe)</i>		
Max. Volumenstrom für Teilstrombehandlung	Q <sub>Teil,max</sub>	450 m <sup>3</sup> /h 125 l/s
Behandelte Abwassermenge im Teilstrom	Q <sub>Teil,a</sub>	2.057.862 m <sup>3</sup> /a
Behandelte Teilstrommenge pro Tag	Q <sub>Teil,d</sub>	5.638 m <sup>3</sup> /d

### Auslegung Zwischenhebewerk

<i>Vorgaben</i>		
Volumenstrom, gesamt	Q <sub>Teil,max</sub>	450 m <sup>3</sup> /h
Anzahl Straßen	n <sub>Str</sub>	1
Volumenstrom, je Straße	Q <sub>Teil,max,Str</sub>	450 m <sup>3</sup> /h
Förderhöhe, abgeschätzt, zusätzlich	h <sub>gesch</sub>	4,5 m
spez. Energiebedarf		7 Wh/(m <sup>3</sup> ·m)
<i>Bemessung</i>		
Energiebedarf		64.823 kWh/a

### Auslegung GAK-Filter

<i>Vorgaben</i>		
Leerbettkontaktzeit (Bereich)	EBCT	10...30 min
Leerbettkontaktzeit, gewählt	EBCT, gew	30 min
Filtergeschwindigkeit (Bereich)	v <sub>F</sub>	5...20 m/h
Filtergeschwindigkeit, gewählt	v <sub>F,gew</sub>	5,00 m/h
Filterbetthöhe GAK (Bereich)		1,5...3,0 m
Filterbetthöhe GAK, gewählt	h <sub>GAK,gew</sub>	2,50 m
Gesamthöhe Filteraufbau	h <sub>Filter,ges</sub>	2,80 m
Anzahl Filter	n <sub>Filter</sub>	6
Schüttdichte GAK	rho <sub>Schütt</sub>	400 kg/m <sup>3</sup>
<i>Bemessung Filter</i>		
erforderliches Leerbettvol., ber. über EBCTgew	V <sub>GAK</sub>	225 m <sup>3</sup>
erforderliche Filterfläche, ber. über EBCTgew	A <sub>Filter,erf</sub>	90,00 m <sup>2</sup>
Fläche Filter, berechnet	A <sub>Filter,erf,n</sub>	15,00 m <sup>2</sup>
Länge Filter, gewählt	l <sub>Filter,gew</sub>	5,00 m
Bereite Filter, gewählt	b <sub>Filter,gew</sub>	3,00 m
Filterfläche, gewählt je Filter	A <sub>Filter,gew</sub>	15,00 m <sup>2</sup>
Filterfläche, gewählt, gesamt	A <sub>Filter,ges</sub>	90,00 m <sup>2</sup>
Leerbettvolumen, gewählt, gesamt	V <sub>GAK,ges</sub>	225,00 m <sup>3</sup>
Masse GAK, gesamt	M <sub>GAK,ges</sub>	90,00 Mg
<i>Nachweise bezogen auf Q<sub>Teil,max</sub></i>		
Filtergeschwindigkeit	v <sub>F,ist</sub>	5,00 m/h
Filtergeschwindigkeit, bei (n-1) Filter	v <sub>F,ist,n-1</sub>	6,00 m/h
tatsächliche Kontaktzeit im Filterbett	EBCT, ist	30,00 min
Kontaktzeit bei (n-1) Filter	EBCT,ist,n-1	25,00 min
Verlusthöhe	hf	1,29 m

### Auslegung Spülwasserpumpe

<i>Vorgaben</i>		
Spülgeschwindigkeit (Bereich)	v_Spül,W	25...35 m/h
Spülgeschwindigkeit gewählt	v_Spül_W,gew	30 m/h
<i>Bemessung</i>		
Volumenstrom Spülwasser	Q_Spül,W	450 m³/h
Volumenstrom Spülwasserpumpe, gewählt	Q_Spül,W,gew	450 m³/h

### Auslegung Spülluftgebläse

<i>Vorgaben</i>		
Spülgeschwindigkeit (Bereich)	v_Spül,L	60...80 m/h
Spülgeschwindigkeit gewählt	v_Spül_L,gew	70 m/h
<i>Bemessung</i>		
Volumenstrom Spülluft	Q_Spül,L	1050 m³/h
Volumenstrom Spülluftgebläse, gewählt	Q_Spül,L,gew	1050 m³/h

### Rückspülregime

<i>Vorgaben</i>		
Spülintervall, gewählt		24 h
		7 /Woche
Spülprogramm		
Luftspülung	t_Spül,L,gew	90 s
		1,5 min
Wasserspülung	t_Spül,L,gew	300 s
		5,0 min
<i>Berechnung</i>		
Spülwasserbedarf pro Spülung (rechnerisch)		38 m³/Spül.
Spülwasserbedarf (rechnerisch)		1575 m³/Wo.
		225 m³/d
Spülwasserspeicher (Gewählt)	V_Spülsp,GAK	100 m³
Energiebedarf je Spülung (mit RF Schlammwasser)		16,97 kWh
Bedarf Spülluftgebläse		16,97 kWh
Bedarf Spülwasserpumpen		0,00 kWh
Bedarf Schlammwasserförderungen		0,00 kWh
Energiebedarf pro Woche		713 kWh/Wo
Energiebedarf pro Jahr		37065,93 kWh/a
Bedarf Spülluftgebläse		37065,93 kWh/a
Bedarf Spülwasserpumpen		0,00 kWh/a
Bedarf Schlammwasserförderungen		0,00 kWh/a

### Filterlaufzeit/GAK-Bedarf

Berechnung über ausgetauschte Bettvolumina		
Bettvolumina bis Durchbruch (Bereich)		5.000...30.000
Bettvolumina bis Durchbruch	BVgew	8.000
Standzeit Füllung GAK	t_Stand	319 d
Jahresbedarf GAK (rechnerisch), Volumen	V_GAK,a	257,2 m³/a
Jahresbedarf GAK (rechnerisch), Masse	M_GAK,a	102,89 Mg/a

### Legende

Eingabefelder
Berechnungsfelder

**KA Gescher****Projekt:****Studie 4. Reinigungsstufe****Projekt-Nr.:****0270 029****Variante:****Ozon mit nachgeschaltetem Filter****Auslegungsdaten Hydraulik**

<i>Gesamtzufluss Kläranlage</i>		
Max. TW-Zufluss (mit Fremdwasser)	Q_t	105,00 l/s 378,00 m <sup>3</sup> /h
Maximaler Wasserzufluss (Trennsystem)	Q_m	210,00 l/s 756,00 m <sup>3</sup> /h
<i>Teilstrombehandlung (4. Reinigungsstufe)</i>		
Max. Volumenstrom für Teilstrombehandlung	Q_Teil,max	450 m <sup>3</sup> /h 125 l/s
Behandelte Abwassermenge im Teilstrom	Q_Teil,a	2.057.862 m <sup>3</sup> /a
Behandelte Teilstrommenge pro Tag	Q_Teil,d	5.638 m <sup>3</sup> /d

**Auslegung Zwischenhebewerk**

<i>Vorgaben</i>		
Volumenstrom, gesamt	Q_Teil,max	450 m <sup>3</sup> /h
Anzahl Straßen	n_Str	2
Volumenstrom, je Straße	Q_Teil,max,Str	225 m <sup>3</sup> /h
Förderhöhe, abgeschätzt, zusätzlich	h_gesch	5,0 m
spez. Energiebedarf		7 Wh/(m <sup>3</sup> ·m)
<i>Bemessung</i>		
Energiebedarf		72.025 kWh/a

**Auslegung Kontaktreaktor Ozon**

<i>Vorgaben</i>		
Kontaktzeit (Bereich)	t_KR	10...30 min
Kontaktzeit, gewählt	t_KR,ges,gew	25 min
davon im Kontaktreaktor		20 min
in der Ausgasungszone		5 min
Straßen	n_Str	2
<i>Bemessung Reaktor</i>		
erforderliches Volumen	V_KR,ges	188 m <sup>3</sup>
davon im Kontaktreaktor		150 m <sup>3</sup>
in der Ausgasungszone		38 m <sup>3</sup>
<i>Geometrie</i>		
Straßen	n_Str	2
Wasserspiegelhöhe	h_WS	6,00 m
Länge (innen)	l_KR,gew	5,80 m
Breite (innen), Straße	b_KR,gew	2,70 m
Volumen,ist,Str	V_KR,ist,Str	94 m <sup>3</sup>
Volumen,ist,ges	V_KR,ist,ges	188 m <sup>3</sup>
<i>Nachweise bezogen auf Q_Teil,max</i>		
tatsächliche Kontaktzeit im Reaktor	t_KR,ist	25,06 min
Kontaktzeit bei (n-1) Straßen	t_KR,ist,n-1	12,53 min

**Auslegung Ozonerzeuger**

<i>Vorgaben</i>			
min. Dosis	c_O3,min		2,0 g/m <sup>3</sup>
max. Dosis	c_O3,max		10,0 g/m <sup>3</sup>
mittlere Dosis im Jahr	c_O3,a		7,0 g/m <sup>3</sup>
Prozessgas für Ozonerzeugung		Sauerstoff	
spez. O3-Konzentration bez. auf Prozessgas			0,143 kgO3/Nm <sup>3</sup> O2
Dichte O2 bei Standardbedingungen	rho_O2,Norm		1,337 kgO2/m <sup>3</sup>
spez. Energiebedarf O3-Erzeugung mit Restvernicht.			9,4 kWh/kgO3
<i>Bemessung</i>			
O3-Bedarf bei max. O3-Dosis und Q_Teil,max			4,50 kg O3/h
gewählte Anlage			4,50 kg O3/h
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,d			39 kg O3/d
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,a			14.405 kg O3/a
<i>Sauerstoffbedarf</i>			
Bedarf bei max. Dosierung und Q_Teil,max			42 kg O2/h
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,d			369 kg O2/d
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,a			134.682 kg O2/a
<i>Energiebedarf</i>			
Bedarf bei max. Dosierung und Q_Teil,max			42 kWh
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,d			371 kWh/d
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,a			135.407 kWh/a

**Pumpen Kühlwasser Ozonerzeuger**

<i>Vorgaben</i>			
Volumenstrom	Q_Kühl		10 m <sup>3</sup> /h
Förderhöhe, abgeschätzt (incl. Verluste)	h_gesch		30 m
spez. Energiebedarf			7 Wh/(m <sup>3</sup> ·m)
Laufzeit, anteilig			24 h/d
<i>Bemessung</i>			
Energiebedarf			18.396 kWh/a

**Auslegung Filtration (kontinuierlich gespülter Sandfilter)**

<i>Vorgaben</i>		
AFS im Zulauf	xTS_AN	< 20 mg/l
Oberflächenbelastung		12,5 m/h
Filterfläche, erford	A_F,erf	36,0 m <sup>2</sup>
Filterfläche, gesamt	A_F,ges	40,0 m <sup>2</sup>
Anzahl Filter	n_Filter	8
Filterfläche je Filter, gewählt	A_F,n	5,0 m <sup>2</sup>
Spülwassermenge	Q_Spül,max	80,0 m <sup>3</sup> /h
Spülwassermenge im Mittel		2...3 % des Zulaufs
Spülwassermenge im Mittel gewählt		3%
Förderhöhe Schlammwasser abgeschätzt		10,00 m
spez. Energiebedarf Schlammwasserförd.		7,00 Wh/(m <sup>3</sup> ·m)
Luftbedarf maximal	Q_Luft,max	220 m <sup>3</sup> /h
Luftbedarf normal	Q_Luft,normal	60 m <sup>3</sup> /h
Luftbedarf, mittel, gew		60 m <sup>3</sup> /h
Energiebedarf Druckluft		0,11 kWh/m <sup>3</sup>
<i>Bemessung</i>		
Spülwasseranfall im Mittel pro Tag	Q_Spül,mittel,d	169 m <sup>3</sup> /d
Spülwasseranfall im Mittel pro Jahr	Q_Spül,mittel,a	61.736 m <sup>3</sup> /a
Druckluftbedarf pro Tag (mittlerer Bedarf)		1.440 m <sup>3</sup> /d
Druckluftbedarf pro Jahr (mittlerer Bedarf)		525.600 m <sup>3</sup> /a
<i>Energiebedarf</i>		
Drucklufterzeugung (ohne Adsorptionstrockner)		158 kWh/d
Drucklufterzeugung (ohne Adsorptionstrockner)		57.816 kWh/a
Schlammförderung		4.322 kWh/a

**Legende**

Eingabefelder
Berechnungsfelder

## KA Gescher

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe  
 Projekt-Nr.: 0270 029  
 Energiebedarf Varianten

Pos.	Bezeichnung		Variante 1 PAK mit Rücklaufkohle	Variante 2 GAK	Variante 3 Ozonung + Sandfilter
<b>1.0</b>	<b>Pumpen</b>	<b>kWh/a</b>	<b>88.282</b>	<b>64.823</b>	<b>94.743</b>
1.1	Beschickungspumpen	kWh/a	57.620	64.823	72.025
1.2	Rücklaufkohlepumpe	kWh/a	8.231		
1.3	Überschussskohlepumpe	kWh/a	137		
1.4	Dosierpumpen	kWh/a	5.431		
	Flockungsmittel (Me-Salze)	kW	0,1		
	Flockungshilfsmittel	kW	0,5		
	Laufzeit	h/d	24		
1.5	Spülwasserpumpe	kWh/a		0,00	
1.6	Schlammwasserpumpe	kWh/a		0,00	4.322
1.7	Treibwasser für PAK-Dosierung	kWh/a	16.863		
1.8	Kühlwasser für Ozonerzeuger	kWh/a			18.396
<b>2.0</b>	<b>Gebälse</b>	<b>kWh/a</b>		<b>37.066</b>	
2.1	Spülluftgebläse	kWh/a		37.065,93	
<b>3.0</b>	<b>Räumer</b>	<b>kWh/a</b>	<b>4.380</b>		
	Anzahl Räumer		1		
3.1	Räumer Absetzbecken	kWh/a	4.380,0		
	Antrieb	kW	0,50		
	Laufzeit	h/d	24		
<b>4.0</b>	<b>Rührwerke</b>	<b>kWh/a</b>	<b>15.978</b>		
4.1	Rührwerke Kontaktbecken	kWh/a	15.978		
<b>5.0</b>	<b>Doisiergerät PAK</b>	<b>kWh/a</b>	<b>5.782</b>		
	Anzahl Dosiergeräte		2		
5.1	Antrieb Dosierschnecke	kWh/a	2.891		
	Antrieb	kW	0,55		
	Auslastung		60%		
	Laufzeit	h/d	24		
<b>6.0</b>	<b>Ozonanlage</b>	<b>kWh/a</b>			<b>135.407</b>
6.1	Ozonerzeugung				135.407

<b>7.0</b>	<b>Tuchfilter</b>	<b>kWh/a</b>	<b>16.646</b>		
	Anzahl Filter		2		
7.1	Betrieb Filter		2.738,6		
7.1.1	Antrieb Filter	kWh/a	2.738,6		
	Antrieb	kW	1,83		
	Laufzeit	h/d	4,1		
7.2	Rückspülung Filter		5.584,5		
7.2.1	Filterabsaugpumpen	kWh/a	5.518,8		
	Antrieb	kW	1,80		
	Anzahl	n	6		
	Laufzeit	h/d	1,4		
7.2.2	Bodenschlammumpen	kWh/a	65,7		
	Antrieb	kW	1,80		
	Anzahl	n	2		
	Laufzeit	h/d	0,05		
<b>8.0</b>	<b>Sandfilter, kontinuierlich gespült</b>	<b>kWh/a</b>			<b>57.816</b>
8.1	Druckluftversorgung	kWh/a			57.816
<b>9.0</b>	<b>Messtechnik</b>	<b>kWh/a</b>	<b>10.289</b>	<b>10.289</b>	<b>10.289</b>
	pauschal	0,005 kWh/m <sup>3</sup>	10.289	10.289	10.289
	<b>Summe 1: Pumpen</b>	<b>kWh/a</b>	<b>88.282</b>	<b>64.823</b>	<b>94.743</b>
	<b>Summe 2: Gebläse</b>	<b>kWh/a</b>	<b>0</b>	<b>37.066</b>	<b>0</b>
	<b>Summe 3: Räumler</b>	<b>kWh/a</b>	<b>4.380</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	<b>Summe 4: Rührwerke</b>	<b>kWh/a</b>	<b>15.978</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	<b>Summe 5: Dosiergerät PAK</b>	<b>kWh/a</b>	<b>5.782</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	<b>Summe 6: Ozonanlage</b>	<b>kWh/a</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>135.407</b>
	<b>Summe 7: Tuchfilter</b>	<b>kWh/a</b>	<b>16.646</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	<b>Summe 8: Sandfilter, kont. gespült</b>	<b>kWh/a</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>57.816</b>
	<b>Summe 9: Messtechnik</b>	<b>kWh/a</b>	<b>10.289</b>	<b>10.289</b>	<b>10.289</b>
	<b>Gesamtsumme</b>	<b>kWh/a</b>	<b>141.358</b>	<b>112.178</b>	<b>298.255</b>

**Anlage 2:  
Investitionskosten  
Varianten 1 bis 3**



**KA Gescher-Harwick**Projekt: **Studie 4. Reinigungsstufe**Projekt-Nr.: **0270 029****Zusammenstellung Investitionskosten**

Pos.-Nr	Text		Variante 1 PAK m. Rücklaufk.	Variante 2 GAK-Filtration	Variante 3 Ozon mit Sandfilter
1	Bautechnik	EUR	1.578.597,46	883.484,30	1.240.605,90
2	Maschinentechnik	EUR	818.582,78	580.188,00	825.300,00
3	EMSR-Technik	EUR	331.503,97	290.094,00	330.120,00
<b>Summe Herstellungskosten, netto</b>		<b>EUR</b>	<b>2.728.684,22</b>	<b>1.753.766,30</b>	<b>2.396.025,90</b>
Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)		EUR	545.736,84	350.753,26	479.205,18
<b>Summe Baukosten, netto</b>		<b>EUR</b>	<b>3.274.421,06</b>	<b>2.104.519,56</b>	<b>2.875.231,08</b>
Mehrwertsteuer		EUR	518.450,00	333.215,60	455.244,92
<b>Summe Baukosten, brutto</b>		<b>EUR</b>	<b>3.792.871,07</b>	<b>2.437.735,16</b>	<b>3.330.476,00</b>
<b>Anteil</b>			<b>156%</b>	<b>100%</b>	<b>137%</b>

## KA Gescher-Harwick

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe

Projekt-Nr.: 0270 029

Variante: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
1	<b>Baustelleneinrichtung</b> (10 % Bautechnik) (5 % Maschinenteknik)				143.508,86 €		38.980,13 €	182.488,99 €
2	<b>Erdarbeiten</b>							18.165,20 €
	Bodenaushub Kombibecken	165,24	m³	15,00 €	2.478,60 €			
	Bodenwiederanfüllung Kombibecken	51,84	m³	15,00 €	777,60 €			
	Bodenabfuhr Kombibecken	113,40	m³	15,00 €	1.701,00 €			
	Bodenaushub TF	173,60	m³	15,00 €	2.604,00 €			
	Bodenwiederanfüllung TF	96,10	m³	15,00 €	1.441,50 €			
	Bodenabfuhr TF	77,50	m³	15,00 €	1.162,50 €			
	Wasserhaltung	1,00	psch	8.000,00 €	8.000,00 €			
3	<b>PW 4. RS</b>							51.885,00 €
	Pumpenvorlage (umbauter Raum)	22,95	m³	300,00 €	6.885,00 €			
	Abdachung	1,00	psch	25.000,00 €	25.000,00 €			
	Schlosserarbeiten (Gitterrost/Geländer)	1,00	psch	20.000,00 €	20.000,00 €			
4	<b>Kontaktbecken</b>							136.700,00 €
	Kontaktbecken mit Schächten	228,00	m³	250,00 €	57.000,00 €			
	Rührwerke	2,00	St	13.000,00 €		26.000,00 €		
	Schlosserarb. (Bediengang + Treppe)	1,00	psch	30.000,00 €	30.000,00 €			
	Schlosserarb. (Geländer + Gitterrost KB)	18,00	m	650,00 €	11.700,00 €			
	Absenkschieber Zulauf mit Antrieb	1,00	St	12.000,00 €		12.000,00 €		
5	<b>Neubau Absetzbecken</b>							616.301,05 €
	Absetzbecken	1.073,00	m³	280,00 €	300.440,00 €			
	Schlosserarb. (Bediengang + Treppe)	1,00	psch	40.000,00 €	40.000,00 €			
	Schlosserarb. (Geländer + Gitterrost KB)	71,63	m	650,00 €	46.558,40 €			
	Räumer	1,00	St	85.000,00 €		85.000,00 €		
	Schürze Einlauf	1,00	St	15.000,00 €		15.000,00 €		
	Ablaufrinne VA	71,63	m	800,00 €		57.302,65 €		
	Absenkschieber Zulauf mit Antrieb	1,00	St	12.000,00 €		12.000,00 €		
	Anbindung + verb. Rohrleitungen	1,00	psch	60.000,00 €	60.000,00 €			
6	<b>Neubau Regefangbecken</b>							600.000,00 €
	Regenfangbecken (Aushub+Bauwerk)	1.300,00	m³	300,00 €	390.000,00 €			
	Schlosserarb. (Bediengang + Treppe)	1,00	psch	20.000,00 €		20.000,00 €		
	Anbindung + verb. Rohrleitungen	1,00	psch	60.000,00 €	60.000,00 €			
	Schacht (Zulauf)	1,00	psch	50.000,00 €	50.000,00 €			
	Armaturen + Antriebe	1,00	psch	80.000,00 €	80.000,00 €			
7	<b>PAK-Silo 80 m³</b>							156.000,00 €
	Silo mit Dosiereinrichtung	1,00	St	110.000,00 €		110.000,00 €		
	Pumpe Treibwasser m. Verrohr	1,00	psch	8.000,00 €		8.000,00 €		
	Kompressor mit Lufttrocknung	1,00	St	8.000,00 €		8.000,00 €		
	Steuerung	1,00	St	30.000,00 €			30.000,00 €	
8	<b>Tuchfiltration</b>							302.250,00 €
	Becken Tuchfilter I-II	75,00	m³	700,00 €	52.500,00 €			
	Schlosserarbeiten (Bediengang + Treppe)	1,00	psch	18.000,00 €		18.000,00 €		
	Absenkschieber mit E-Antrieb	2,00	St	9.000,00 €		18.000,00 €		
	Steuerung + VOST Tuchfilter	1,00	psch	15.000,00 €		15.000,00 €		
	Tuchfilter	2,00	St	90.000,00 €		180.000,00 €		
	Montage + IBN Filter	1,00	psch	15.000,00 €		15.000,00 €		
	Ablaufgerinne TuchFilter	5,00	m	750,00 €	3.750,00 €			
9	<b>Pulveraktivkohle (Erstbefüllung)</b>							16.500,00 €
	Aktivkohle	11,00	Mg	1.500,00 €		16.500,00 €		
10	<b>Rohrtech. Installation</b> <i>Rücklaufkohle</i>							8.840,00 €
	1 Leitung DN 300 VA	12,00	m	320,00 €	3.840,00 €			
	Formstücke, Flansche, Einbindung	1,00	psch	2.000,00 €	2.000,00 €			
	Armaturen	1,00	psch	3.000,00 €	3.000,00 €			
11	<b>Flockungsmitteldosierung (Me-Salze)</b>							53.200,00 €
	Dosierpumpen mit Dosierleit.	1,00	psch	40.000,00 €		40.000,00 €		
	Dosierleitungen (Schutzrohr + Schlauch)	120,00	m	110,00 €		13.200,00 €		
12	<b>Flockungshilfsmitteldosierung</b>							55.600,00 €
	Bereitungsanlage mit Dosierleitungen	1,00	psch	30.000,00 €		30.000,00 €		
	Dosierleitungen	10,00	m	60,00 €		600,00 €		
	Einhausung FHM	1,00	psch	25.000,00 €	25.000,00 €			

## KA Gescher-Harwick

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe

Projekt-Nr.: 0270 029

Variante: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
13	<b>Pumpen</b>							85.000,00 €
	Zulaufpumpen mit Arm. + Verrohr.	3,00	St	17.000,00 €		51.000,00 €		
	Schnecken-PW Rücklaufkohle	1,00	St	18.000,00 €		18.000,00 €		
	ÜS-Kohlepumpe mit Verrohrung	1,00	St	8.000,00 €		8.000,00 €		
	Schlammwasserpumpe mit Verrohrung	1,00	St	8.000,00 €		8.000,00 €		
14	<b>Erdverlegte Rohrleitungen</b>							74.250,00 €
	Zulauf. PE 100 SDR 17 500*29,7	74,00	m	180,00 €	13.320,00 €			
	Rohrgraben PE 100 SDR 17 500*29,7	74,00	m	157,00 €	11.618,00 €			
	Formstücke	3,00	psch	680,00 €	2.040,00 €			
	AB>TF PE 100 SDR 17 500*29,7	13,00	m	100,00 €	1.300,00 €			
	Rohrgraben PE 100 SDR 17 500*29,7	13,00	m	157,00 €	2.041,00 €			
	Formstücke	2,00	psch	680,00 €	1.360,00 €			
	KB >AB PE 100 SDR 17 500*29,7	35,00	m	100,00 €	3.500,00 €			
	Rohrgraben PE 100 SDR 17 500*29,7	35,00	m	157,00 €	5.495,00 €			
	Formstücke	5,00	psch	680,00 €	3.400,00 €			
	Abltg PE 100 SDR 17 500*29,7	42,00	m	100,00 €	4.200,00 €			
	Rohrgraben PE 100 SDR 17 500*29,7	42,00	m	157,00 €	6.594,00 €			
	Formstücke	4,00	psch	680,00 €	2.720,00 €			
	RLK PE 100 SDR 17 90*5,4	23,00	m	18,00 €	4.932,00 €			
	Rohrgraben PE 100 SDR 17 90*5,4	23,00	m	15,00 €	5.480,00 €			
	Formstücke	3,00	psch	150,00 €	1.000,00 €			
	ÜS-Kohle KB PE 100 SDR 17 90*5,4	75,00	m	18,00 €	1.350,00 €			
	Rohrgraben PE 100 SDR 17 90*5,4	75,00	m	15,00 €	1.125,00 €			
	Formstücke	1,00	psch	150,00 €	150,00 €			
	Schlammwasser TF PE 100 SDR 17 90*5,4	75,00	m	18,00 €	1.350,00 €			
	Rohrgraben PE 100 SDR 17 90*5,4	75,00	m	15,00 €	1.125,00 €			
	Formstücke	1,00	psch	150,00 €	150,00 €			
15	<b>Kabelschächte/Leerrohre</b>	1,00	psch	15.000,00 €	15.000,00 €			15.000,00 €
16	<b>Hausinstallation/Entwässerung</b>	1,00	psch	15.000,00 €	15.000,00 €			15.000,00 €
17	<b>Strassen-/Wegebau/Aussenanlagen</b>	1	psch	40.000,00 €	40.000,00 €			40.000,00 €
18	<b>Inbetriebnahme/Dokumentation</b>							15.000,00 €
	Dokumentation	1,00	psch	5.000,00 €	5.000,00 €			
	Dokumentation/Inbetriebnahme	1,00	psch	10.000,00 €		10.000,00 €		
19	<b>EMSR-Technik</b>							286.503,97 €
	Pauschal (35 % der MT)	1,00	psch	286.503,97 €		286.503,97 €		
	<b>Summe Herstellungskosten, netto</b>				<b>1.578.597,46 €</b>	<b>818.582,78 €</b>	<b>331.503,97 €</b>	<b>2.728.684,22 €</b>
	Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)			20%	<b>315.719,49 €</b>	<b>163.716,56 €</b>	<b>66.300,79 €</b>	<b>545.736,84 €</b>
	<b>Summe Baukosten, netto</b>				<b>1.894.316,96 €</b>	<b>982.299,34 €</b>	<b>397.804,77 €</b>	<b>3.274.421,06 €</b>
	Mehrwertsteuer			19%				<b>518.450,00 €</b>
	<b>Summe Baukosten, brutto</b>							<b>3.792.871,07 €</b>
	<b>Wartung- und Instandhaltungskosten</b> (bezogen auf Herstellungskosten, ohne NK)							
	1,0 %/a der Herstellungskosten für Bau und erdverlegte Rohrleitungen				9.985,97 €			
	4,0 %/a der Herstellungskosten für technische Installationen					31.943,31 €		
	2,0 %/a der Herstellungskosten für EMSR-Technik						6.630,08 €	
	<b>Summe Wartungs-/Instandhaltungskosten/a, netto</b>				<b>9.985,97 €</b>	<b>31.943,31 €</b>	<b>6.630,08 €</b>	<b>48.559,37 €</b>
	<b>Kapitalkosten</b>							
	Anfall Nebenkosten			30				
	Nutzungsdauer Bautechnik in Jahren				30			
	Nutzungsdauer Masch.-Technik in Jahren					15		
	Nutzungsdauer EMSR-Technik in Jahren						10	
	Zinssatz i			3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	
	<b>Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (i;n)</b>							
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor Bautechnik				0,05102			
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor Masch.-Technik					0,08377		
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor EMSR-Technik						0,11723	
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor Nebenkosten			0,05102				
	<b>Summe Kapitalkosten/a, netto</b>				<b>27.843,09 €</b>	<b>80.538,87 €</b>	<b>68.569,88 €</b>	<b>38.862,38 €</b>
								<b>215.814,22 €</b>

## KA Gescher-Harwick

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe

Projekt-Nr.: 0270 029

Variante: GAK-Filtration

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
1	<b>Baustelleneinrichtung</b> (10 % Bautechnik) (5 % Maschinenteknik)				73.574,80 €		27.628,00 €	101.202,80 €
2	<b>Erdarbeiten</b> Bodenaushub Becken Bodenwiederanfüllung Becken Bodenabfuhr Becken Wasserhaltung	1.198,80 388,80 697,50 1,00	m³ m³ m³ psch	15,00 € 15,00 € 15,00 € 8.000,00 €	17.982,00 € 5.832,00 € 10.462,50 € 8.000,00 €			42.276,50 €
3	<b>PW 4. RS</b> Pumpenvorlage (umbauter Raum) Abdachung Schlosserarbeiten (Gitterrost/Geländer)	22,95 1,00 1,00	m³ psch psch	300,00 € 25.000,00 € 20.000,00 €	6.885,00 € 25.000,00 € 20.000,00 €			51.885,00 €
4	<b>Filterbauwerk mit Vorlage u Speicher</b> Bauwerk mit Abdachung Pumpen Filterboden mit Düsen	1,00 90,00	psch m²	600.000,00 € 900,00 €	600.000,00 €		81.000,00 €	681.000,00 €
5	<b>Filtermaterial (Erstbefüllung)</b> Aktivkohle Stüttschicht	90,00 27,00	Mg m³	1.300,00 € 280,00 €			117.000,00 € 7.560,00 €	124.560,00 €
6	<b>Rohrtech. Installation Filter</b> Rohrleitung VA incl. Formstücke Armaturen Antriebe Armaturen	1,00 1,00 1,00	psch psch psch	75.000,00 € 70.000,00 € 71.000,00 €			75.000,00 € 70.000,00 € 71.000,00 €	216.000,00 €
7	<b>Pumpen</b> Zulaufpumpen mit Arm. + Verrohr. Spülwasserpumpe mit Verrohrung Schlammwasserpumpe + Verrohrung	3,00 2,00 2,00	St St St	17.000,00 € 18.000,00 € 9.000,00 €			51.000,00 € 36.000,00 € 18.000,00 €	105.000,00 €
8	<b>Gebälse</b> Spülluftgebläse mit Verrohrung	1,00	St	16.000,00 €			16.000,00 €	16.000,00 €
9	<b>Erdverlegte Rohrleitungen</b> Zulauf. PE 100 SDR 17 500*29,7 Rohrgraben PE 100 SDR 17 500*29,7 Formstücke Abltg PE 100 SDR 17 500*29,7 Rohrgraben PE 100 SDR 17 500*29,7 Formstücke Schlammwasser TF PE 100 SDR 17 90*5,4 Rohrgraben PE 100 SDR 17 90*5,4 Formstücke	44,00 44,00 3,00 55,00 55,00 4,00 75,00 75,00 1,00	m m psch m m psch m m psch	180,00 € 157,00 € 680,00 € 180,00 € 157,00 € 680,00 € 18,00 € 15,00 € 150,00 €	7.920,00 € 6.908,00 € 2.040,00 € 9.900,00 € 8.635,00 € 2.720,00 € 1.350,00 € 1.125,00 € 150,00 €			40.748,00 €
10	<b>Kabelschächte/Leerrohre</b>	1,00	psch	15.000,00 €	15.000,00 €			15.000,00 €
11	<b>Hausinstallation/Entwässerung</b>	1,00	psch	15.000,00 €	15.000,00 €			15.000,00 €
12	<b>Strassen-/Wegebau/Aussenanlagen</b>	1	psch	40.000,00 €	40.000,00 €			40.000,00 €
13	<b>Inbetriebnahme/Dokumentation</b> Dokumentation Dokumentation/Inbetriebnahme	1,00 1,00	psch psch	5.000,00 € 10.000,00 €	5.000,00 €		10.000,00 €	15.000,00 €
14	<b>EMSR-Technik</b> Pauschal (50 % der MT)	1,00	psch	290.094,00 €			290.094,00 €	290.094,00 €
	<b>Summe Herstellungskosten, netto</b>				<b>883.484,30 €</b>	<b>580.188,00 €</b>	<b>290.094,00 €</b>	<b>1.753.766,30 €</b>
	Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)			20%	176.696,86 €	116.037,60 €	58.018,80 €	350.753,26 €
	<b>Summe Baukosten, netto</b>				<b>1.060.181,16 €</b>	<b>696.225,60 €</b>	<b>348.112,80 €</b>	<b>2.104.519,56 €</b>
	Mehrwertsteuer			19%				333.215,60 €
	<b>Summe Baukosten, brutto</b>							<b>2.437.735,16 €</b>

## KA Gescher-Harwick

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe

Projekt-Nr.: 0270 029

Variante: GAK-Filtration

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
	<b>Wartung- und Instandhaltungskosten</b> (bezogen auf Herstellungskosten, ohne NK)							
	1,0 %/a der Herstellungskosten für Bau und erdverlegte Rohrleitungen				8.834,84 €			
	4,0 %/a der Herstellungskosten für technische Installationen					23.207,52 €		
	2,0 %/a der Herstellungskosten für EMSR-Technik						5.801,88 €	
	<b>Summe Wartungs-/Instandhaltungskosten/a, netto</b>				<b>8.834,84 €</b>	<b>23.207,52 €</b>	<b>5.801,88 €</b>	<b>37.844,24 €</b>

Kapitalkosten	Nebenkosten	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
Anfall Nebenkosten	30				
Nutzungsdauer Bautechnik in Jahren		30			
Nutzungsdauer Masch.-Technik in Jahren			15		
Nutzungsdauer EMSR-Technik in Jahren				10	
Zinssatz i	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	
<b>Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (i;n)</b>					
Kapitalwiedergewinnungsfaktor Bautechnik		0,05102			
Kapitalwiedergewinnungsfaktor Masch.-Technik			0,08377		
Kapitalwiedergewinnungsfaktor EMSR-Technik				0,11723	
Kapitalwiedergewinnungsfaktor Nebenkosten	0,05102				
<b>Summe Kapitalkosten/a, netto</b>	<b>17.895,17 €</b>	<b>45.074,71 €</b>	<b>48.600,36 €</b>	<b>34.007,87 €</b>	<b>145.578,12 €</b>

## KA Gescher-Harwick

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe

Projekt-Nr.: 0270 029

Variante: Ozonung mit nachgeschal. Sandfilter

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
1	<b>Baustelleneinrichtung</b> (10 % Bautechnik) (5 % Maschinenteknik)				106.150,30 €		39.300,00 €	145.450,30 €
2	<b>Erdarbeiten</b>							41.067,60 €
	Bodenaushub Becken	327,59	m³	15,00 €	4.913,85 €			
	Bodenwiederanfüllung Becken	161,84	m³	15,00 €	2.427,60 €			
	Bodenabfuhr Becken	170,85	m³	15,00 €	2.562,75 €			
	Bodenaushub SF	630,79	m³	15,00 €	9.461,78 €			
	Bodenwiederanfüllung SF	310,99	m³	15,00 €	4.664,78 €			
	Bodenabfuhr SF	335,79	m³	15,00 €	5.036,85 €			
	Wasserhaltung	1,00	psch	12.000,00 €	12.000,00 €			
3	<b>PW 4. RS</b>							51.885,00 €
	Pumpenvorlage (umbauter Raum)	22,95	m³	300,00 €	6.885,00 €			
	Abdachung	1,00	psch	25.000,00 €	25.000,00 €			
	Schlosserarbeiten (Gitterrost/Geländer)	1,00	psch	20.000,00 €	20.000,00 €			
4	<b>Reaktionsbehälter</b>							193.360,00 €
	Behälter, gasdicht + Verteilschacht	188,00	m³	720,00 €	135.360,00 €			
	Installation VA (RL) allgemein	1,00	psch	15.000,00 €		15.000,00 €		
	Armaturen	1,00	psch	26.000,00 €		26.000,00 €		
	Antriebe Armaturen	1,00	psch	9.000,00 €		9.000,00 €		
	Bediensteg	1,00	psch	8.000,00 €	8.000,00 €			
5	<b>Ozonanlage</b>							456.000,00 €
	Anlage	1,00	psch	370.000,00 €		370.000,00 €		
	Ozonerzeuger (2*2,25kg/h)	2,00	incl.					
	Einsatzgasversorgung		incl.					
	Instrumentenluft u. N <sub>2</sub> -Zudosierung		incl.					
	Wärmetauscher Kühlwasser	2,00	incl.					
	Eintragssystem (32 Diffusoren)		incl.					
	Restozonvernichter		incl.					
	Raumluftüberwachung		incl.					
	Ozongasüberwachung im Ozongas		incl.					
	Ozongasüberwachung im Ozongas		incl.					
	Anlagensteuerung		incl.					
	Ventile und Instrumente		incl.					
	Verrohrung und Montage	1,00	psch	62.000,00 €		62.000,00 €		
	Über-/Unterdrucksicherung Kontaktbeh.	2,00	St	3.000,00 €		6.000,00 €		
	Pumpen + Verroh. Kühlwasser	1,00	psch	18.000,00 €		18.000,00 €		
6	<b>Aufstellung O2/O3-Anlage m. Halle</b>							43.960,00 €
	Einhausung Ozonanlage-NSV	108,00	m³	370,00 €	39.960,00 €			
	Fundament O2-Anlage	1,00	psch	4.000,00 €	4.000,00 €			
7	<b>Sandfilter, kontinuierlich gespült</b>							412.822,00 €
	Becken SF I + II	562,80	m³	240,00 €	135.072,00 €			
	Anbindung Ablauf KB I und II	1,00	psch	18.000,00 €	18.000,00 €			
	Install. Sandfilter mit IBN	1,00	psch	250.000,00 €		250.000,00 €		
	Ablaufgerinne Filter I und II	13,00	m	750,00 €	9.750,00 €			
8	<b>Neubau Regefangbecken</b>							600.000,00 €
	Regenfangbecken (Aushub+Bauwerk)	1.300,00	m³	300,00 €	390.000,00 €			
	Schlosserarb. (Bediengang + Treppe)	1,00	psch	20.000,00 €		20.000,00 €		
	Anbindung + verb. Rohrleitungen	1,00	psch	60.000,00 €	60.000,00 €			
	Schacht (Zulauf)	1,00	psch	50.000,00 €	50.000,00 €			
	Armaturen + Antriebe	1,00	psch	80.000,00 €	80.000,00 €			
9	<b>Erdverlegte Rohrleitungen</b>							36.361,00 €
	Zulauf. PE 100 SDR 17 560*33,2	40,00	m	180,00 €	7.200,00 €			
	Rohrgraben PE 100 SDR 17 560*33,2	40,00	m	157,00 €	6.280,00 €			
	Formstücke	2,00	psch	680,00 €	1.360,00 €			
	Ablauftrg PE 100 SDR 17 560*33,2	48,00	m	180,00 €	8.640,00 €			
	Rohrgraben PE 100 SDR 17 560*33,2	48,00	m	157,00 €	7.536,00 €			
	Formstücke	4,00	psch	680,00 €	2.720,00 €			
	Schlammwasser TF PE 100 SDR 17 90*5,4	75,00	m	18,00 €	1.350,00 €			
	Rohrgraben PE 100 SDR 17 90*5,4	75,00	m	15,00 €	1.125,00 €			
	Formstücke	1,00	psch	150,00 €	150,00 €			

## KA Gescher-Harwick

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe

Projekt-Nr.: 0270 029

Variante: Ozonung mit nachgeschal. Sandfilter

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
10	Kabelschächte/Leerrohre	1,00	psch	15.000,00 €	15.000,00 €			15.000,00 €
11	Hausinstallation/Entwässerung	1,00	psch	15.000,00 €	15.000,00 €			15.000,00 €
12	Strassen-/Wegebau/Aussenanlagen	1	psch	40.000,00 €	40.000,00 €			40.000,00 €
13	Inbetriebnahme/Dokumentation							15.000,00 €
	Dokumentation	1,00	psch	5.000,00 €	5.000,00 €			
	Dokumentation/Inbetriebnahme	1,00	psch	10.000,00 €		10.000,00 €		
14	EMSR-Technik							330.120,00 €
	Pauschal (40 % der MT)	1,00	psch	330.120,00 €			330.120,00 €	
	<b>Summe Herstellungskosten, netto</b>				<b>1.240.605,90 €</b>	<b>825.300,00 €</b>	<b>330.120,00 €</b>	<b>2.396.025,90 €</b>
	Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)			20%	248.121,18 €	165.060,00 €	66.024,00 €	479.205,18 €
	<b>Summe Baukosten, netto</b>				<b>1.488.727,08 €</b>	<b>990.360,00 €</b>	<b>396.144,00 €</b>	<b>2.875.231,08 €</b>
	Mehrwertsteuer			19%				455.244,92 €
	<b>Summe Baukosten, brutto</b>							<b>3.330.476,00 €</b>

Wartung- und Instandhaltungskosten (bezogen auf Herstellungskosten, ohne NK)				
1,0 %/a der Herstellungskosten für Bau und erdverlegte Rohrleitungen		12.406,06 €		
4,0 %/a der Herstellungskosten für technische Installationen			33.012,00 €	
2,0 %/a der Herstellungskosten für EMSR-Technik				6.602,40 €
<b>Summe Wartungs-/Instandhaltungskosten/a, netto</b>		<b>12.406,06 €</b>	<b>33.012,00 €</b>	<b>6.602,40 €</b>
				<b>52.020,46 €</b>

Kapitalkosten	Nebenkosten	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
Anfall Nebenkosten	30				
Nutzungsdauer Bautechnik in Jahren		30			
Nutzungsdauer Masch.-Technik in Jahren			15		
Nutzungsdauer EMSR-Technik in Jahren				10	
Zinssatz i	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	
<b>Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (i;n)</b>					
Kapitalwiedergewinnungsfaktor Bautechnik		0,05102			
Kapitalwiedergewinnungsfaktor Masch.-Technik			0,08377		
Kapitalwiedergewinnungsfaktor EMSR-Technik				0,11723	
Kapitalwiedergewinnungsfaktor Nebenkosten	0,05102				
<b>Summe Kapitalkosten/a, netto</b>	<b>24.448,69 €</b>	<b>63.294,79 €</b>	<b>69.132,56 €</b>	<b>38.700,13 €</b>	<b>195.576,18 €</b>

**Anlage 3:  
Betriebskosten  
Varianten 1 bis 3**



**KA Gescher****Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe****Projekt-Nr.: 0270 029****Zusammenstellung Betriebskosten**

	Text		Variante 1 PAK m. Rücklaufk.	Variante 2 GAK	Variante 3 Ozonung + SF
B	Betriebsgebundene Kosten	EUR	74.559,37	59.844,24	76.020,46
C	Verbrauchsgebundene Kosten	EUR	86.297,25	152.831,27	84.373,91
<b>Summe Betriebskosten, netto</b>		<b>EUR</b>	<b>160.856,61</b>	<b>212.675,51</b>	<b>160.394,37</b>
	Mehrwertsteuer: 19%	EUR	30.562,76	40.408,35	30.474,93
<b>Summe Betriebskosten, brutto</b>		<b>EUR</b>	<b>191.419,37</b>	<b>253.083,86</b>	<b>190.869,30</b>
<b>Anteil</b>			<b>100%</b>	<b>133%</b>	<b>100%</b>

## **Anlage 4: Jahreskosten**

**KA Gescher****Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe****Projekt-Nr.: 0270 029****Zusammenstellung Jahreskosten**

Pos.-Nr	Text		Variante 1 PAK m. Rücklaufk.	Variante 2 GAK	Variante 3 Ozonung + SF
A	Kapitalgebundene Kosten	EUR	215.814,22	145.578,12	195.576,18
B	Betriebsgebundene Kosten	EUR	74.559,37	59.844,24	76.020,46
C	Verbrauchsgebundene Kosten	EUR	86.297,25	152.831,27	84.373,91
<b>Summe Jahreskosten, netto</b>		<b>EUR</b>	<b>376.670,83</b>	<b>358.253,63</b>	<b>355.970,55</b>
Mehrwertsteuer: 19%		EUR	71.567,46	68.068,19	67.634,40
<b>Summe Jahreskosten, brutto</b>		<b>EUR</b>	<b>448.238,29</b>	<b>426.321,82</b>	<b>423.604,96</b>
<b>Anteil</b>			<b>106%</b>	<b>101%</b>	<b>100%</b>
spez. Kosten, netto		EUR/m <sup>3</sup> Abwasser	0,18304	0,17409	0,17298
<b>spez. Kosten, brutto</b>		<b>EUR/m<sup>3</sup> Abwasser</b>	<b>0,21782</b>	<b>0,20717</b>	<b>0,20585</b>

## KA Gescher

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe  
 Projekt-Nr.: 0270 029  
 Laufende Kosten Varianten

Pos.	Bezeichnung		Variante 1 PAK mit Rücklaufkohle	Variante 2 GAK	Variante 3 Ozonung + Sandfilter
<b>A</b>	<b>Kapitalgebundene Kosten</b>	<b>EUR/a</b>	<b>215.814,22</b>	<b>145.578,12</b>	<b>195.576,18</b>
<b>B</b>	<b>Betriebsgebundene Kosten</b>	<b>EUR/a</b>	<b>74.559,37</b>	<b>59.844,24</b>	<b>76.020,46</b>
<b>1.0</b>	<b>Personalkosten</b>	<b>EUR/a</b>	<b>26.000,00</b>	<b>22.000,00</b>	<b>24.000,00</b>
	Menge	MA/a	0,65	0,55	0,60
	spez. Preis	EUR/MA	40.000,00	40.000,00	40.000,00
			26.000,00	22.000,00	24.000,00
<b>2.0</b>	<b>Wartungs- und Instandhaltungskosten</b>	<b>EUR/a</b>	<b>48.559,37</b>	<b>37.844,24</b>	<b>52.020,46</b>
<b>C</b>	<b>Verbrauchsgebundene Kosten</b>	<b>EUR/a</b>	<b>86.297,25</b>	<b>152.831,27</b>	<b>84.373,91</b>
<b>1.0</b>	<b>Energiekosten</b>	<b>EUR/a</b>	<b>24.030,82</b>	<b>19.070,24</b>	<b>50.703,40</b>
	Menge	kWh/a	141.357,77	112.177,89	298.255,31
	spez. Preis	EUR/kWh	0,17	0,17	0,17
			24.030,82	19.070,24	50.703,40
<b>2.0</b>	<b>Chemikalienkosten</b>	<b>EUR/a</b>	<b>33.867,93</b>	<b>133.761,03</b>	<b>33.670,51</b>
2.1	PAK/GAK	Menge	Mg/a	20,58	102,89
		spez. Preis	EUR/Mg	1.500	1.300
				30.867,93	133.761,03
2.2	Fäll-/Flockungsmittel	Menge	Mg/a	0,00	
		spez. Preis	EUR/Mg	127	
				<i>kein Bedarf</i>	
2.3	Flockungshilfsmittel	Menge	Mg/a	1,00	
		spez. Preis	EUR/Mg	3.000	
				3.000,00	
2.4	Sauerstoff (flüssig) inkl. Tankmiete	Menge	kg/a		134.682,03
		spez. Preis	EUR/kg		0,25
					33.670,51
<b>3.0</b>	<b>Schlammverbrennungs-/Entsorgungskosten</b>		<b>28.398,50</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
3.1	zusätzlicher Schlamm d. PAK	Menge	Mg/a	61,74	
	Entsorgungskosten (Verbrennung)	spez. Preis	EUR/Mg	65,0	
	Entwässerungsergebnis			25%	
	Entwässerungskosten	spez. Preis	EUR/Mg	50,00	
				28.398,50	
	<i>Annahmen:</i> <i>1 kg PAK = 3 kg TS</i>				
	<b>Summe A: Kapitalgebundene Kosten</b>	<b>EUR/a</b>	<b>215.814,22</b>	<b>145.578,12</b>	<b>195.576,18</b>
	<b>Summe B: Betriebsgebundene Kosten</b>	<b>EUR/a</b>	<b>74.559,37</b>	<b>59.844,24</b>	<b>76.020,46</b>
	<b>Summe C: Verbrauchsgebundene Kosten</b>	<b>EUR/a</b>	<b>86.297,25</b>	<b>152.831,27</b>	<b>84.373,91</b>
	<b>Gesamtsumme Jahreskosten, netto</b>	<b>EUR/a</b>	<b>376.670,83</b>	<b>358.253,63</b>	<b>355.970,55</b>
	Mehrwertsteuer	19%	71.567,46	68.068,19	67.634,40
	<b>Summe Jahreskosten, brutto</b>		<b>448.238,29</b>	<b>426.321,82</b>	<b>423.604,96</b>

**Anlage 5:  
Screening-Ergebnisse Kläranlage Gescher-Harwick**

## UNTERSUCHUNGSBEFUND

Leopoldshöhe, 22.09.2014 JB

**Auftraggeber:** Abwasserwerk der Stadt Gescher

**Entnahmestelle:** Kläranlage Gescher

**Probenahmestelle:** (1) Ablauf Kläranlage (342033001 / 01 )

**Entnahme:** (1) 20.07.2014 24h-Mischprobe: 08:00 Uhr - 08:00 Uhr Laboreingang: 10.09.2014

Analysennummer:		50866 155066	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen vor Ort</i>			
Wassermenge in 24 Stunden	m <sup>3</sup>	4627	
<i>Messungen im Labor</i>			
Bezafibrat	µg/l	0,13	Hausmethode
Diclofenac	ng/l	1400	Hausmethode LC/MS/MS
Naproxen	ng/l	84	Hausmethode LC/MS/MS
Phenazon	ng/l	64	Hausmethode LC/MS/MS
Carbamazepin	ng/l	500	Hausmethode LC/MS/MS
Atenolol	ng/l	110	Hausmethode (LC-MS-MS)
Bisoprolol	ng/l	320	Hausmethode (LC-MS-MS)
Metoprolol	ng/l	1100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sotalol	ng/l	280	Hausmethode (LC-MS-MS)
Clarithromycin	ng/l	130	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sulfamethoxazol	ng/l	490	Hausmethode (LC-MS-MS)
Oxazepam	µg/l	0,04	Hausmethode LC/MS/MS
Amidotrizoesäure	ng/l	110	Hausmethode (LC-MS-MS)
lomeprol	ng/l	520	Hausmethode (LC-MS-MS)
lopamidol	ng/l	8200	Hausmethode (LC-MS-MS)
lopromid	ng/l	59	Hausmethode (LC-MS-MS)
Diuron	µg/l	0,08	EN ISO 11369 (F12) LC/MS
Isoproturon	µg/l	< 0,1	EN ISO 11369 (F12) LC/MS
Terbutryn	µg/l	< 0,05	GC/MS nach Extraktion
Benzotriazol	µg/l	3,6	EN ISO 11369 (F12) LC/MS
17-alpha-Ethinylestradiol	ng/l	< 10	Hausmethode (GC-MS)
17-beta-Estradiol	ng/l	< 10	Hausmethode LC/MS/MS
Estron	ng/l	< 10	Hausmethode LC/MS/MS
Bromid	mg/l	< 1	DIN EN ISO 10304-1 (D19)

bitte wenden

<i>Analysennummer:</i>		50866 155066	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	Verfahren

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von AGROLAB Labor GmbH, Bruckberg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 (DAP-PL-14289-01-00).

Durchschrift: Tuttahs und Meyer Ingenieurgesellschaft, Bochum (per E-Mail)

OWL Umweltanalytik  
Master of Science Brauer

Dieser Ergebnisbericht wurde geprüft und freigegeben. Er entspricht den Anforderungen der DIN EN ISO/IEC 17025:2005 an vereinfachte Ergebnisberichte und ist ohne Unterschrift gültig.

## UNTERSUCHUNGSBEFUND

Leopoldshöhe, 22.09.2014 JB

**Auftraggeber:** Abwasserwerk der Stadt Gescher

**Entnahmestelle:** Kläranlage Gescher

**Probenahmestelle:** (1) Ablauf Kläranlage (342033001 / 01 )

(2) Ablauf Kläranlage (342033001 / 01 )

**Entnahme:** (1) 21.08.2014 24h-Mischprobe: 08:00 Uhr - 08:00 Uhr Laboreingang: 10.09.2014

(2) 05.09.2014 24h-Mischprobe: 08:00 Uhr - 08:00 Uhr Laboreingang: 10.09.2014

Analysennummer:		50866 155067	50866 155114	
Parameter:	Einheit:	(1)	(2)	Verfahren
<i>Messungen vor Ort</i>				
Wassermenge in 24 Stunden	m <sup>3</sup>	4543	4425	
<i>Messungen im Labor</i>				
Bezafibrat	µg/l	0,20	0,17	Hausmethode
Diclofenac	ng/l	900	1800	Hausmethode LC/MS/MS
Naproxen	ng/l	70	89	Hausmethode LC/MS/MS
Phenazon	ng/l	27	47	Hausmethode LC/MS/MS
Carbamazepin	ng/l	400	480	Hausmethode LC/MS/MS
Atenolol	ng/l	85	57	Hausmethode (LC-MS-MS)
Bisoprolol	ng/l	300	360	Hausmethode (LC-MS-MS)
Metoprolol	ng/l	940	1400	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sotalol	ng/l	220	280	Hausmethode (LC-MS-MS)
Clarithromycin	ng/l	170	210	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sulfamethoxazol	ng/l	370	190	Hausmethode (LC-MS-MS)
Oxazepam	µg/l	0,04	0,02	Hausmethode LC/MS/MS
Amidotrizoesäure	ng/l	53	410	Hausmethode (LC-MS-MS)
lomeprol	ng/l	< 10	140	Hausmethode (LC-MS-MS)
lopamidol	ng/l	6300	8800	Hausmethode (LC-MS-MS)
lopromid	ng/l	570	36	Hausmethode (LC-MS-MS)
Diuron	µg/l	< 0,05	0,12	EN ISO 11369 (F12) LC/MS
Isoproturon	µg/l	< 0,1	< 0,1	EN ISO 11369 (F12) LC/MS
Terbutryn	µg/l	< 0,05	< 0,05	GC/MS nach Extraktion
Benzotriazol	µg/l	3,1	3,7	EN ISO 11369 (F12) LC/MS
17-alpha-Ethinylestradiol	ng/l	< 10	< 10	Hausmethode (GC-MS)
17-beta-Estradiol	ng/l	< 10	< 10	Hausmethode LC/MS/MS
Estron	ng/l	< 10	< 10	Hausmethode LC/MS/MS
Bromid	mg/l	< 1	< 1	DIN EN ISO 10304-1 (D19)

bitte wenden



<i>Analysennummer:</i>		50866 155067	50866 155114	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	(2)	Verfahren

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von AGROLAB Labor GmbH, Bruckberg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 (DAP-PL-14289-01-00).

Durchschrift: Tuttahs und Meyer Ingenieurgesellschaft, Bochum (per E-Mail)

OWL Umweltanalytik  
Master of Science Brauer

Dieser Ergebnisbericht wurde geprüft und freigegeben. Er entspricht den Anforderungen der DIN EN ISO/IEC 17025:2005 an vereinfachte Ergebnisberichte und ist ohne Unterschrift gültig.