



Kläranlage Velen

4. Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroschadstoffen

Machbarkeitsstudie
Juli 2015 | 1. Ausfertigung
Projektnummer 1654 001





Kläranlage Velen

4. Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroschadstoffen

Machbarkeitsstudie
Juli 2015 | 1. Ausfertigung
Projektnummer 1654 001

Bearbeitet durch:
Dipl.-Ing. Norbert Biebersdorf
M.Sc. Fernando Urueta

Aufgestellt:
Bochum, im Juli 2015
bie-uru

Dipl.-Ing. Norbert Biebersdorf

Gesamtinhaltsverzeichnis**I Textteil**

- Erläuterungsbericht
- Anlagen

II Zeichnungen

Blatt	Titel	Maßstab	Verwaltungsnummer
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 Sandfilter + Ozonung	1 : 250	030 007 03 00

Auftraggeber:

Stadt Velen
Ramsdorfer Straße 19
46342 Velen

Telefon: 02863 926-0
Telefax: 02863 926-299

Projektleiter:

Herr Jöster

Telefon: 02863 926-260
joester@velen.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 M.Sc. Fernando Urueta

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

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Aufgabenstellung	1
2	Zugrunde liegende Unterlagen	1
3	Belastungsdaten Hydraulik	2
4	Reinigungsanforderungen	2
5	Anlagenbestand	3
5.1	Kurzbeschreibung	3
6	Spurenstoffe im Wasserkreislauf	3
6.1	Einleitung	3
6.2	Charakterisierung des Verhaltens von anthropogenen Spurenstoffen	4
6.3	Screening-Ergebnisse	5
7	Verfahren zur Elimination von Spurenstoffen	8
7.1	Überblick	8
7.2	Adsorption	8
7.2.1	Grundlagen	8
7.2.2	Einsatz von Aktivkohle in der Abwassertechnik zur Spurenstoffelimination	13
7.2.2.1	Pulveraktivkohle	13
7.2.2.2	Granulierte Aktivkohle	14
7.3	Ozonung	16
7.3.1	Grundlagen	16
7.3.1.1	Einsatz und Wirkung von Ozon	16
7.3.1.2	Ozonanwendung	17
7.3.2	Einsatz von Ozon in der Abwassertechnik zur Spurenstoffelimination	18
8	Darstellung der untersuchten Verfahrenskombinationen	19
8.1	Beschickungsmenge	19
8.2	Zur Verfügung stehendes Baufeld	21
8.3	Verfahrensfestlegung	22
8.4	Randbedingungen	22
8.5	Varianten	22
8.5.1	Variante 1: PAK mit Rücklaufkohle	22
8.5.1.1	Allgemeines	22

8.5.1.2	Ausführung.....	23
8.5.2	Variante 2: Filtration über granulierte Aktivkohle.....	25
8.5.2.1	Allgemeines.....	25
8.5.2.2	Ausführung.....	26
8.5.3	Variante 3: Ozonung mit vorgeschaltetem Sandfilter	28
8.5.3.1	Allgemeines.....	28
8.5.3.2	Ausführung.....	28
8.6	Ergebnisübersicht Varianten.....	31
9	Kosten.....	32
9.1	Allgemein	32
9.2	Investitionskosten.....	32
9.3	Betriebskosten	32
9.4	Jahreskosten.....	34
9.5	Einfluss der Fördergelder auf die Jahreskosten.....	35
9.6	Sensitivitätsanalyse	36
10	Bewertung.....	37
11	Zusammenfassung.....	38
12	Einschätzung des Handlungsbedarfes.....	40
	Literaturverzeichnis	41

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 Velen

Bildverzeichnis

Bild 1:	Durchflussmenge im Ablauf der KA Velen (2014).....	2
Bild 2:	Auswertung der Screening-Ergebnisse im Zulauf der KA Velen	5
Bild 3:	Auswertung der Screening-Ergebnisse im Ablauf der KA Velen	6
Bild 4:	Vergleich der Spurenstoffkonzentrationen im Ablauf mit Literaturwerten	6
Bild 5:	Konzentrationen im Zu- und Ablauf der Kläranlage Velen	7
Bild 6:	Auswertung der Screening-Ergebnisse oberhalb und unterhalb der Einleitungsstelle	7
Bild 7:	Verfahren zur Spurenstoffelimination (Kompetenzzentrum Spurenstoffe BW 2013).....	8
Bild 8:	Grundbegriffe der Adsorption	9
Bild 9:	Teilschritte der Adsorption (Breitbach und Bathen, 2001).....	9
Bild 10:	Isotherme Adsorption Phenol an Aktivkohle bei unterschiedlichen NaCl-Konzentrationen (Cooney 1998).....	10
Bild 11:	Adsorptionsverhalten zweier unterschiedlicher Stoffe im Festbettadsorber (DVGW W 239)	11
Bild 12:	Verlagerung der Adsorptionszone über die Filterlaufzeit (Sontheimer u. a., 1985).....	12
Bild 13:	Durchbruchskurve eines Adsorptivgemisches (Worch 2004, modifiziert).....	12
Bild 14:	Schema Ozonerzeugung (Gujer 1999, modifiziert)	17
Bild 15:	Ergebnisse Elimination Spurenstoffe ARA Regensdorf (Abegglen u. a. 2009).....	18
Bild 16:	Wirkungsgrade bei Vollstrombehandlung (Konzentration beispielhaft)	19
Bild 17:	Wirkungsgrade bei Teilstrombehandlung (Konzentration beispielhaft)	20
Bild 18:	Beispielhaft grafische Darstellung Wirkungsgrade bei Teilstrombehandlung	20
Bild 19:	Summenhäufigkeitskurve für die Ablaufwassermenge im Untersuchungszeitraum	21
Bild 20:	Freifläche für die vierte Reinigungsstufe.....	21
Bild 21:	Blockschema Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle.....	23
Bild 22:	Schnitt eines Tuchfilters, Ausführungsbeispiel (Quelle: Mecana).....	24

Bild 23:	Lageplanausschnitt Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle	25
Bild 24:	Blockschema Variante 2: GAK-Filtration.....	26
Bild 25:	Lageplanausschnitt Variante 2: GAK-Filtration	27
Bild 26:	Blockschema Variante 3.....	28
Bild 27:	Dyna-Sandfilter: links: Prinzipdarstellung, rechts: Anordnung im Betonbecken (Quelle: Nordic-Water)	29
Bild 28:	Lageplanausschnitt Variante 3: Ozonung mit vorgeschaltetem Dynasandfilter	30
Bild 29:	Anteile kapital-, betriebs- und verbrauchsgebundene Kosten an den Jahreskosten.....	35
Bild 30:	Vergleich der Jahreskosten mit und ohne 60%-Förderung	35

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 Velen hat die TUTTAHS & MEYER Ing.-GmbH beauftragt, für die Kläranlage Velen eine solche Studie auszuarbeiten.

Mit der Studie soll eine Entscheidungsgrundlage geschaffen werden, um die Auswahl eines möglichen Verfahrens durch die Stadt Velen 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;
- Auswertung der Ergebnisse der Spurenstoffanalytik;
- 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:

- Lageplan Kläranlage Velen (analog), Ing.-Büro Wieferig u. Filling, November 1988;
- Unterlagen der Kläranlage Velen für das Betriebsjahr 2014 (analog);

- Jahresbericht 2014 für die Kläranlage Velen (analog), Januar 2015;
- Untersuchungen am Zu- und Ablauf der Kläranlage Velen-Ramsdorf (analog), Hygiene-Institut des Ruhrgebiets zu Gelsenkirchen, Dezember 2014.
- Erlaubnisbescheid gem. § 10 WHG für die Einleitung von Abwasser aus der Kläranlage Velen in die Bocholter Aa, Juni 2011.

3 Belastungsdaten Hydraulik

Die Bemessungswerte der Kläranlage Velen sind im Folgenden aufgeführt:

Trockenwetterzufluss	Q_{TW}	=	301 m ³ /h	≈ 83,61 l/s
Mischwasserabfluss	Q_M	=	692 m ³ /h	≈ 192,22 l/s

Die hydraulische Auslegung der 4. Reinigungsstufe, die nach der Nachklärung in den Reinigungsprozess eingebunden wird, erfolgt in der Regel auf Basis der Ablaufmengen der Kläranlage. **Bild 1** stellt die Ganglinie der Abwassermengen (51 Werte) im Ablauf der Anlage für das Jahr 2014 dar. Die mittlere Ablaufmenge beträgt 184 m³/h. Maximal wurden 402 m³/h im Betrachtungszeitraum abgeleitet.

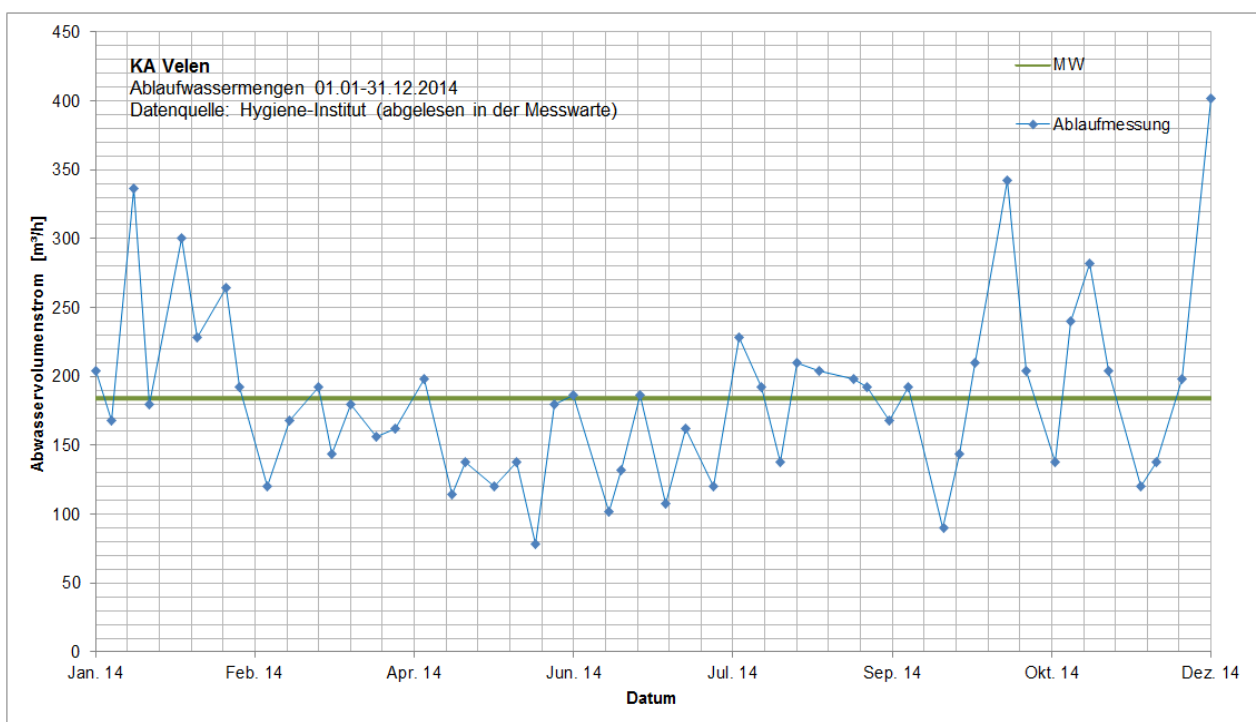


Bild 1: Durchflussmenge im Ablauf der KA Velen (2014)

4 Reinigungsanforderungen

Die Überwachungswerte für die Kläranlage Velen sind für die Parameter CSB, BSB₅, Ammoniumstickstoff, Gesamt-Stickstoff, anorganisch und Gesamt-Phosphor festgelegt.

Folgende Überwachungswerte sind einzuhalten:

Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB):	60	mg/l
Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB ₅):	12	mg/l
Stickstoff, anorganisch (N _{anorg}):	16	mg/l (≥ 12 °C)
Ammonium-Stickstoff (NH ₄ -N):	5	mg/l (≥ 12 °C)
Phosphor, gesamt (P _{ges}):	1	mg/l

5 Anlagenbestand

5.1 Kurzbeschreibung

Die Kläranlage Velen wurde zuletzt im Jahr 1993 erweitert. Sie ist auf eine Anschlussgröße von 20.000 EW ausgelegt. Der Vorfluter der Anlage ist die Bocholter Aa.

Die Anlage gliedert sich in eine mechanische und eine biologische Reinigungsstufe. Die mechanische Stufe umfasst eine Rechenanlage und einen belüfteten Sandfang. Der Ablauf aus dem Sandfang wird in ein Verteilerbauwerk geleitet, dem ebenfalls der Rücklaufschlamm zufließt. Das Abwasser-Schlamm-Gemisch wird anschließend in die Belebungsstufe geführt. Diese besteht aus zwei gleichgroßen Rundbecken (je V = 3.000 m³), die nach dem Belebungsverfahren mit simultaner Denitrifikation zur Stickstoffeliminierung arbeiten. Die chemische Elimination von Phosphor erfolgt in Form einer Simultanfällung.

Die Abläufe der Belebungsbecken gelangen in das als Rundbecken ausgeführte Nachklärbecken. Dieses besitzt ein Volumen von ca. 2.480 m³. Der Ablauf der Nachklärung wird über eine Ablaufmessung zunächst in den vorhandenen Schönungsteich und anschließend in die Bocholter Aa geleitet. Der aus dem Nachklärbecken abgezogene Überschussschlamm wird auf der Kläranlage voreingedickt und in Schlammbehältern zwischengespeichert. Der konditionierte Schlamm wird extern entsorgt und verwertet. Der Rücklaufschlamm wird über das Rücklaufschlammumpwerk gehoben und in die Belebung zurückgeführt.

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 (µg/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 be-

steht 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-Ergebnisse

Die Untersuchung von Wasserproben auf ausgewählte Spurenstoffe wurde von der OWL Umweltanalytik GmbH durchgeführt.

Im Zulauf wurde eine mehrtägige, zeitproportionale Mischprobe (09.02-12.02.2015) analysiert. Die Ergebnisse des Screenings sind im **Bild 2** dargestellt. Die magentafarbene Umrandung hebt die Spurenstoffe mit auffällig hohen Konzentrationen im Zulauf hervor. Als Referenzwerte wurden die Orientierungswerte der sogenannten „D4-Liste“ herangezogen.

Im Ablauf wurde eine mehrtägige, volumenstromproportionale Mischprobe (09.02-12.02.2015) analysiert. Die Probenahmen erfolgten mit einem Zeitversatz von 1 Tag, um die hydraulische Verweilzeit des Abwassers in der Anlage zu berücksichtigen. Die Screening-Ergebnisse sind im **Bild 3** dargestellt.

Bezeichnung	Parameter	Einheit	mehrtägige-Mischprobe vom 09.02-12.02.2015	Orientierungswert aus: Anlage D4: Umweltqualitätsnormen und Orientierungswerte	Anmerkung
a	Bezafibrat	µg/l	0,57	0,10	
b	Diclofenac	µg/l	3,20	0,10	
c	Naproxen	µg/l	0,32	0,10	
d	Phenazon	µg/l	0,07	0,11	
e	Carbamazepin	µg/l	0,77	0,50	
f	Atenolol	µg/l	<0,05	0,10	
g	Bisoprolol	µg/l	0,31	0,10	
h	Metoprolol	µg/l	1,40	7,30	
i	Sotalol	µg/l	0,06	0,10	
j	Clarithromycin	µg/l	<0,05	0,02	
k	Sulfamethoxazol	µg/l	0,62	0,15	
l	Oxazepam	µg/l	<0,05	0,10	
m	Amidotrizoesäure	µg/l	1,80	0,10	
n	lomeprol	µg/l	1,10	0,10	
o	lopamidol	µg/l	9,20	0,10	
p	lopromid	µg/l	10,00	0,100	
q	Diuron	µg/l	<0,05	0,200	UQN (J-MW)
r	Isoproturon	µg/l	<0,05	0,300	UQN (J-MW)
s	Terbutryn	µg/l	<0,05	0,065	
t	Benzotriazol	µg/l	6,60	10,000	
v	17-alpha-Ethinylestradiol	ng/l	<1	0,04	als Ethinylestradiol gefunden
w	17-beta-Estradiol	ng/l	56,00	0,40	als Estradiol gefunden
x	Estron	ng/l	93,00		OW nicht gefunden

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

BG Bestimmungsgrenze
 OW Orientierungswert
 MW Messwert
 UQN Umweltqualitätsnorm

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/_Anlage_4

Bild 2: Auswertung der Screening-Ergebnisse im Zulauf der KA Velen

Bezeichnung	Parameter	Einheit	mehrtägige-Mischprobe vom 09.02-12.02.2015	Orientierungswert aus: Anlage D4: Umweltqualitätsnormen und Orientierungswerte	Anmerkung
a	Bezafibrat	µg/l	0,09	0,10	
b	Diclofenac	µg/l	1,80	0,10	
c	Naproxen	µg/l	0,13	0,10	
d	Phenazon	µg/l	<0,05	0,11	
e	Carbamazepin	µg/l	0,66	0,50	
f	Atenolol	µg/l	<0,05	0,10	
g	Bisoprolol	µg/l	0,22	0,10	
h	Metroprolol	µg/l	0,86	7,30	
i	Sotalol	µg/l	0,07	0,10	
j	Clarithromycin	µg/l	0,07	0,02	
k	Sulfamethoxazol	µg/l	0,30	0,15	
l	Oxazepam	µg/l	<0,05	0,10	
m	Amidotrizoessäure	µg/l	1,30	0,10	
n	lomeprol	µg/l	0,42	0,10	
o	Iopamidol	µg/l	8,50	0,10	
p	Iopromid	µg/l	3,00	0,100	
q	Diuron	µg/l	<0,05	0,200	UQN (J-MW)
r	Isoproturon	µg/l	<0,05	0,300	UQN (J-MW)
s	Terbutryn	µg/l	<0,05	0,065	
t	Benzotriazol	µg/l	3,60	10,000	
v	17-alpha-Ethinylestradiol	ng/l	<1	0,04	als Ethinylestradiol gefunden
w	17-beta-Estradiol	ng/l	<5	0,40	als Estradiol gefunden
x	Estron	ng/l	<5		OW nicht gefunden

Farbe	Beurteilung	Kriterium
Blau	sehr gut	MW <= 0,1 * OW
Grün	gut	0,1 * OW < MW <= OW
Gelb	mäßig	OW < MW <= 2 * OW
Orange	unbefriedigend	2 * OW < MW <= 10 * OW
Rot	schlecht	MW > 10 * OW
weiß	keine Aussage	

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

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/_Anlage_4

Bild 3: Auswertung der Screening-Ergebnisse im Ablauf der KA Velen

Bild 4 zeigt ein Diagramm der gemessenen Spurenstoffkonzentrationen im Vergleich zu Literaturwerten. Ein Balken stellt den Bereich zwischen der niedrigsten und höchsten gemessenen Konzentration dar. Die Spurenstoffkonzentrationen im Ablauf der Kläranlage Velen entsprechen größtenteils den Literaturwerten und überschreiten mit Ausnahme vom Röntgenkontrastmittel Iopamidol nicht die Maximalwerte aus der Literatur. Bei den schraffierten Balken handelt es sich um Konzentrationen, die bei der Laboruntersuchung unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen.

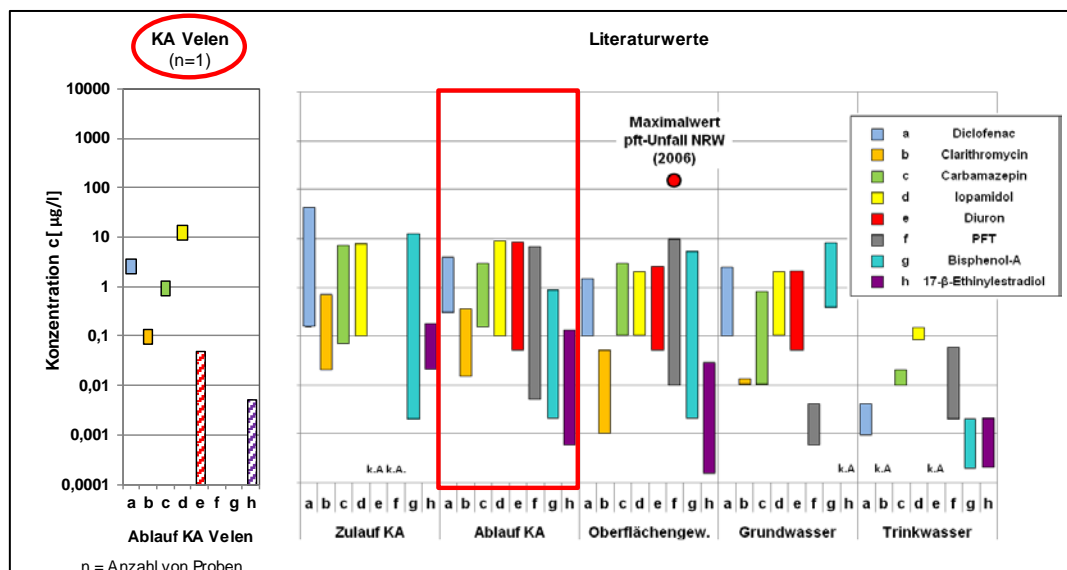


Bild 4: Vergleich der Spurenstoffkonzentrationen im Ablauf mit Literaturwerten

Das Konzentrationsniveau der untersuchten Stoffe im Ablauf der KA Velen ist vergleichbar mit anderen Kläranlagen, deren Ablauf im Rahmen der Studien „4. Reinigungsstufe“ untersucht wurde. Im **Bild 5** sind die Konzentrationen der untersuchten Spurenstoffe im Zu- und Ablauf der Kläranlage Velen dargestellt. Die Y-Achse weist eine logarithmische Skala auf. Bei den schraffierten Balken handelt es sich um Stoffe, deren Konzentrationen bei der Laboruntersuchung unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen. Der helle Balken gibt den Orientierungswert nach der sogenannten „D4-Liste“ an. Da die Beprobung im Zulauf im Gegensatz zum Ablauf aufgrund der örtlichen Randbedingungen zeitproportional erfolgte, können aus den Zulauf- und Ablaufkonzentrationen keine Eliminationsgrade hergeleitet werden.

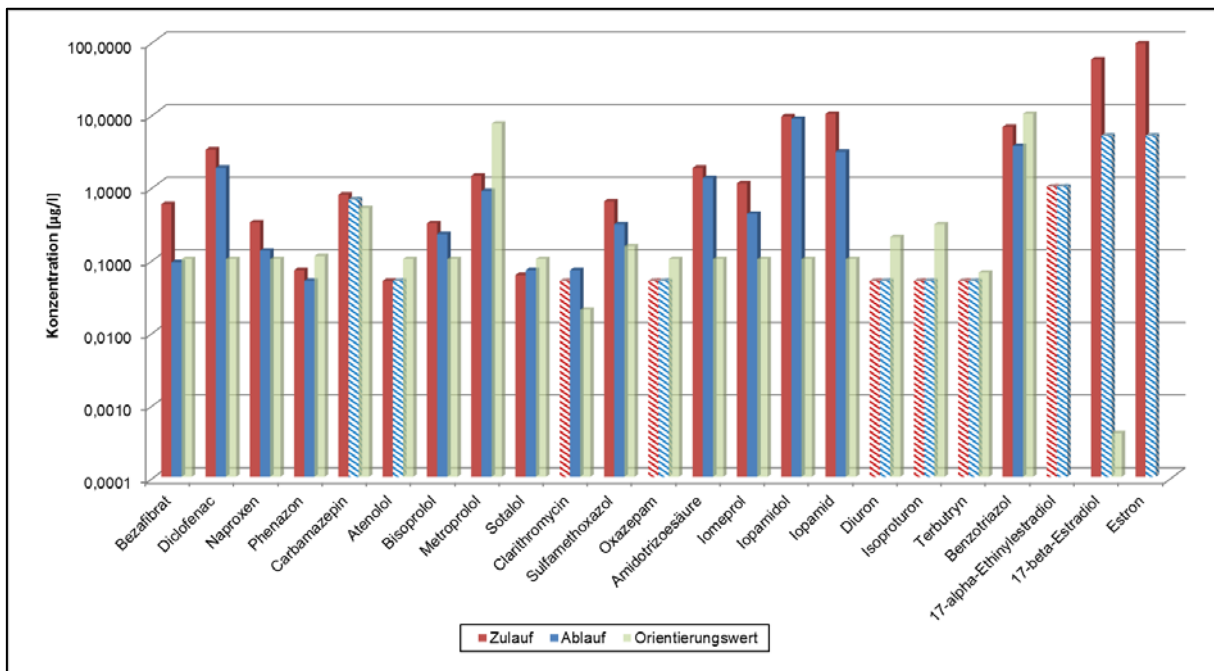


Bild 5: Konzentrationen im Zu- und Ablauf der Kläranlage Velen

Oberhalb und unterhalb der Einleitungsstelle wurde auch eine Mischprobe analysiert (siehe **Bild 6**). Oberhalb lag die Konzentration aller untersuchten Stoffe unterhalb der Bestimmungsgrenze. Unterhalb der Kläranlage wurden Diclofenac und Benzotriazol mit Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze gemessen. Bei Benzotriazol lag der Messwert mit 0,27 µg/l unterhalb des Orientierungswertes von 10 µg/l. Bei Diclofenac wird der Orientierungswert von 0,1 µg/l mit 0,17 µg/l überschritten. Dies führt zu einer Einstufung als „mäßig belastet“ bezüglich Diclofenac. In der weiteren Planung sollte die Beprobung fortgeführt werden, um höhere Datensicherheit zu erhalten.

		Oberhalb Ablauf KA	Unterhalb Ablauf KA	OW
Diclofenac	µg/l	<0,05	0,17	0,1
Carbamazepin	µg/l	<0,05	<0,05	
Metropolol	µg/l	<0,05	<0,05	
Sotalol	µg/l	<0,05	<0,05	
Clarithromycin	µg/l	<0,05	<0,05	
Sulfamethoxazol	µg/l	<0,05	<0,05	
Benzotriazol	µg/l	<0,05	0,27	10

Bild 6: Auswertung der Screening-Ergebnisse oberhalb und unterhalb der Einleitungsstelle

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 Velen 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).

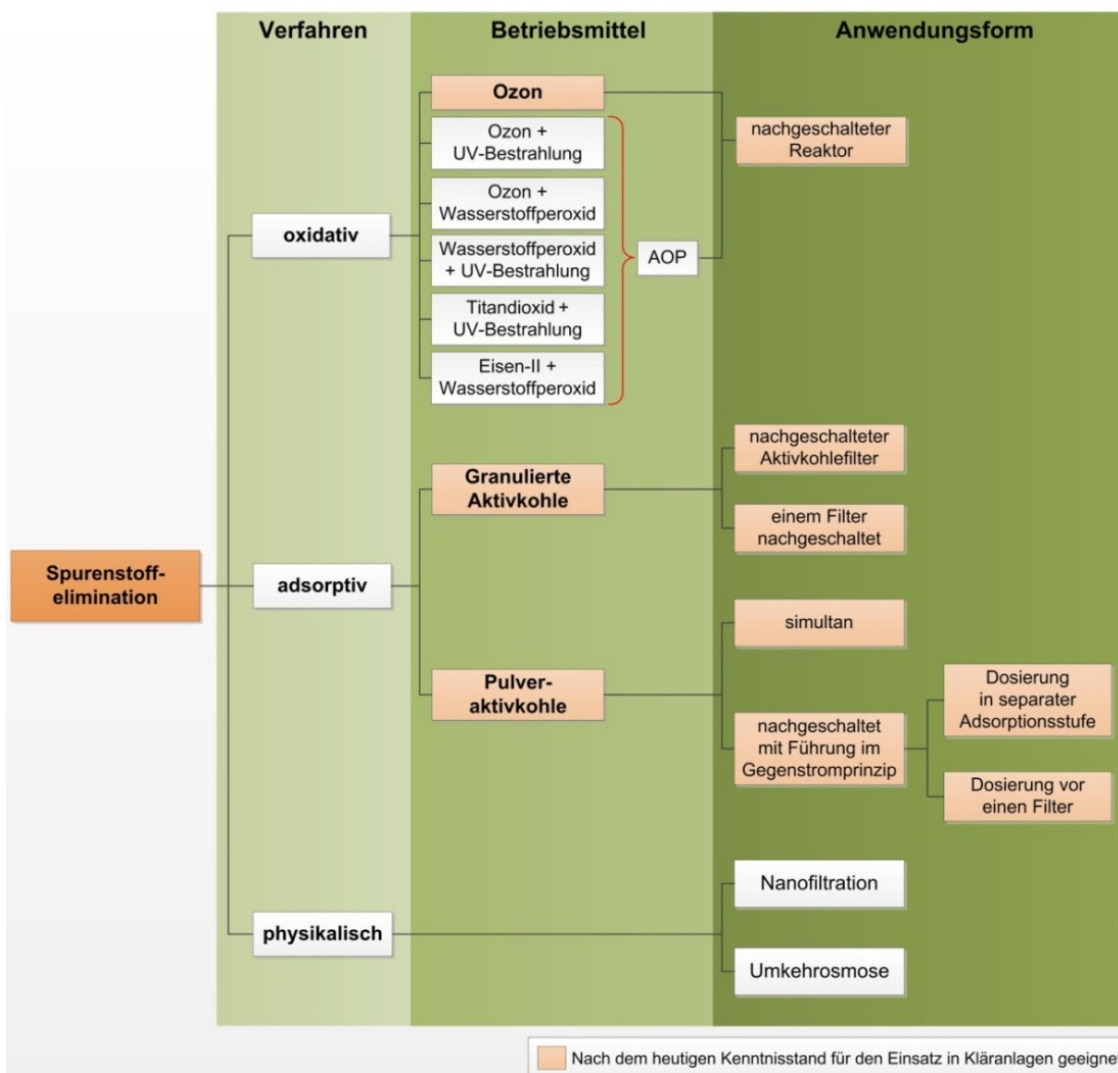


Bild 7: Verfahren zur Spurenstoffelimination (Kompetenzzentrum Spurenstoffe BW 2013)

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 8** sind schematisch die Zusammenhänge dargestellt.

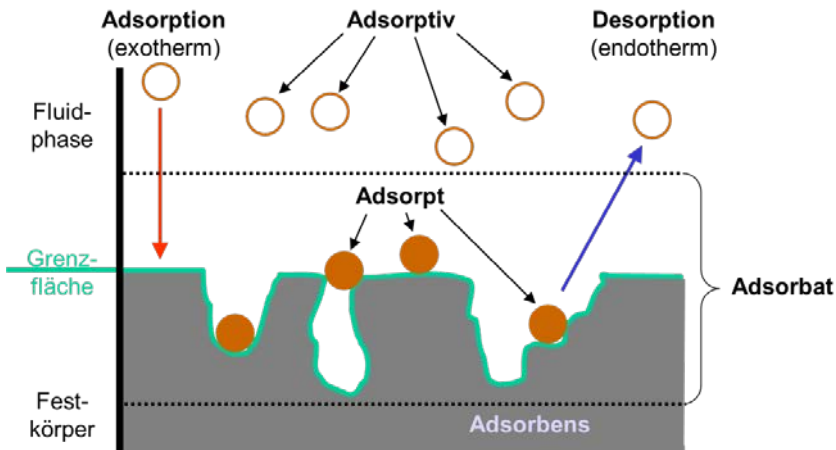


Bild 8: Grundbegriffe der Adsorption

Die Adsorption erfolgt in mehreren Teilschritten auch an der inneren Oberfläche des Adsorbens. Dies ist im **Bild 9** 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-Der-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.

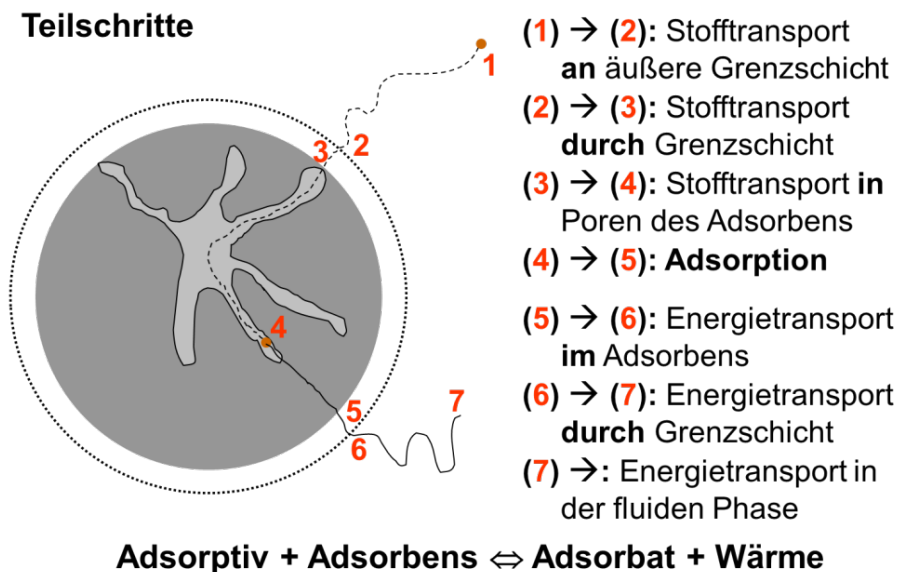


Bild 9: Teilschritte der Adsorption (Breitbach und Bathen, 2001)

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-NH₂) senken die Adsorbierbarkeit sehr stark
 - Sulfonsäure-Gruppe (R-SO₃H) senken meistens die Adsorbierbarkeit
 - Nitro-Gruppe (R-NO₂) 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 10**, 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 Adsorpt (Phenol) neutralisiert und eine höhere Packungsdichte auf dem Adsorbens erreicht (Cooney 1998).

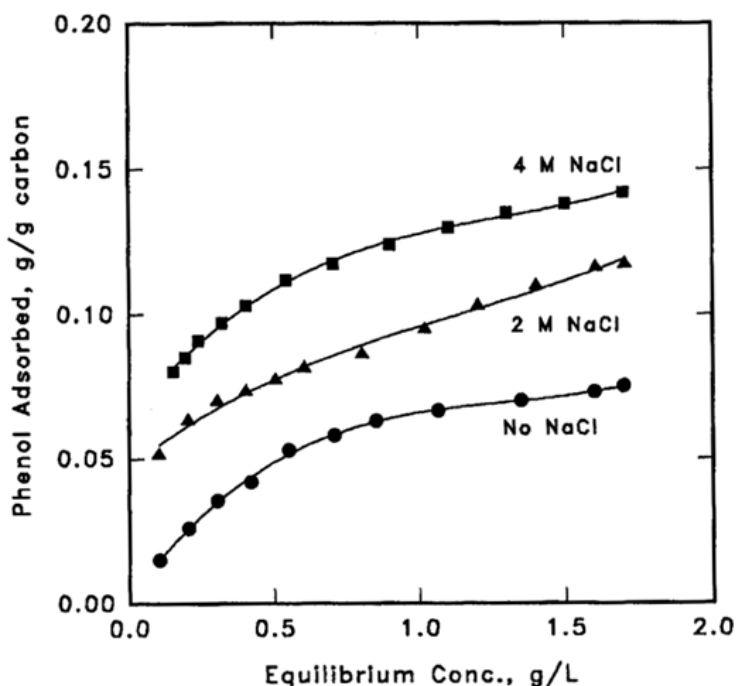


Bild 10: Isotherme Adsorption Phenol an Aktivkohle bei unterschiedlichen NaCl-Konzentrationen (Cooney 1998)

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 Aktivierung 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 11** ist dies für zwei unterschiedlich adsorbierbare Stoffe dargestellt.

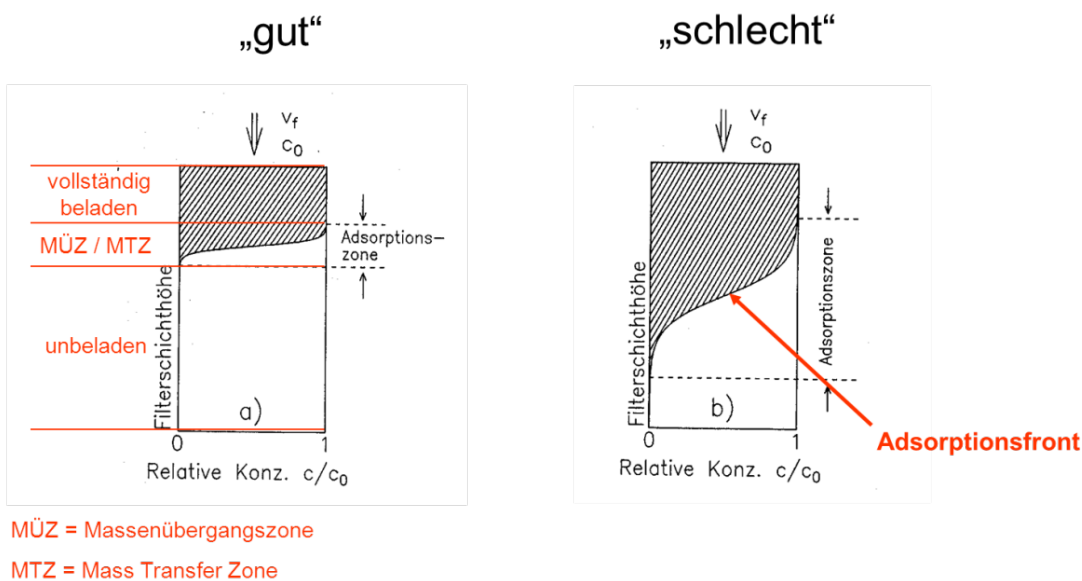


Bild 11: Adsorptionsverhalten zweier unterschiedlicher Stoffe im Festbettadsorber (DVGW W 239)

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 12** zeigt. In darunterliegenden Graphen ist die Ablaufkonzentration über der Filterlaufzeit aufge-

tragen. 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.

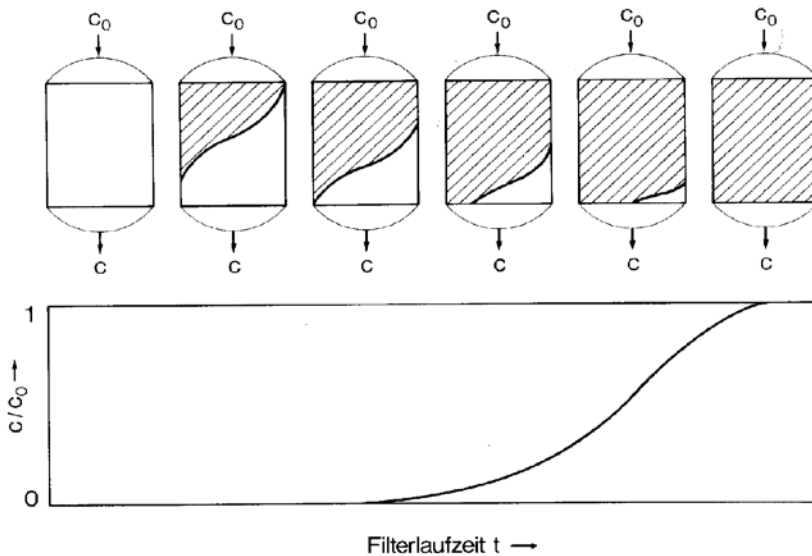


Bild 12: Verlagerung der Adsorptionszone über die Filterlaufzeit (Sontheimer u. a., 1985)

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 13** ist der Zusammenhang dargestellt. Dieses Verhalten wird „Chromatografie-Effekt“ genannt.

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.

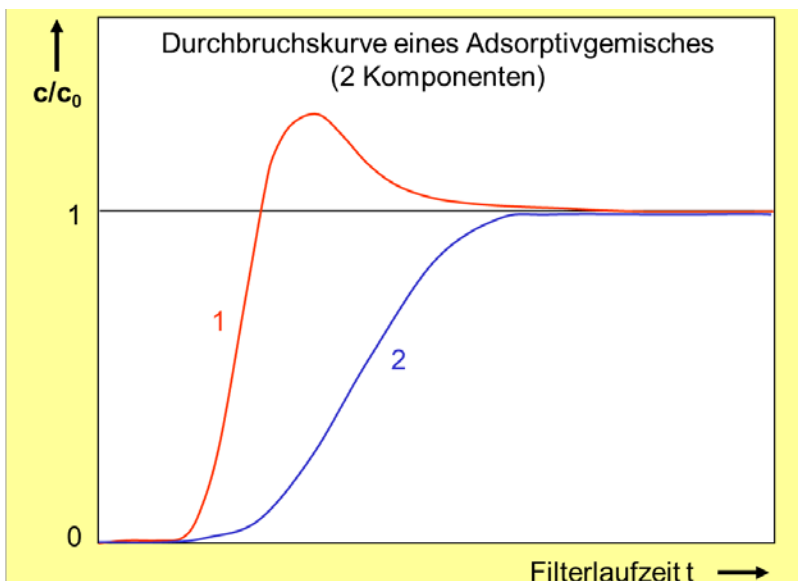


Bild 13: Durchbruchskurve eines Adsorptivgemisches (Worch 2004, modifiziert)

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 (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 g/m³) hilfreich, um Filterdurchbruch zu verhindern.
- P_{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 Stüttschicht 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 Festbett-denitrifikation. 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 Festbett-denitrifikation) in der Kläranlage „Obere Lutter“ bessere Ergebnisse als mit dem Austausch des Filtermaterials in der bestehenden Filtration, wie in Düren, erzielt.

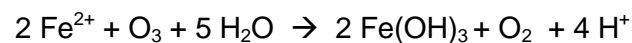
7.3 Ozonung

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 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 ($\text{OH}\bullet$). 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 OH -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 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.

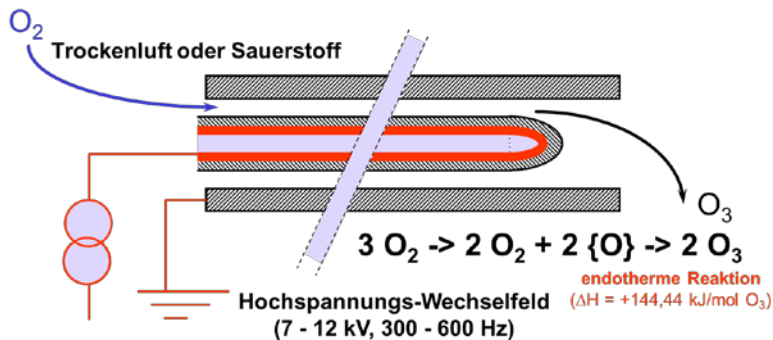


Bild 14: Schema Ozonerzeugung (Gujer 1999, modifiziert)

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 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 O_3 -Erzeugung, Kühlung und Restozonvernichtung, so ergibt sich ein Bedarf an elektrischer Energie von 10...11 kWh/kg 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 15**, sind die erzielten Eliminationsgrade dargestellt.

In wirtschaftlicher und betrieblicher Hinsicht erwies sich in Regensdorf eine Ozondosis von 0,62 mg O₃/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.

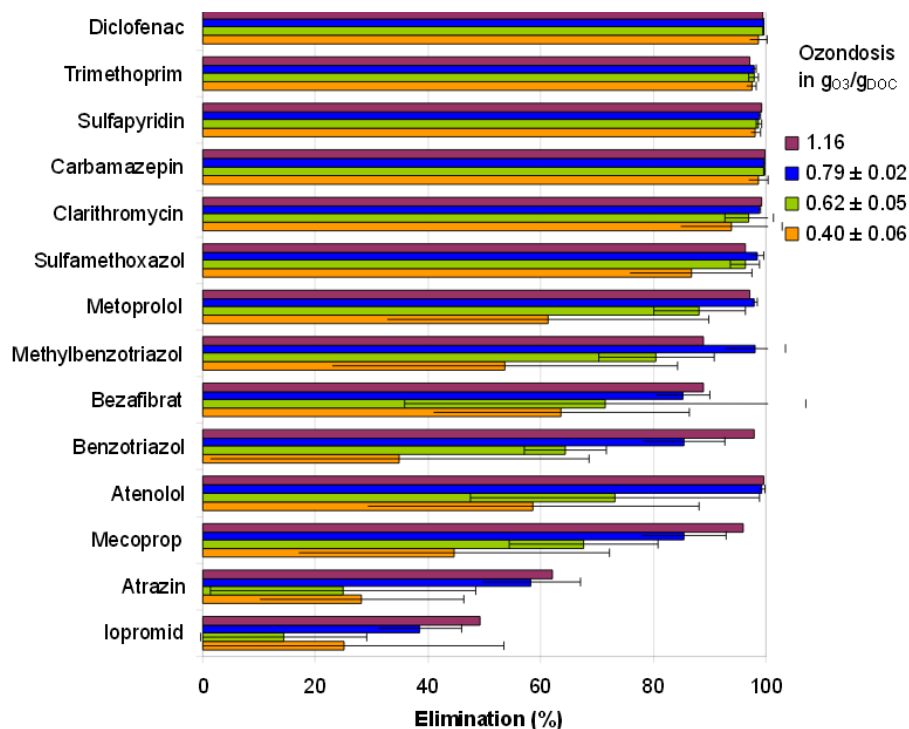


Bild 15: Ergebnisse Elimination Spurenstoffe ARA Regensdorf (Abegglen u. a. 2009)

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 16** und **Bild 17**. Stellt man den Zusammenhang zwischen den Anteilen Teilstrombehandlung und Eliminationsgrad unter den oben genannten Annahmen grafisch dar, so ergibt sich der in **Bild 18** gezeigte Zusammenhang.

Beispiel Vollstrombehandlung

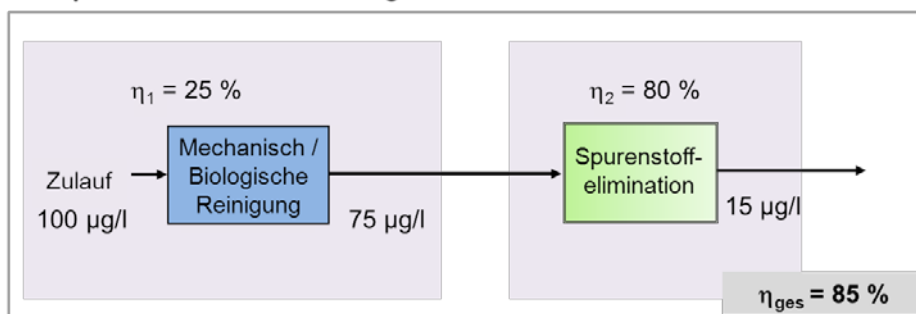


Bild 16: Wirkungsgrade bei Vollstrombehandlung (Konzentration beispielhaft)

Beispiel Teilstrombehandlung

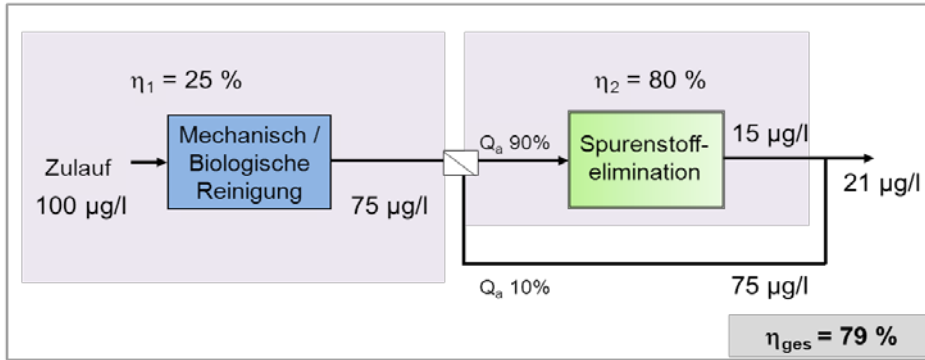


Bild 17: Wirkungsgrade bei Teilstrombehandlung (Konzentration beispielhaft)

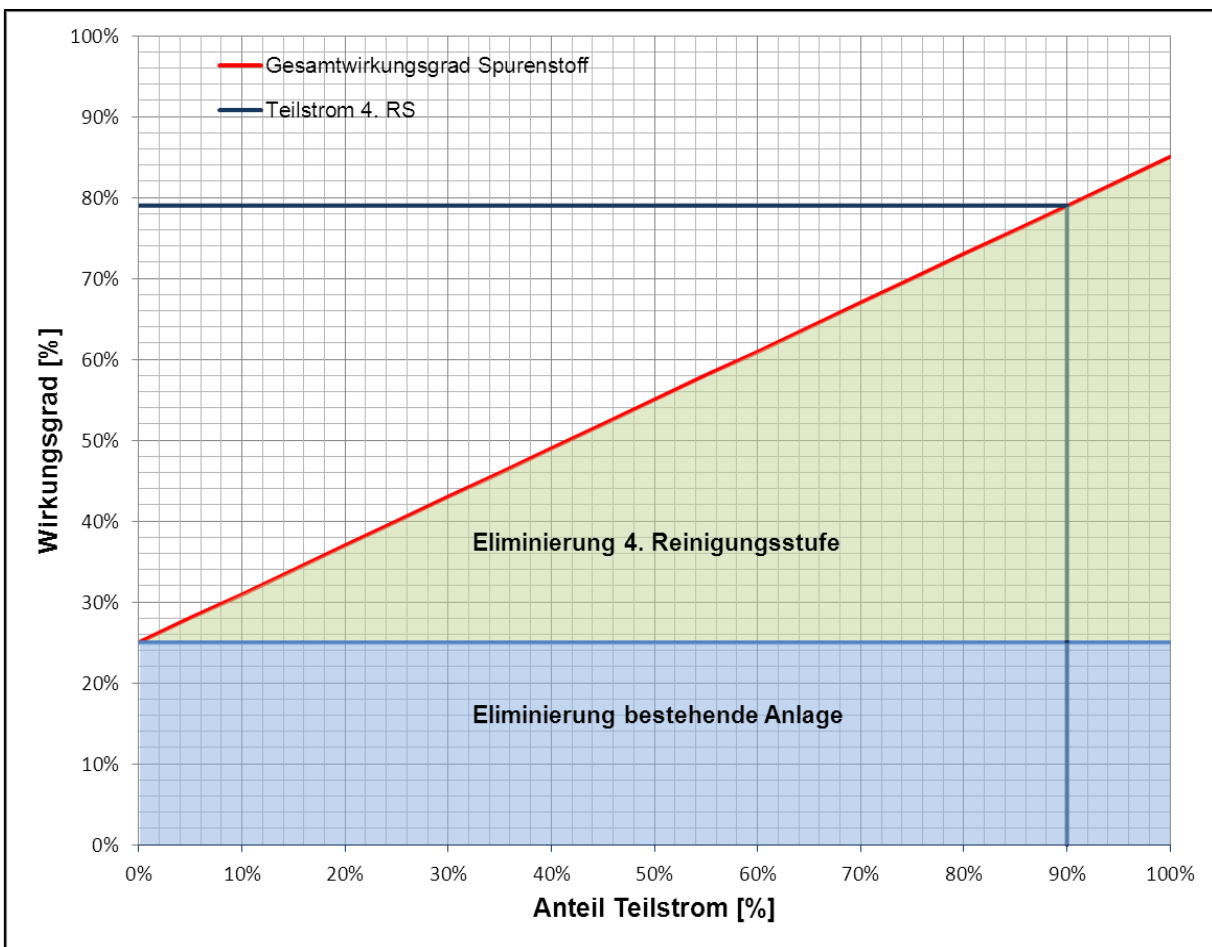


Bild 18: Beispielhaft grafische Darstellung Wirkungsgrade bei Teilstrombehandlung

Für eine Vollstrombehandlung müsste auf der Kläranlage Velen eine Kapazität zur Behandlung von 692 m³/h vorgehalten werden. Die berechnete Jahresabwassermenge beträgt nach unserer Auswertung 1.557.906 m³/a. Wenn die Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination auf einen Teilstrom von **200 m³/h** ausgelegt wird, kann die Verfahrensstufe im Vergleich zur Vollstrombehandlung um ca. 71 % kleiner ausgeführt werden. Somit könnten ca. 90% der Jahresabwassermenge (1.425.647 m³/a) in der 4. Reinigungsstufe behandelt werden (siehe **Bild 19**).

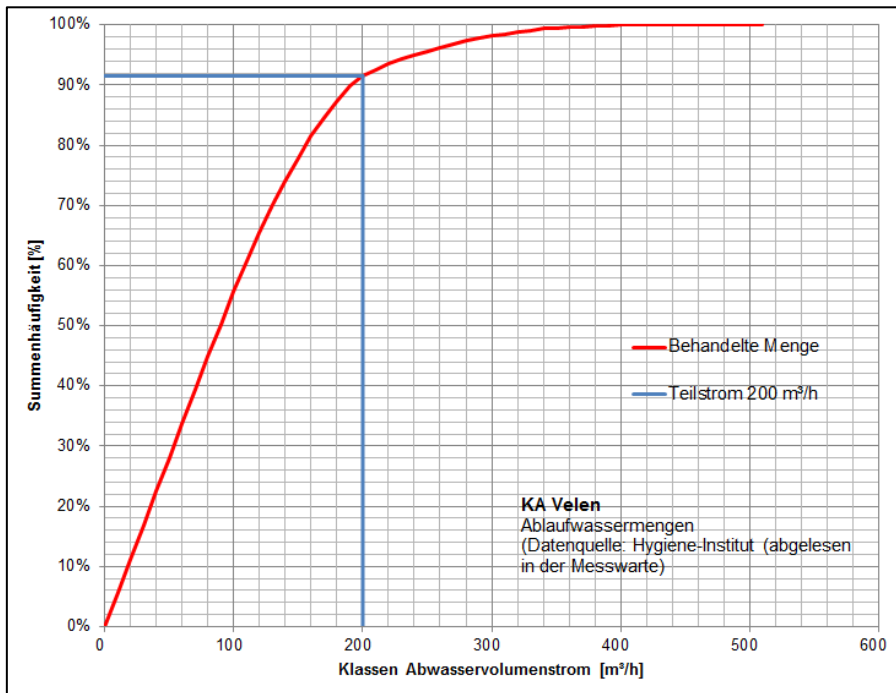


Bild 19: Summenhäufigkeitskurve für die Ablaufwassermenge im Untersuchungszeitraum

8.2 Zur Verfügung stehendes Baufeld

Die flächenintensivste Variante, die PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle, wurde in Abhängigkeit der örtlichen Randbedingung ausgelegt. Ausgehend vom größtmöglichen Beckenvolumen wurde die maximal behandelbare Wassermenge in der vierten Reinigungsstufe ermittelt. In **Bild 20** ist das für die neue Verfahrensstufe vorgesehene Baufeld auf dem Lageplan dargestellt.

Folgende Bemessungsansätze wurden der Berechnung zugrunde gelegt:

- Tiefe der Kontakt- und Absetzbecken: ca. 3 m
- Aufenthaltszeit im Kontaktbecken: 0,5 h
- Aufenthaltszeit im Absetzbecken: 2 h
- Nachbehandlung im Tuchfilter

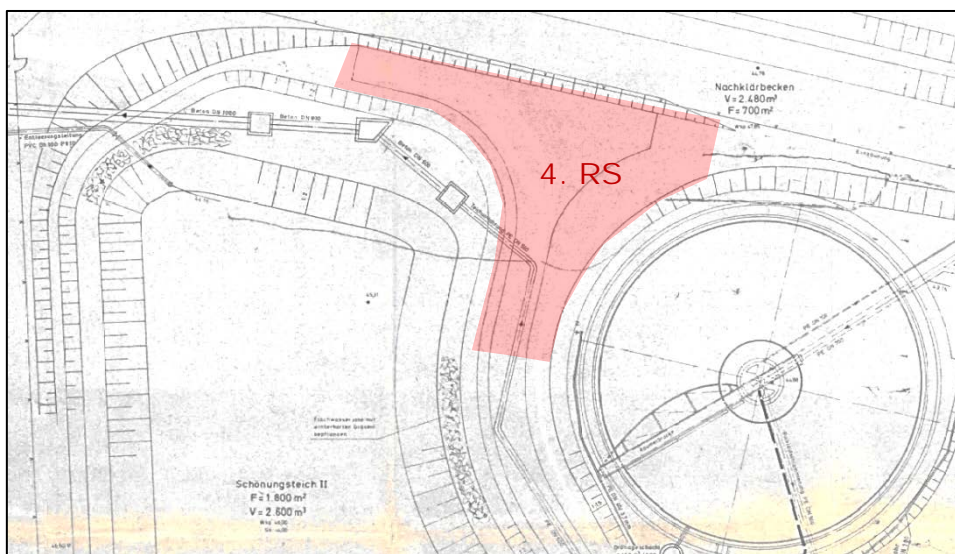


Bild 20: Freifläche für die vierte Reinigungsstufe

Die bestandsorientierte Auslegung ergab, dass auf der Kläranlage Velen eine maximale Teilstrommenge von **200 m³/h** behandelt werden kann. Das Absetzbecken weist ein Volumen von ca. **405 m³** auf. Das Kontaktbecken mit einem Volumen von rd. **108 m³** befindet sich über dem Absetzbecken. Die vorgegebenen Aufenthaltszeiten werden somit erreicht. Diese Ausführung hat den Vorteil, dass der bestehende Schönungsteich in seiner Gesamtheit erhalten bleibt.

Die Teilstrombehandlung wurde basierend auf dem Vorschlag von Tuttahs & Meyer in Abstimmung mit der Stadt Velen auf einen Volumenstrom von **200 m³/h** ausgelegt.

8.3 Verfahrensfestlegung

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie werden die folgenden drei Verfahrenskombinationen untersucht:

1. **Pulveraktivkohle mit Rücklaufkohleführung.** Abtrennung der PAK im Absetzbecken und in der nachgeschalteten Tuchfiltration,
2. **Filtration über granuliert Aktivkohle.** Festbettadsorber werden der bestehenden Anlage nachgeschaltet,
3. **Ozonung mit vorgeschaltetem Sandfilter.** Ablauf der Nachklärung wird vor der Ozonung über einen Sandfilter geführt. Als biologische aktive Stufe nach der Ozonung dient der vorhandene Schönungsteich.

8.4 Randbedingungen

Als Baufeld für die 4. Reinigungsstufe steht eine Fläche im Bereich der Nachklärung zur Verfügung. Diese Fläche befindet sich in unmittelbarer Nähe des Schönungsteiches. Da der Schönungsteich in Betrieb bleiben soll, sind erhöhte Anforderungen an die Wasserhaltung und zusätzliche Sicherungsmaßnahmen zur Erhaltung des Dauerstaus im Schönungsteich zu berücksichtigen. Zudem wird angestrebt, die Bauwerke möglichst hoch zu bauen. Dadurch ist eine Erhöhung der Pumpkosten im Zulauf der 4. Reinigungsstufe zu erwarten.

8.5 Varianten

8.5.1 Variante 1: PAK mit Rücklaufkohle

8.5.1.1 Allgemeines

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 zurückgefördert. 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 Velen würde dies bedeuten, dass ein Kontakt- und Absetzbecken sowie eine Filtration gebaut werden müssen. Weiterhin ist ein Silo einschließlich der Dosiertechnik für die Pulveraktivkohle notwendig. Fällmittel wird über die bestehende Anlage bezogen.

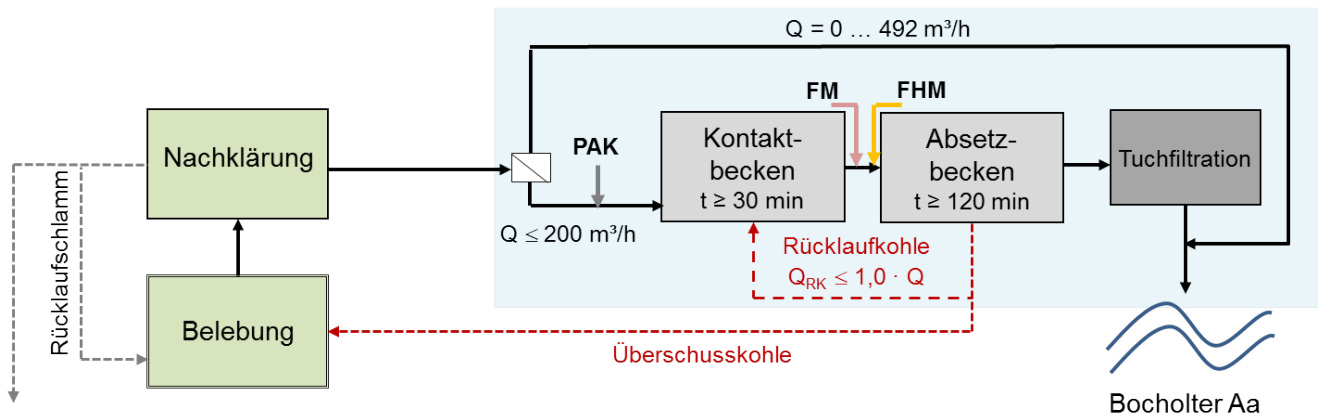


Bild 21: Blockschema Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle

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 200 m³/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.

8.5.1.2 Ausführung

Den Lageplan der Variante stellt **Blatt 1** der Planunterlagen dar. Die Becken werden bei dieser Variante aufgrund der Platzverhältnisse zweistöckig aufeinander gesetzt.

Pumpwerk 4. Reinigungsstufe

Die Beschickung der PAK-Stufe erfolgt über das Pumpwerk 4. Reinigungsstufe. Insgesamt stehen drei Pumpen mit einem Volumenstrom von je 100 m³/h zur Verfügung. Eine der drei Pumpen dient als Reserve. Das Wasser wird zunächst auf das Niveau des Kontaktbeckens gehoben.

Kontaktbecken

Es wird ein Kontaktbecken eingesetzt. Das Kontaktbecken ist als quadratisches Becken mit einer Wasserspiegelhöhe von 3 m ausgeführt. Bei einer Innenkantenlänge von 6 m ergibt sich ein Volumen von 108 m³. 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. Das Kontaktbecken ist mit einem Vertikalröhrwerk aus-

gestattet. Der Ablauf des Kontaktbeckens gelangt über ein Gerinne in das darunterliegende Absetzbecken.

Absetzbecken

Das Absetzbecken ist als Rechteckbecken ausgeführt. Die Aufenthaltszeit beträgt bei einem Volumen von 405 m³ ca. 120 min. Für die Räumung des anfallenden Schlammes wird eine Schildräumung vorgesehen. Der Schlamm wird in einen Sammelschacht geführt und mittels einer Schneckenpumpe wieder in den Zulauf des Kontaktbeckens zurückgeführt. Die Überschussschleife wird aus dem Sammelschacht entnommen und der Belebung zur weiteren Beladung zugeführt.

Tuchfiltration

Dem Absetzbecken wird eine einstraßige Filtrationsstufe zur Suspensa-Restentfernung nachgeschaltet. Es wird hier eine Tuchfiltration mit 6 Scheiben à 5 m² vorgesehen. Damit ergibt sich eine Gesamtfiltrationsfläche von 30 m². 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 22** ist ein Tuchfilter im Schnitt dargestellt.

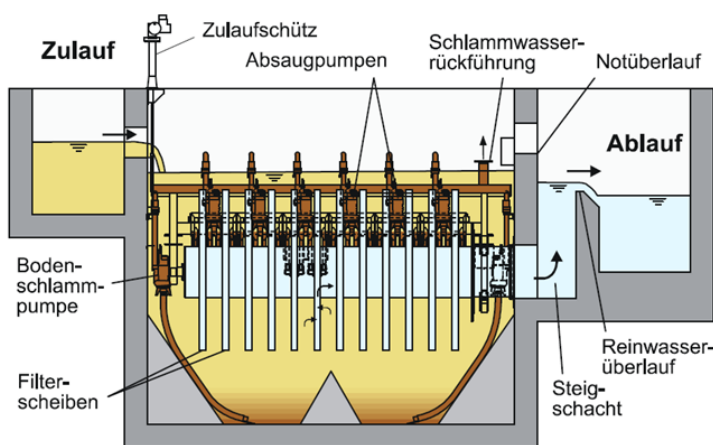


Bild 22: Schnitt eines Tuchfilters, Ausführungsbeispiel (Quelle: Mecana)

PAK-Silo

Zur Lagerung der Aktivkohle ist ein Silo mit einem Inhalt von 80 m³ vorgesehen.

Flockungs- und Flockungshilfsmittel

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.

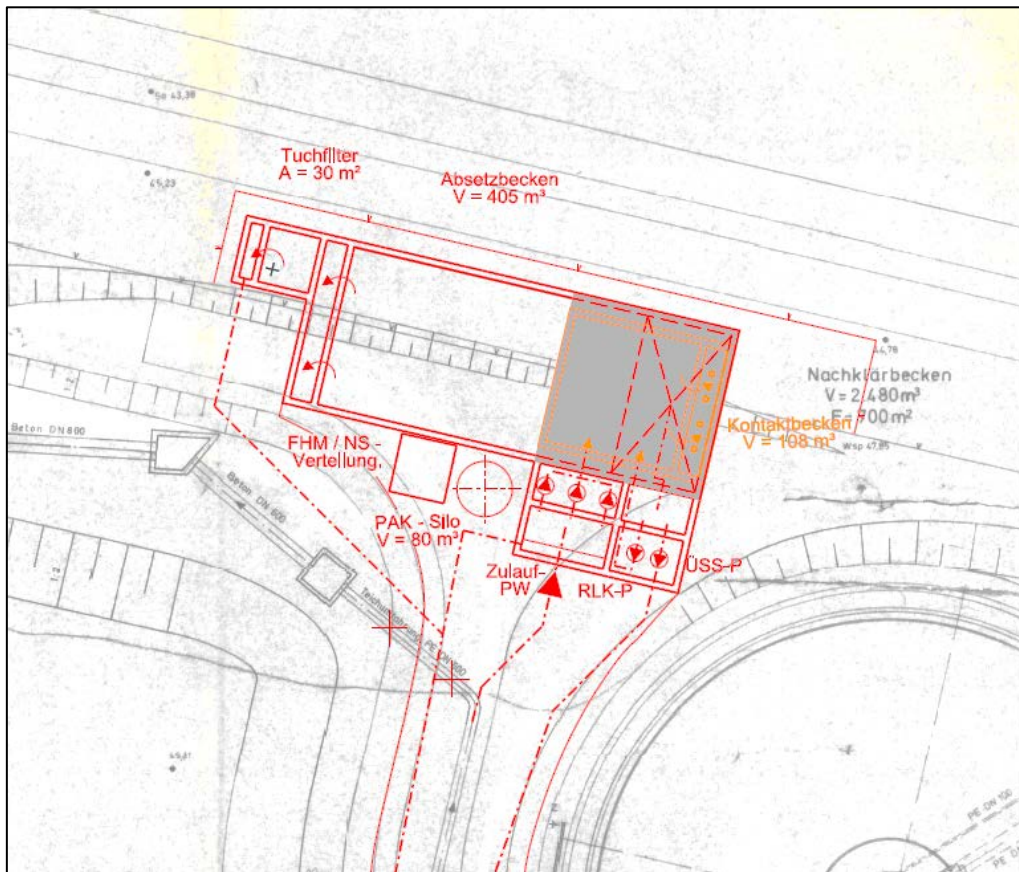


Bild 23: Lageplanausschnitt Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle

8.5.2 Variante 2: Filtration über granulierte Aktivkohle

8.5.2.1 Allgemeines

Der ausgewählte Teilstrom von maximal 200 m³/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 ²

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.

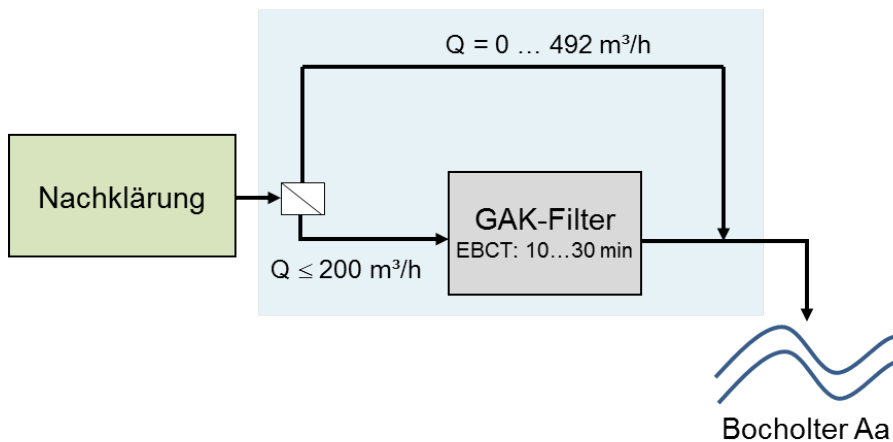


Bild 24: Blockschema Variante 2: GAK-Filtration

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.

8.5.2.2 Ausführung

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

Pumpwerk 4. Reinigungsstufe

Die Beschickung der GAK-Filtration erfolgt über das Pumpwerk 4. Reinigungsstufe. Insgesamt stehen 3 Pumpen mit einem Volumenstrom von je 100 m³/h zur Verfügung.

Filterblock

Der Filterblock besteht aus vier abwärtsdurchströmten offenen Filtern. Jede Filterkammer weist eine Fläche von 10 m^2 auf. Die Abmessungen einer Filterkammer liegen bei einer Breite von 2 m und einer Länge von 5 m .

Der Zulauf zu den vier 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^3 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.

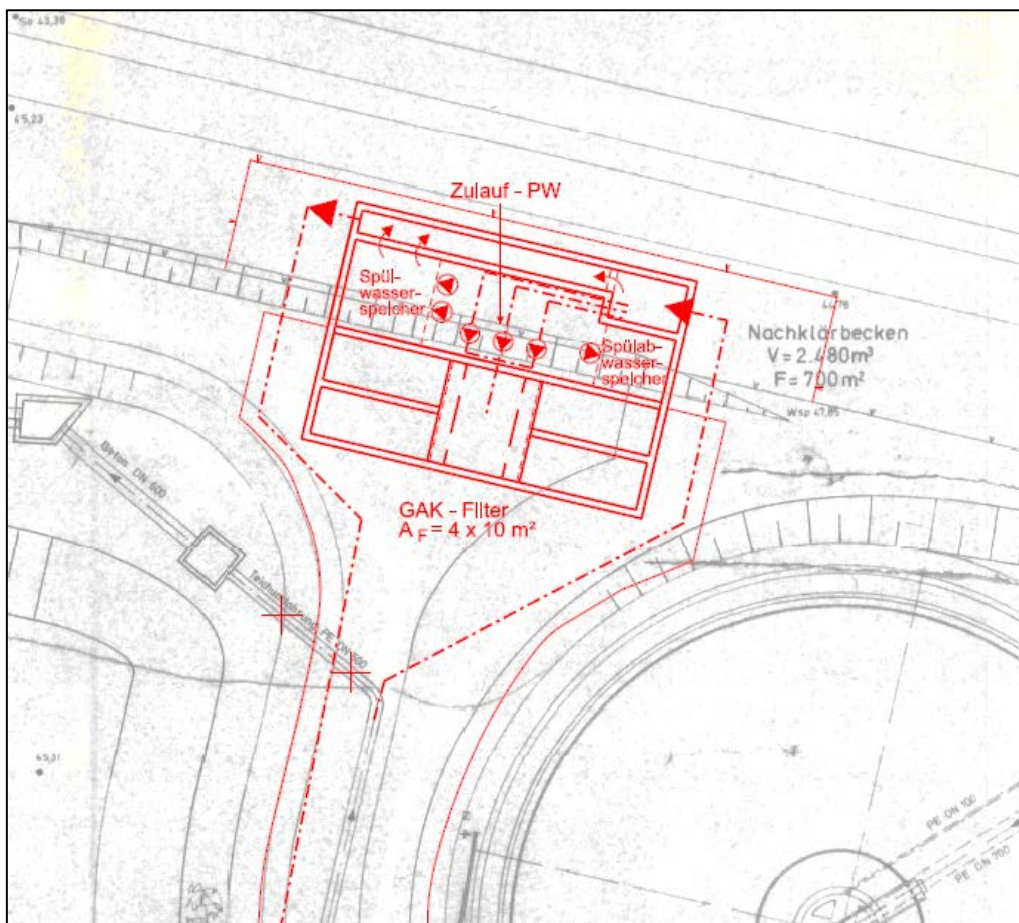


Bild 25: Lageplanausschnitt Variante 2: GAK-Filtration

8.5.3 Variante 3: Ozonung mit vorgeschaltetem Sandfilter

8.5.3.1 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 Abbeglen u. a. (2009) in einem großtechnischen Versuch auf der ARA Regensdorf nachweisen konnte. Der Ablauf der Ozonung wird im Rahmen dieser Studie in den nachgeschalteten Schönungsteich zum Abbau eventuell toxikologisch bedenklicher Stoffe geführt.

Die Ozonung wird anhand folgender Bemessungsparameter ausgelegt:

Ozondosis: 2...10 g/m³

Kontaktzeit im Reaktionsbehälter: 10...30 min

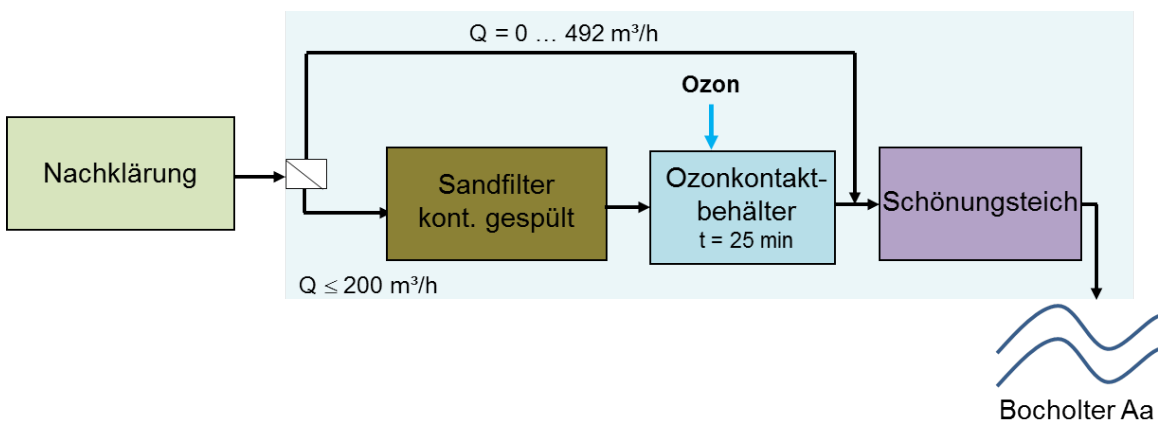


Bild 26: Blockschema Variante 3

Folgende Werte wurden gewählt:

Anzahl Kontaktbehälter: 2 Stück

Wassertiefe Kontaktbehälter: 6 m

Es wurde eine mittlere Ozondosis angenommen von:

$$c_{O_3,a} = 7,00 \text{ mg O}_3/\text{l}$$

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

8.5.3.2 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 100 m³/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.

Sandfilter (kontinuierlich gespült)

Als Filtrationsstufe 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 27**.

Es sind insgesamt 4 Filter aufgeteilt auf zwei Straßen vorgesehen. Jeder Filter weist eine Filterfläche von 5 m² auf, sodass sich eine GesamtfILTERfläche von 20 m² ergibt. Jeweils 2 Filter werden in ein Betonbecken eingebaut. Der Zulauf auf die einzelnen Filterstraßen erfolgt über Gerinne. Jede Straße kann über ein Schütz abgeschiebert werden.

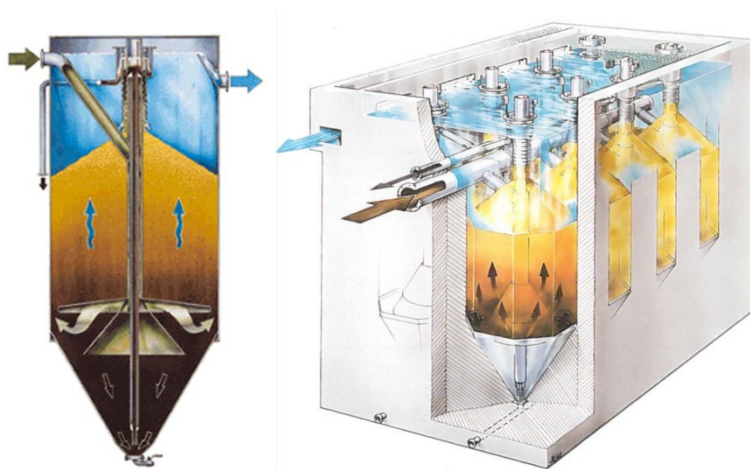


Bild 27: Dyna-Sandfilter: links: Prinzipdarstellung, rechts: Anordnung im Betonbecken (Quelle: Nordic-Water)

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 $2 \times 1.000 \text{ g/h}$ 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.

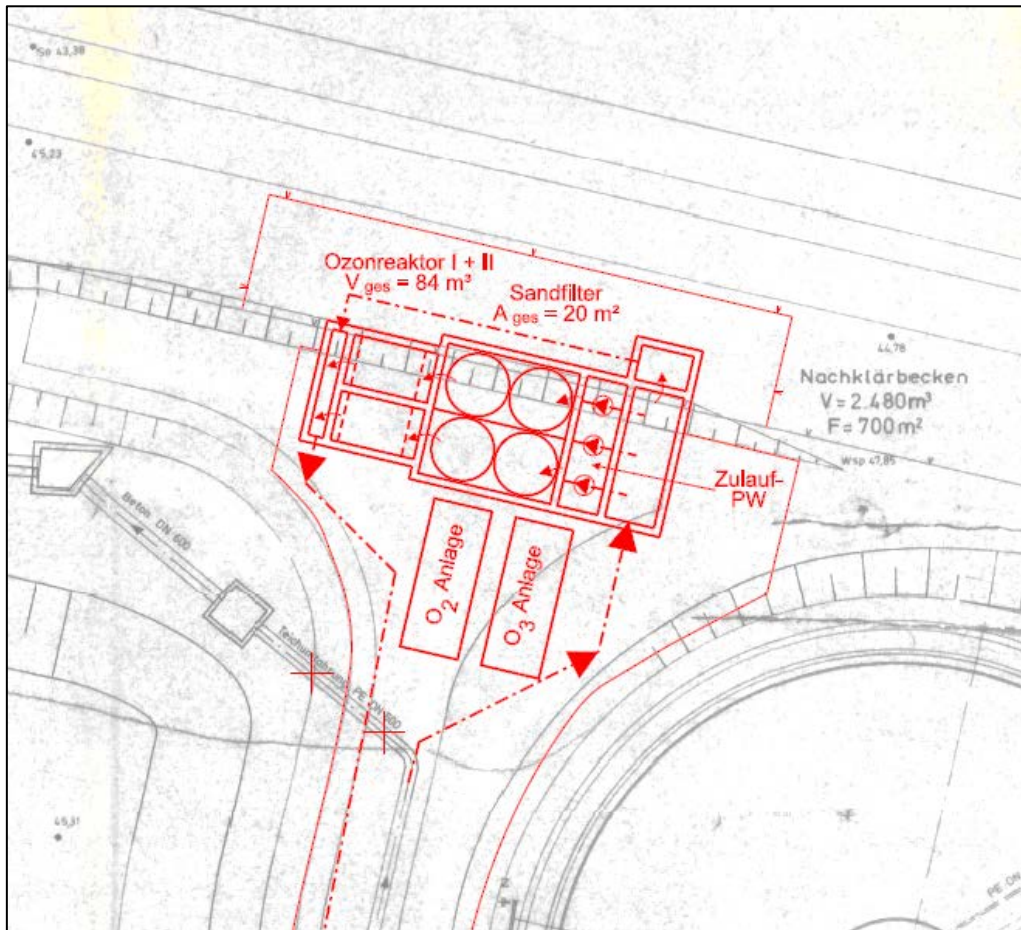


Bild 28: Lageplanausschnitt Variante 3: Ozonung mit vorgeschaltetem Dynasandfilter

8.6 Ergebnisübersicht Varianten

	Variante 1 Pulverkohle mit Rücklaufkohle	Variante 2 GAK-Filtration	Variante 3 Sandfilter + Ozonung
Anlagenkomponenten			
	<p>Kontaktbecken: $t_A = 30 \text{ min}$, $V_{\text{ges}} = 108 \text{ m}^3$ Absetzbecken: $L = 18 \text{ m}$; $b = 7,5 \text{ m}$; $h = 3$ $V = 405 \text{ m}^3$ Tuchfiltration: $A_{F,\text{ges}} = 30 \text{ m}^2$ PAK-Silo: $V = 80 \text{ m}^3$</p>	<p>GAK-Filtration: 4 Filter, $B \times L = 2 \times 5 \text{ m}$ $A = 40 \text{ m}^2$; $H_{\text{FB}} = 2,5 \text{ m}$; $V = 100 \text{ m}^3$</p>	<p>Sandfiltration (kont. gespült): 4 Filter mit $A_F = 5 \text{ m}^2$ $A_{F,\text{ges}} = 20 \text{ m}^2$ Flüssigsauerstoff: Tankanlage und Verdampfer Ozonerzeuger: 2 x 1.000 kg O_3/h Reaktionsbehälter: 2 Straßen, je $L = 3,5 \text{ m}$; $B = 2 \text{ m}$; $V_{\text{ges}} = 84 \text{ m}^3$</p>
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> keine Bildung von Reaktionsprodukten Wirkungsweise der Stoffelimination eindeutig sehr guter Suspensarückhalt im AB und durch Filtration sehr gute Reduzierung P_{ges} und CSB Mehrfachbeladung der PAK 	<ul style="list-style-type: none"> keine Bildung von Reaktionsprodukten Wirkungsweise der Stoffelimination eindeutig Sicherer und einfacher Betrieb Suspensarückhalt durch Filtration 	<ul style="list-style-type: none"> geringer Platzbedarf Suspensarückhalt durch Filtration Optimierungspotential bei Ozondosis zu erwarten
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> höhere Schlammanfall als bei den anderen Varianten betreuungsintensiv, da Dosierung von PAK, FHM und FM 	<ul style="list-style-type: none"> GAK-Austausch Hoher Kohlebedarf in Vergleich zu anderen Varianten 	<ul style="list-style-type: none"> Reaktionsmechanismen und -produkte sind teilweise unbekannt, Wartung erfordert geschultes Personal oder externes Personal, hohe Sicherheitsanforderungen an den Arbeitsschutz, da Ozon toxisch ist und als Reizstoff wirkt hoher Energiebedarf

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 E-MSR-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 1: Investitionskosten für die Varianten 1 bis 3

Pos.-Nr	Text		Variante 1 PAK m. Rücklaufk.	Variante 2 GAK-Filtration	Variante 3 Sandfilter + Ozon
1	Bautechnik	EUR	425.034,21	411.680,00	288.278,00
2	Maschinentechnik	EUR	596.767,50	418.110,00	468.300,00
3	EMSR-Technik	EUR	253.868,63	188.149,50	187.320,00
Summe Herstellungskosten, netto		EUR	1.275.670,34	1.017.939,50	943.898,00
Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)		EUR	318.917,58	254.484,88	235.974,50
Summe Baukosten, netto		EUR	1.594.587,92	1.272.424,38	1.179.872,50
Mehrwertsteuer		EUR	242.377,36	193.408,51	179.340,62
Summe Baukosten, brutto		EUR	1.836.965,29	1.465.832,88	1.359.213,12
Anteil			135%	108%	100%

Die höchsten Investitionskosten wurden für Variante 1 ermittelt, gefolgt von Variante 2. Bei Variante 3 sind die Investitionskosten am geringsten.

9.3 Betriebskosten

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

Strombezugskosten	0,18	EUR/kWh netto
Entsorgungskosten (Entwässerung + Verbrennung)	398	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

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. Zusammen wurden diese Kosten mit 398 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 2: Betriebskosten für die Varianten 1 bis 3

		Variante 1 PAK m. Rücklaufk.	Variante 2 GAK-Filtration	Variante 3 Sandfilter + Ozon
Betriebsgebundene Kosten	EUR	57.198,41	40.604,19	45.361,18
Verbrauchsgebundene Kosten	EUR	65.930,42	100.619,87	56.332,65
Summe Betriebskosten, netto	EUR	123.128,83	141.224,06	101.693,83
Mehrwertsteuer: 19%	EUR	23.394,48	26.832,57	19.321,83
Summe Betriebskosten, brutto	EUR	146.523,31	168.056,63	121.015,66
Anteil		121%	139%	100%

Die Betriebskosten liegen für Variante 3 bei ca. 121.000 EUR/a brutto. Bei Variante 1 betragen sie etwa 146.000 EUR/a brutto. Mit rd. 168.000 EUR/a brutto sind die Betriebskosten für Variante 2 (GAK-Filtration) 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 3: Jahreskosten und spezifische Kosten für die Varianten 1 bis 3

		PAK m. Rücklaufk.	GAK-Filtration	Sandfilter + Ozon
Kapitalgebundene Kosten	EUR	117.706,19	91.067,74	87.934,48
Betriebsgebundene Kosten	EUR	57.198,41	40.604,19	45.361,18
Verbrauchsgebundene Kosten	EUR	65.930,42	100.619,87	56.332,65
Summe Jahreskosten, netto	EUR	240.835,02	232.291,80	189.628,31
Mehrwertsteuer: 19%	EUR	45.758,65	44.135,44	36.029,38
Summe Jahreskosten, brutto	EUR	286.593,68	276.427,24	225.657,69
Anteil		127%	122%	100%

Spezifische Kosten bezogen auf die behandelte Abwassermenge in der 4. Reinigungsstufe				
spez. Kosten, netto	ct/m ³ Abwasser	17	16	13
spez. Kosten, brutto	ct/m ³ Abwasser	20	19	16

Spezifische Kosten bezogen auf die gebührenrelevante Jahresschmutzwassermenge im Jahr 2014 (643.808 m ³)				
spez. Kosten, netto	ct/m ³ Abwasser	37	36	29
spez. Kosten, brutto	ct/m³ Abwasser	45	43	35

Die niedrigsten Jahreskosten wurden für die Variante 3 (Sandfilter + Ozon) und Variante 2 (GAK-Filtration) mit ca. 226.000 bis 276.400 EUR/a brutto ermittelt. Die Variante 1 (PAK mit Rücklaufkohle) weist mit rund 286.000 EUR/a brutto die höchsten Jahreskosten auf.

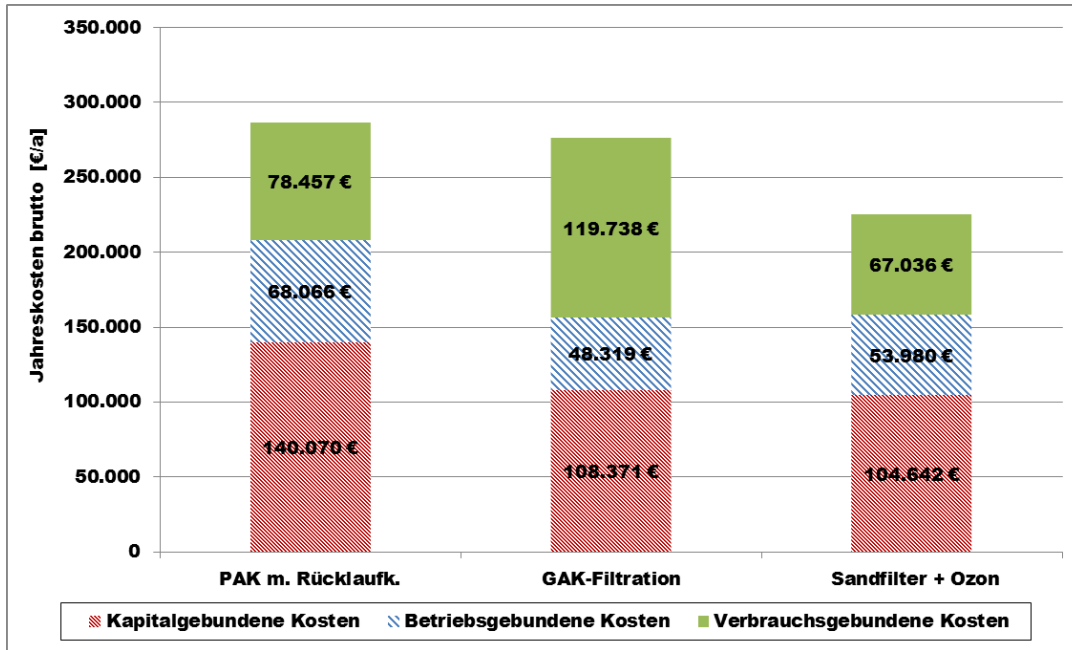


Bild 29: Anteile kapital-, betriebs- und verbrauchsgebundene Kosten an den Jahreskosten

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 Fördergelder 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 2016 wird mit einer 60%-Förderung gerechnet. Bei einer Förderung der Erstinvestition reduzieren sich die Jahreskosten aller Varianten (siehe **Bild 26**).

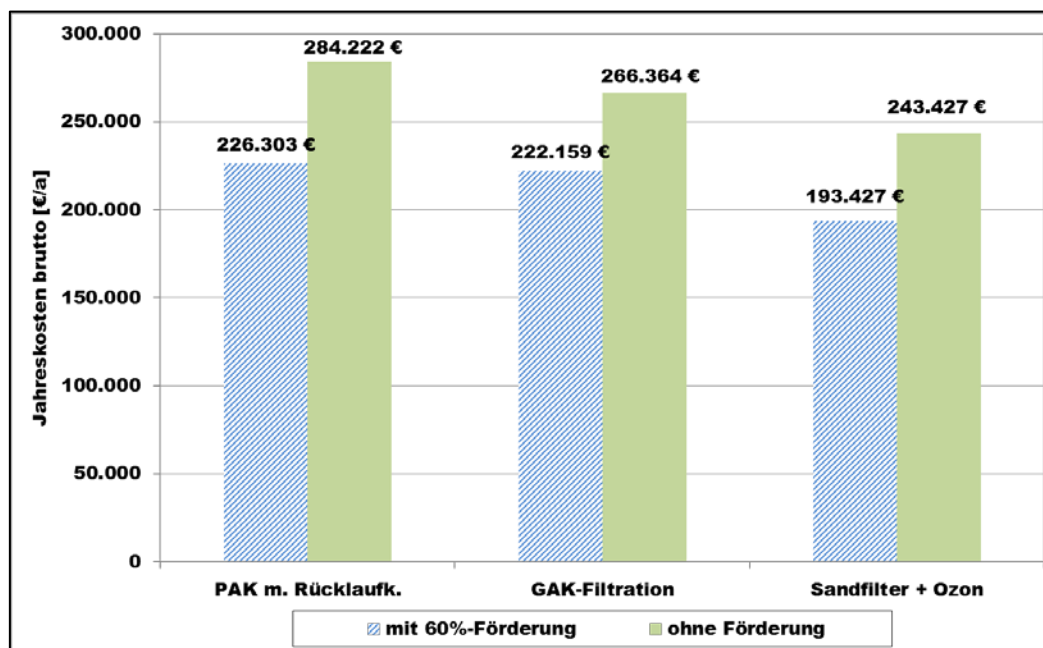


Bild 30: Vergleich der Jahreskosten mit und ohne 60%-Förderung

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 0,22 EUR/kWh netto (0,26 EUR/kWh, brutto),
- Steigerung Bezugskosten für Aktivkohle (PAK und GAK) und Flüssigsauerstoff um 10 %,
- Reduzierung Dosierung Pulverkohle und Ozon um 20 %.

In **Tabelle 1** 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 der Energiekosten** um 20 % führt bei der energieintensiven Variante 3 (Sandfilter + Ozon) zu einer Steigerung der Jahreskosten von rund 3,5 % bzw. 7.800 EUR/a brutto. Bei Variante 2 ist die Kostensteigerung mit 1.900 EUR/a brutto (0,7 %) am geringsten, gefolgt von Variante 1 mit 4.500 EUR/a, brutto (1,6 %).

Die **Steigerung der Bezugskosten** um 10 % für die Aktivkohle steigert die Jahreskosten von Variante 1 um 3.000 EUR/a brutto. Die Preissteigerung hat bei Variante 2 mit rund 11.000 EUR/a brutto den größten Einfluss. Bei Variante 3 erhöhen sich die Jahreskosten um ca. 2.800 EUR/a brutto. Bei den Jahreskosten ergeben sich damit Steigerungen von 4,0 % bei Variante 2, sowie 1,1 % und 1,2 % bei den Varianten 1 und 3.

Die **Reduzierung der Dosiermengen** um 20 % hat große Einflüsse auf die Jahreskosten. Bei Variante 1 (PAK-Dosierung m. Rücklaufk.) würden durch die Reduzierung der Aktivkohlemenge die Jahreskosten um ca. 6.000 EUR/a brutto (-2,1 %) sinken. Bei der Variante 3 (Sandfilter + Ozon) würde sich eine Einsparung von rund 9.500 EUR/a, brutto (-4,2 %) ergeben. Die Verlängerung der GAK-Filter-Standzeit um 20 % verringert die Jahreskosten der Variante 2 um rund 18.300 EUR/a brutto (-6,6 %).

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 4: Prozentuale Erhöhung bzw. Senkung der Jahreskosten unter sensitiver Betrachtung der Energie- und Bezugskosten sowie Einsatzmenge.

	Variante 1 PAK m. Rücklaufk.	Variante 2 GAK-Filtration	Variante 3 Sandfilter + Ozon
Energiekosten (+20%)	1,6%	0,7%	3,5%
Bezugskosten (+10%)	1,1%	4,0%	1,2%
Einsatzmenge(-20%)	-2,1%	-6,6%	-4,2%

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 5: Bewertungsmatrix für die Varianten 1 bis 3

Kriterium	Wichtung	Wertung					
		Variante 1 PAK m. Rücklaufk.		Variante 2 GAK-Filtration		Variante 3 Sandfilter + Ozon	
		Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet
Jahreskosten	0,30	3	0,9	4	1,2	5	1,5
Reinigungsleistung P_{ges} /CSB (zusätz. Reduk.)	0,25	5	1,25	4	1	4	1
Bildung Nebenprodukte	0,10	5	0,5	5	0,5	3	0,3
Erfahrungen/Referenzen	0,10	5	0,5	4	0,4	3	0,3
Betriebs- und Wartungsaufwand	0,10	3	0,3	5	0,5	4	0,4
Betriebssicherheit	0,05	4	0,2	5	0,25	4	0,2
Sensitivität Kostensteigerungen	0,05	4	0,2	3	0,15	4	0,2
CO ₂ -Bilanz	0,05	4	0,2	4	0,2	4	0,2
Summe	1,00	33	4,05	34	4,20	31	4,10

Wertung nach Punkten
(steigende Punkte → bessere Wertung)

1 = ungenügend
5 = sehr gut

Die **Jahreskosten** werden mit einer Wichtung von 30 % eingestuft. Wie schon im **Kapitel 9.4** dargelegt, sind die Jahreskosten bei Variante 3 (Sandfilter + Ozon) am geringsten, gefolgt von Variante 2 (GAK-Filtration). Bei Variante 1 (PAK-Dosierung m. Rücklaufk.) ergeben sich die höchsten Jahreskosten. Variante 1 erhält hierbei nur drei Punkte. Vier Punkte bekommt Variante 2, während Variante 3 mit fünf Punkten bewertet wurde.

Die **Reinigungsleistung P_{ges}** und **CSB** wurde in Velen mit 25 % 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 (Sandfilter + Ozon) sind die zu erwartenden Effekte geringer. Daher werden für Variante 3 ebenfalls nur vier 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 drei 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. Daher werden hier fünf Punkte vergeben. Für die GAK-Filtration liegen Erfahrungen aus großtechnischen Versuchen vor. Insgesamt ist die Referenz- und Erfahrungslage jedoch geringer als bei der PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle. Deshalb werden an diese Variante vier Punkte vergeben. Für die Kombination Sandfilter + Ozonung liegen noch wenige Erfahrungen vor. Variante 3 erhält in diesem Kriterium nur drei Punkte.

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 (Sandfilter + Ozon) 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 nur drei Punkte vergeben.

In letzter Zeit ist die **Nachhaltigkeit (CO₂-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 2 (GAK-Filtration) mit 4,20 Punkten am besten ab, gefolgt von Variante 3 (Sandfilter + Ozon) mit 4,10 Punkten. Die Variante 1 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle) hat mit 4,05 Punkten die niedrigste Bewertung.

11 Zusammenfassung

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

Variante 1: Pulverkohledosierung mit Rücklaufkohle,

Variante 2: GAK-Filtration,

Variante 3: Ozonung mit vorgeschaltetem Sandfilter und Nachbehandlung im Teich

Die Screening-Ergebnisse zeigten, dass die Konzentrationen der untersuchten Spurenstoffe im Ablauf der Kläranlage Velen sich mit Werten aus der Literatur 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 2 (GAK-Filtration) mit 4,20 Punkten; Variante 3 (Sandfilter + Ozon) kommt auf den zweiten Platz mit 4,10 Punkten. Die PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle (Variante 1) liegt mit 4,05 Punkten auf dem dritten Platz. Bei den Jahreskosten liegt Variante 3 (Sandfilter + Ozon) mit ca. 225.700 EUR/a brutto vorn, gefolgt von Variante 2 (GAK-Filtration) mit rd. 276.400 EUR/a brutto. Die Variante 1 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle) liegt mit 287.000 EUR/a brutto auf dem dritten Platz.

Die GAK-Filtration (Variante 2) lag in der Bewertungsmatrix auf dem ersten Platz. Für dieses Verfahren sprechen die hohe Betriebssicherheit und der vergleichsweise niedrige Betriebsaufwand. Die relativ geringe prognostizierte Standzeit der Aktivkohle im Filter führt zu 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 vorgeschaltetem Sandfilter (Variante 3) lag in der Bewertungsmatrix auf dem zweiten 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.

Variante 1 (PAK mit Rücklaufkohle) lag in der Bewertungsmatrix auf dem dritten Rang. 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 gute Nutzung der Adsorptionskapazität der Kohle gegeben. Das Verfahren reagiert damit auf Preisschwankungen bei der Aktivkohle weniger sensitiv. Das Verfahren führt neben der Spurenstoffelimination noch zu einer 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 Schlammanfall im Vergleich zu den anderen Verfahren erhöht. Der Schlamm enthält neben der Kohle noch Fällprodukte und Organik. Der Energiebedarf liegt im Vergleich zur Ozonierung auf einem unteren Niveau.

Die TUTTAHS & MEYER Ing.-GmbH empfiehlt Variante 2 (GAK-Filtration) und 3 (Sandfilter + Ozon) für weitere Untersuchungen auf der Kläranlage Velen zu berücksichtigen.

12 Einschätzung des Handlungsbedarfes

Insgesamt stellt sich die Umsetzung der vierten Reinigungsstufe auf der Kläranlage Velen als aufwendig dar. So muss die Stufe aufgrund der beengten Platzverhältnisse sehr kompakt gebaut werden. Dies führt zu höheren Investitionskosten.

Hinsichtlich der Spurenstoffgehalte in den drei Ablaufproben liegt die Kläranlage Velen im Vergleich mit anderen Kläranlagen im Mittelfeld. Die Studie zeigt, dass bei kleineren Kläranlagen die spezifischen Behandlungskosten in der Regel höher liegen als bei größeren Anlagen. In Velen betragen die Behandlungskosten im Durchschnitt 0,41 EUR brutto/m³, bezogen auf die gebührenrelevante Jahresabwassermenge und ohne Berücksichtigung von Fördergeldern.

Ein dringender Handlungsbedarf zur kurzfristigen Realisierung der vierten Reinigungsstufe ist in Velen nicht gegeben. Der Fokus liegt im Moment auf Kläranlagen der Größenklasse 5 mit einer Ausbaugröße von mehr als 100.000 E, auf Kläranlagen in empfindlichen Gebieten mit schwachen Vorflutern oder auf Kläranlagen im Einzugsgebiet von Trinkwassergewinnungsanlagen.

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.

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 Spu-renstoffe 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: Bei-spiele für Kläranlagen; Vortrag auf dem 2. Fachsymposium Mikroschadstoffe. NRW 2012; Elimination von Mikroschadstoffen, Keimen und Bakterien in kommunalen Kläranlagen am 21.06.2012 in Düs-seldorf.

Gujer 1999

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

Herbst u. a. 2011

Herbst, H.; Kaufmann, M.; Türk, J.; Launer, M.: Abwasserozonierung 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; McArdeell, 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 Grundstoffindustrie, 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 Mikroscadstoffen – 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 Velen**Projektnummer: 1654 001****4. Reinigungsstufe****Auslegungsdaten Hydraulik**

Ausbaugröße		20.000	E
Max. TW-Zufluss (mit Fremdwasser)	Q _t	83,61	l/s
		301	m ³ /h
<i>Teilstrombehandlung (4. Reinigungsstufe)</i>			
Max. Volumenstrom für Teilstrombehandlung	Q _{Teil,max}	200	m ³ /h
		56	l/s
Behandelte Abwassermenge im Teilstrom	Q _{Teil,a}	1.425.647,00	m ³ /a
Behandelte Teilstrommenge pro Tag	Q _{Teil,d}	3.906	m ³ /d

KA Velen**Projektnummer: 1654 001****PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung****Auslegung Zwischenhebewerk**

Ausbaugröße		20.000	E
Volumenstrom, gesamt	Q_Teil,max	200	m³/h
Anzahl Straßen	n_Str	1	
Volumenstrom, je Straße	Q_Teil,max,Str	200	m³/h
Förderhöhe, abgeschätzt, zusätzlich	h_gesch	6,0	m
spez. Energiebedarf		7	Wh/(m³·m)
<i>Bemessung</i>			
Energiebedarf		59.877	kWh/a

Auslegung Kontaktbecken

Ausbaugröße		20.000	E
Aufenthaltszeit (ohne Berücksichtigung RLK)	t_a,min	30	min
<i>Bemessung</i>			
erforderliches Gesamtvolumen KB	V_KB,erf,ges	100	m³
Anzahl Becken	n_KB,ist	1	Stück
Kantenlänge Becken	l_KB,ist	6,00	m
Höhe Wasserspiegel	h_WS,KB,ist	3,00	m
Volumen eines KB	V_KB,ist,n	108	m³
Gesamtvolumen KB	V_KB,ist,ges	108	m³
<i>Nachweise bezogen auf Q_Teil,max</i>			
Aufenthaltszeit (ohne Berücksichtigung RLK)	t_a,ist	32,40	min

Auslegung Rührwerk Kontaktbecken

<i>Vorgaben</i>			
Energieeintrag		7,00	W/m³
Anzahl Rührwerke, insgesamt	n_RW	1	
Laufzeit, anteilig		24	h/d
<i>Bemessung</i>			
Leistungsbedarf	P_RW,KB	0,76	kW
Energiebedarf Rührwerke		18	kWh/d
		6.623	kWh/a

KA Velen**Projektnummer: 1654 001****PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung****Auslegung Rücklaufkohlepumpwerk**

<i>Vorgaben</i>		
Rückführverhältnis	RV	1,00
Förderhöhe, abgeschätzt	h_gesch	0,5 m
spez. Energiebedarf		7 Wh/(m ³ ·m)
<i>Bemessung</i>		
Volumenstrom Rücklaufkohle	Q_RLK	200 m ³ /h
Energiebedarf		4.990 kWh/a

Auslegung Überschussschleimabnahme

<i>Vorgaben</i>		
TS-Gehalt Schlamm		8,00 kg/m ³
Tagesschlammmenge	V_ÜS	16,21 m ³ /d
angenommene Laufzeit		5,00 h/d
Förderhöhe, abgeschätzt	h_gesch	2,00 m
spez. Energiebedarf		7 Wh/(m ³ ·m)
<i>Bemessung</i>		
berechnete Fördermenge	Q_ber	3,24 m ³ /h
Gewählte Fördermenge	Q_gew	3,20 m ³ /h
Energiebedarf		82 kWh/a

Pulverkohledosierung

<i>Vorgaben</i>		
min. Dosierkonzentration	c_PAK,min	5,0 g/m ³
max. Dosierkonzentration	c_PAK,max	20,0 g/m ³
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
<i>PAK-Bedarf</i>		
mittlere PAK-Dosierkonzentration im Jahr	c_PAK,a	12,0 g/m ³
Tagesbedarf	m_PAK,d	47 kg/d
Jahresbedarf	m_PAK,a	17 Mg/a
<i>PAK-Silo</i>		
gewähltes Silo-Volumen	V_Silo	80 m ³
Nutzvolumen (2/5)	V_Silo,Nutz	32 m ³
Lagerungsdichte PAK	rho_B,PAK	400 kg/m ³
Masse PAK, nutzbar	m_PAK,nutz	13 Mg
Intervall Nachfüllung Silo		0,7 a 273 d

KA Velen**Projektnummer: 1654 001****PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung****Pumpen Treibwasser für PAK-Dosierung**

<i>Vorgaben</i>	
spez. Energiebedarf	0,3 kWh/(a·E)
Energiebedarf	6.000 kWh/a

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

<i>Vorgaben</i>		
min. Dosierkonzentration	c_Me,min	2,0 g/m ³
max. Dosierkonzentration	c_Me,max	8,0 g/m ³
mittlere Dosierkonzentration im Jahr	c_Me,a	4,0 g/m ³
WS-Gehalt FeCl im FM		0,138 kg Fe/kg FM
<i>FM-Bedarf</i>		
Tagesbedarf	m_FM,d	113 kg/d
Jahresbedarf	m_FM,a	41 Mg/a
<i>FM-Tank</i>		
gewähltes Volumen	V_Tank,FM	20 m ³
Nutzvolumen (4/5)	V_Tank,Nutz	16 m ³
Dichte FM	rho_FM	1.430 kg/m ³
Masse PAK, nutzbar	m_FM,nutz	22.880 kg
Intervall Nachfüllung Tank		202 d

Flockungshilfsmitteldosierung

<i>Vorgaben</i>		
min. Dosierkonzentration	c_Me,min	0,1 g/m ³
max. Dosierkonzentration	c_Me,max	0,3 g/m ³
mittlere Dosierkonzentration im Jahr	c_Me,a	0,2 g/m ³
WS-Gehalt im FHM-Granulat		1,000 kg WS/kg Gr.
<i>FHM-Bedarf</i>		
Tagesbedarf	m_FM,d	0,8 kg/d
Jahresbedarf	m_FM,a	0,29 Mg/a

KA Velen**Projektnummer: 1654 001****PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung****Auslegung Tuchfiltration**

Vorgaben			
Filtergeschwindigkeit, maximal	v_F,max	8	m/h
Feststoffflächenbelastung	BA,max	0,250	kg/(m ² ·h)
max. xTS-Konzentration im Zulauf	xTS.max,zu	35	mg/l
Bemessung			
erforderliche Filterfläche, gesamt nach V_F,max	A_F,erf,ges,vF	25	m ²
erforderliche Filterfläche, gesamt nach BA,max	A_F,erf,ges,BA	28	m ²
Anzahl Filterstraßen	n_Filt,ist	1	
<i>gewählter Filtertyp (Beispielfabrikat)</i>			
Anzahl Scheiben je Filter	n_Scheiben	6	
Filterfläche je Filter	A_F,ist,Str	30	m ²
Filterfläche, gesamt	A_F,ist,ges	30	m ²
Nachweise bezogen auf Q_Teil,max			
Filtergeschwindigkeit, maximal	v_F,ist,max	6,67	m/h
Feststoffflächenbelastung, maximal	BA,ist,max	0,233	kg/(m ² ·h)
Spülwasseranfall und -förderung			
spez. Spülwasseranfall bezogen auf Filtratmenge		2%	
Schlammwasseranfall pro Tag	V_Schlammwas,d	78	m ³ /d
Schlammwasseranfall pro Jahr	V_Schlammwas,a	28.513	m ³ /a
Förderhöhe, abgeschätzt (incl. Verluste)	h_gesch	2	m
spez. Energiebedarf		7	Wh/(m ³ ·m)
Energiebedarf		0,82	kWh/d
		299	kWh/a

KA Velen**Projektnummer: 1654 001****PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung****Auslegung Absetzbecken**

Beckentyp		Rechteckbecken
Schlammräumung (Schildräumung/Saugräumung)		Schildräumung
Durchströmung (vertikal/horizontal)		horizontal
Anzahl der Becken	n	1 Stück
wirksame Beckenlänge	l	18 m
Beckenbreite	b	7,5 m
Oberfläche	A	135 m ²
Mind. Randbeckentiefe	$h_{\text{Rand,min}}$	3,00 m
Beckenrandtiefe	$h_{\text{Rand,ist}}$	3,00 m
Beckenvolumen	V_{Sed}	405 m ³

Festlegung der Bemessungsdaten

Max. Zulauf je Becken	Q_{max}	200 m ³ /h 56 l/s
Rücklaufverhältnis	RV	1,00
Min. Aufenthaltszeit Sedimentation	$t_{\text{v,Sed, min}}$	2,00 h
max. Oberflächenbeschickung	$q_{\text{a,max}}$	1,8 m/h
Schlammvolumen	ISV	80,0 ml/g
TS-Gehalt im Kontaktbecken	TS	4,0 g/l

Nachweis Flächenbeschickung und Aufenthaltszeit

Flächenbeschickung	q_{A}	$Q_{\text{max}}/A =$	1,5 m/h
Aufenthaltszeit	$t_{\text{v,sed}}$	$V_{\text{Sed}}/Q_{\text{max}} =$	2,03 h

KA Velen**Projektnummer: 1654 001****GAK-Filtration****Auslegung Zwischenhebewerk**

Ausbaugröße		20.000	E
Volumenstrom, gesamt	Q_Teil,max	200	m³/h
Anzahl Straßen	n_Str	1	
Volumenstrom, je Straße	Q_Teil,max,Str	200	m³/h
Förderhöhe, abgeschätzt, zusätzlich	h_gesch	3,5	m
spez. Energiebedarf		7	Wh/(m³·m)
<i>Bemessung</i>			
Energiebedarf		34.928	kWh/a

Auslegung GAK-Filter

<i>Vorgaben</i>			
Leerbettkontaktzeit (Bereich)	EBCT	10...30	min
Leerbettkontaktzeit, gewählt	EBCT, gew	30	min
Filtergeschwindigkeit (Bereich)	v_F	5...20	m/h
Filtergeschwindigkeit, gewählt	v_F,gew	5,00	m/h
Filterbetthöhe GAK (Bereich)		1,5...3,0	m
Filterbetthöhe GAK, gewählt	h_GAK,gew	2,50	m
Gesamthöhe Filteraufbau	h_Filter,ges	2,80	m
Anzahl Filter	n_Filter	4	
Schüttdichte GAK	rho_Schütt	400	kg/m³
<i>Bemessung Filter</i>			
erforderliches Leerbettvol., ber. über EBCTgew	V_GAK	100	m³
erforderliche Filterfläche, ber. über EBCTgew	A_Filter,erf	40,00	m²
Fläche Filter, berechnet	A_Filter,erf,n	10,00	m²
Länge Filter, gewählt	l_Filter,gew	5,00	m
Bereite Filter, gewählt	b_Filter,gew	2,00	m
Filterfläche, gewählt je Filter	A_Filter,gew	10,00	m²
Filterfläche, gewählt, gesamt	A_Filter,ges	40,00	m²
Leerbettvolumen, gewählt, gesamt	V_GAK,ges	100,00	m³
Masse GAK, gesamt	M_GAK,ges	40,00	Mg
<i>Nachweise bezogen auf Q_Teil,max</i>			
Filtergeschwindigkeit	v_F,ist	5,00	m/h
Filtergeschwindigkeit, bei (n-1) Filter	v_F,ist,n-1	6,67	m/h
tatsächliche Kontaktzeit im Filterbett	EBCT, ist	30,00	min
Kontaktzeit bei (n-1) Filter	EBCT,ist,n-1	22,50	min

KA Velen**Projektnummer: 1654 001****GAK-Filtration****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	300 m³/h
Volumenstrom Spülwasserpumpe, gewählt	Q_Spül,W,gew	300 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	700 m³/h
Volumenstrom Spülluftgebläse, gewählt	Q_Spül,L,gew	700 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)		25 m³/Spül.
Spülwasserbedarf (rechnerisch)		700 m³/Wo.
		100 m³/d
Spülwasserspeicher (Gewählt)	V_Spülsp,GAK	100 m³
Energiebedarf je Spülung (mit RF Schlammwasser)		3,20 kWh
Bedarf Spülluftgebläse		0,55 kWh
Bedarf Spülwasserpumpen		1,45 kWh
Bedarf Schlammwasserförderungen		1,21 kWh
Energiebedarf pro Woche		90 kWh/Wo
Energiebedarf pro Jahr		1165,21 kWh/a
Bedarf Spülluftgebläse		200,09 kWh/a
Bedarf Spülwasserpumpen		526,43 kWh/a
Bedarf Schlammwasserförderungen		438,69 kWh/a

Filterlaufzeit/GAK-Bedarf

<i>Berechnung über ausgetauschte Bettvolumina</i>		
Bettvolumina bis Durchbruch (Bereich)		5.000....30.000
Bettvolumina bis Durchbruch	BVgew	8.000
Standzeit Füllung GAK	t_Stand	205 d
Jahresbedarf GAK (rechnerisch), Volumen	V_GAK,a	178,2 m³/a
Jahresbedarf GAK (rechnerisch), Masse	M_GAK,a	71,28 Mg/a

KA Velen**Projektnummer: 1654 001****Sandfilter + Ozonung****Auslegung Zwischenhebewerk**

Ausbaugröße		20.000 E
Volumenstrom, gesamt	Q_Teil,max	200 m³/h
Anzahl Straßen	n_Str	2
Volumenstrom, je Straße	Q_Teil,max,Str	100 m³/h
Förderhöhe, abgeschätzt, zusätzlich	h_gesch	4,0 m
spez. Energiebedarf		7 Wh/(m³·m)
<i>Bemessung</i>		
Energiebedarf		39.918 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	83 m³
davon im Kontaktreaktor		67 m³
in der Ausgasungszone		17 m³
<i>Geometrie</i>		
Straßen	n_Str	2
Wasserspiegelhöhe	h_WS	6,00 m
Länge (innen)	l_KR,gew	3,50 m
Breite (innen), Straße	b_KR,gew	2,00 m
Volumen,ist,Str	V_KR,ist,Str	42 m³
Volumen,ist,ges	V_KR,ist,ges	84 m³
<i>Nachweise bezogen auf Q_Teil,max</i>		
tatsächliche Kontaktzeit im Reaktor	t_KR,ist	25,20 min
Kontaktzeit bei (n-1) Straßen	t_KR,ist,n-1	12,60 min

KA Velen**Projektnummer: 1654 001****Sandfilter + Ozonung****Auslegung Ozonerzeuger**

<i>Vorgaben</i>			
min. Dosis	c_O3,min	2,0	g/m ³
max. Dosis	c_O3,max	10,0	g/m ³
mittlere Dosis im Jahr	c_O3,a	7,0	g/m ³
Prozessgas für Ozonerzeugung		Sauerstoff	
spez. O3-Konzentration bez. auf Prozessgas		0,143	kgO3/Nm ³ O2
Dichte O2 bei Standardbedingungen	rho_O2,Norm	1,337	kgO2/m ³
spez. Energiebedarf O3-Erzeugung mit Restvernicht.		9,1	kWh/kgO3
<i>Bemessung</i>			
O3-Bedarf bei max. O3-Dosis und Q_Teil,max		2,00	kg O3/h
gewählte Anlage		2,00	kg O3/h
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,d		27	kg O3/d
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,a		9.980	kg O3/a
<i>Sauerstoffbedarf</i>			
Bedarf bei max. Dosierung und Q_Teil,max		19	kg O2/h
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,d		3.906	kg O2/d
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,a		93.305	kg O2/a
<i>Energiebedarf</i>			
Bedarf bei max. Dosierung und Q_Teil,max		18	kWh
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,d		249	kWh/d
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,a		90.814	kWh/a

Pumpen Kühlwasser Ozonerzeuger

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

KA Velen**Projektnummer: 1654 001****Sandfilter + Ozonung****Auslegung Filtration (kontinuierlich gespülter Sandfilter)**

<i>Vorgaben</i>		
AFS im Zulauf	xTS_AN	< 20 mg/l
Oberflächenbelastung		12,5 m/h
Filterfläche, erforderlich	A_F, erf	16,0 m ²
Filterfläche, gewählt	A_F,gew	20,0 m ²
Anzahl Filter	n_Filter	4
Filterfläche je Filter, gewählt	A_F,n	5,0 m ²
Spülwassermenge	Q_Spül,max	80,0 m ³ /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 ³ ·m)
Luftbedarf maximal	Q_Luft,max	49 m ³ /h
Luftbedarf normal	Q_Luft,normal	24 m ³ /h
Luftbedarf, mittel, gew		24 m ³ /h
Energiebedarf Druckluft		0,11 kWh/m ³
<i>Bemessung</i>		
Spülwasseranfall im Mittel pro Tag	Q_Spül,mittel,d	6 m ³ /d
Spülwasseranfall im Mittel pro Jahr	Q_Spül,mittel,a	42.769 m ³ /a
Druckluftbedarf pro Tag (mittlerer Bedarf)		576 m ³ /d
Druckluftbedarf pro Jahr (mittlerer Bedarf)		210.240 m ³ /a
<i>Energiebedarf</i>		
Druckluftherzeugung (ohne Adsorptionstrockner)		63 kWh/d
Druckluftherzeugung (ohne Adsorptionstrockner)		23.126 kWh/a
Schlammförderung		2.994 kWh/a

KA Velen

Projektnummer: 1654 001

Energiebedarf

Pos.	Bezeichnung		PAK mit RLK	GAK-Filtration	Sandfilter + Ozonung
1.0	Pumpen	kWh/a	76.679,3	35.893,5	58.314,1
1.1	Beschickungspumpen	kWh/a	59.877,2	34.928,4	39.918,1
1.2	Rücklaufkohlepumpe	kWh/a	4.989,8		
1.3	Überschussskohlepumpe	kWh/a	81,8		
1.4	Dosierpumpen	kWh/a	5.431,2		
	Flockungsmittel (Me-Salze)	kW	0,1		
	Flockungshilfsmittel	kW	0,5		
	Laufzeit	h/d	24,0		
1.5	Spülwasserpumpe	kWh/a		526,4	
1.6	Schlammwasserpumpe	kWh/a	299,4	438,7	
1.7	Treibwasser für PAK-Dosierung	kWh/a	6.000,0		
1.8	Kühlwasser für Ozonerzeuger	kWh/a			18.396,0
2.0	Gebälse	kWh/a		200,1	
2.1	Spülluftgebläse	kWh/a		200,1	
3.0	Räumer	kWh/a	4.380,0		
	Anzahl Räumer		1,0		
3.1	Räumer Absetzbecken	kWh/a	4.380,0		
	Antrieb	kW	0,5		
	Laufzeit	h/d	24,0		
4.0	Rührwerke	kWh/a	6.622,6		
4.1	Rührwerke Kontaktbecken	kWh/a	6.622,6		
5.0	Doisiergerät PAK	kWh/a	5.781,6		
	Anzahl Dosiergeräte		2,0		
5.1	Antrieb Dosierschnecke	kWh/a	2.890,8		
	Antrieb	kW	0,6		
	Auslastung		0,6		
	Laufzeit	h/d	24,0		
6.0	Ozonanlage	kWh/a			90.813,7
6.1	Ozonerzeugung				90.813,7

KA Velen

Projektnummer: 1654 001

Energiebedarf

7.0	Tuchfilter	kWh/a	2.597,0		
	Anzahl Filter		1,0		
7.1	Betrieb Filter		823,1		
7.1.1	Antrieb Filter	kWh/a	823,1		
	Antrieb	kW	0,6		
	Laufzeit	h/d	4,1		
7.2	Rückspülung Filter		1.773,9		
7.2.1	Filterabsaugpumpen	kWh/a	1.708,2		
	Antrieb	kW	1,8		
	Anzahl	n	2,0		
	Laufzeit	h/d	1,3		
7.2.2	Bodenschlammumpen	kWh/a	65,7		
	Antrieb	kW	1,8		
	Anzahl	n	1,0		
	Laufzeit	h/d	0,1		
8.0	Sandfilter, kontinuierlich gespült	kWh/a			23.126,4
8.1	Druckluftversorgung	kWh/a			23.126,4
8.2	Schlammförderung	kWh/a			2.993,9
9.0	Messtechnik	kWh/a	7.128,2	7.128,2	7.128,2
	pauschal	0,005 kWh/m ³	7.128,2	7.128,2	7.128,2
	Summe 1: Pumpen	kWh/a	76.679,3	35.893,5	58.314,1
	Summe 2: Gebläse	kWh/a	-	200,1	-
	Summe 3: Räumler	kWh/a	4.380,0	-	-
	Summe 4: Rührwerke	kWh/a	6.622,6	-	-
	Summe 5: Dosiergerät PAK	kWh/a	5.781,6	-	-
	Summe 6: Ozonanlage	kWh/a	-	-	90.813,7
	Summe 7: Tuchfilter	kWh/a	2.597,0	-	-
	Summe 8: Sandfilter, kont. gespült	kWh/a	-	-	23.126,4
	Summe 9: Messtechnik	kWh/a	7.128,2	7.128,2	7.128,2
	Gesamtsumme	kWh/a	103.188,7	43.221,8	179.382,5

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

KA Velen**Projekt-Nr.: 01654 001****Zusammenstellung Investitionskosten**

Pos.-Nr	Text		Variante 1 PAK m. Rücklaufk.	Variante 2 GAK-Filtration	Variante 3 Sandfilter + Ozon
1	Bautechnik	EUR	425.034,21	411.680,00	288.278,00
2	Maschinentchnik	EUR	596.767,50	418.110,00	468.300,00
3	EMSR-Technik	EUR	253.868,63	188.149,50	187.320,00
Summe Herstellungskosten, netto		EUR	1.275.670,34	1.017.939,50	943.898,00
Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)		EUR	318.917,58	254.484,88	235.974,50
Summe Baukosten, netto		EUR	1.594.587,92	1.272.424,38	1.179.872,50
Mehrwertsteuer		EUR	242.377,36	193.408,51	179.340,62
Summe Baukosten, brutto		EUR	1.836.965,29	1.465.832,88	1.359.213,12
Anteil			135%	108%	100%

Pos.-Nr	Text		Variante 1 PAK m. Rücklaufk.	Variante 2 GAK-Filtration	Variante 3 Sandfilter + Ozon
1	Bautechnik	EUR	425.034,21	411.680,00	288.278,00
2	Maschinentchnik	EUR	596.767,50	418.110,00	468.300,00
3	EMSR-Technik	EUR	253.868,63	188.149,50	187.320,00
Summe Herstellungskosten, netto		EUR	1.275.670,34	1.017.939,50	943.898,00
Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)		EUR	318.917,58	254.484,88	235.974,50
Summe Baukosten, netto		EUR	1.594.587,92	1.272.424,38	1.179.872,50
Mehrwertsteuer		EUR	242.377,36	193.408,51	179.340,62
Summe Baukosten, brutto		EUR	1.836.965,29	1.465.832,88	1.359.213,12
Anteil			135%	108%	100%

KA Velen

Projekt-Nr.: 01654 001

Variante: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
1	Baustelleneinrichtung (10 % Bautechnik) (5 % Maschinenteknik)				38.639,47 €	28.417,50 €		67.056,97 €
2	Erdarbeiten							6.966,00 €
	Bodenaushub Tuchfilter	9,20	m³	15,00 €	138,00 €			
	Bodenwiederanfüllung Tuchfilter	4,40	m³	15,00 €	66,00 €			
	Bodenabfuhr Tuchfilter	4,80	m³	15,00 €	72,00 €			
	Bodenaushub Zulauf-PW	35,00	m³	15,00 €	525,00 €			
	Bodenwiederanfüllung Zulauf-PW	10,50	m³	15,00 €	157,50 €			
	Bodenabfuhr Zulauf-PW	24,50	m³	15,00 €	367,50 €			
	Bodenaushub Absetzbecken	188,00	m³	15,00 €	2.820,00 €			
	Bodenwiederanfüllung Absetzbecken	28,00	m³	15,00 €	420,00 €			
	Bodenabfuhr Absetzbecken	160,00	m³	15,00 €	2.400,00 €			
3	Auslauf in den Schönungsteich	1,00	psch	10.000,00 €	10.000,00 €			10.000,00 €
4	Kontaktbecken							84.960,00 €
	Kontaktbecken	108,00	m³	370,00 €	39.960,00 €			
	Rührwerke	1,00	St	13.000,00 €		13.000,00 €		
	Schlosserarb. (Bediengang + Treppe)	1,00	psch	20.000,00 €	20.000,00 €			
	Absenkschieber Zulauf mit Antrieb	1,00	St	12.000,00 €		12.000,00 €		
5	Absetzbecken							268.950,00 €
	Absetzbecken	405,00	m³	340,00 €	137.700,00 €			
	Schlosserarb. (Bediengang + Treppe)	1,00	psch	30.000,00 €	30.000,00 €			
	Räumer	1,00	St	85.000,00 €		85.000,00 €		
	Ablaufrinne VA	5,00	m	850,00 €		4.250,00 €		
	Absenkschieber Zulauf mit Antrieb	1,00	St	12.000,00 €		12.000,00 €		
6	Rohrtech. Installation							8.600,00 €
	Rücklaufkohle-Leitung DN 300 VA	5,00	m	320,00 €	1.600,00 €			
	Formstücke, Flansche, Einbindung	1,00	psch	3.000,00 €	3.000,00 €			
	Armaturen	1,00	psch	4.000,00 €	4.000,00 €			
7	PAK-Silo 80 m³							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	Tuchfiltration							165.250,00 €
	Becken Tuchfilter	35,00	m³	550,00 €	19.250,00 €			
	Anbindung Ein- und Ablauf	1,00	psch	10.000,00 €	10.000,00 €			
	Schlosserarbeiten	1,00	psch	12.000,00 €		12.000,00 €		
	Absenkschieber mit Antrieb	2,00	St	12.000,00 €		24.000,00 €		
	Steuerung + VOST Tuchfilter	1,00	psch	15.000,00 €			15.000,00 €	
	Tuchfilter	1,00	St	70.000,00 €		70.000,00 €		
	Montage + IBN Filter	1,00	psch	15.000,00 €		15.000,00 €		
9	Pulveraktivkohle (Erstbefüllung)							19.500,00 €
	Aktivkohle	13,00	Mg	1.500,00 €		19.500,00 €		
10	Flockungsmitteldosierung (Me-Salze)							51.000,00 €
	Dosierpumpen mit Dosierleit.	1,00	psch	40.000,00 €		40.000,00 €		
	Dosierleitungen (Schutzrohr + Schlauch)	100,00	m	110,00 €		11.000,00 €		
11	Flockungshilfsmitteldosierung							50.600,00 €
	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	20.000,00 €	20.000,00 €			

KA Velen

Projekt-Nr.: 01654 001

Variante: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
12	Pumpen							84.000,00 €
	Zulaufpumpen mit Arm. + Verrohr.	3,00	St	17.000,00 €		51.000,00 €		
	RLK-Kohlepumpe mit Verrohrung	1,00	St	17.000,00 €		17.000,00 €		
	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 €		
13	Erdverlegte Rohrleitungen							21.878,74 €
	Zulauf PE 100 SDR 17 560*33,2	10,00	m	64,33 €	643,30 €			
	Zulauf Rohrgraben PE 100 SDR 17 560*33,2	10,00	m	80,50 €	805,00 €			
	Zulauf Formstücke	2,00	psch	426,00 €	852,00 €			
	Ablauf PE 100 SDR 17 560*33,2	68,00	m	64,33 €	4.374,44 €			
	Ablauf Rohrgraben PE 100 SDR 17 560*33,2	68,00	m	80,50 €	5.474,00 €			
	Ablauf Formstücke	5,00	psch	426,00 €	2.130,00 €			
	ÜS-Kohle KB PE 100 SDR 17 90*5,4	50,00	m	18,00 €	900,00 €			
	ÜS-Kohle Rohrgraben PE 100 SDR 17 90*5,4	50,00	psch	20,00 €	1.000,00 €			
	ÜS-Kohle Formstücke	50,00	m	38,00 €	1.900,00 €			
	SW TF PE 100 SDR 17 90*5,4	50,00	m	18,00 €	900,00 €			
	SW TF Rohrgraben PE 100 SDR 17 90*5,4	50,00	psch	20,00 €	1.000,00 €			
	SW TF Formstücke	50,00	m	38,00 €	1.900,00 €			
14	Kabelschächte/Leerrohre	1,00	psch	12.000,00 €	12.000,00 €			12.000,00 €
15	Hausinstallation/Entwässerung	1,00	psch	12.000,00 €	12.000,00 €			12.000,00 €
16	Strassen-/Wegebau/Aussenanlagen	1	psch	30.000,00 €	30.000,00 €			30.000,00 €
17	Einzäunung (Doppelstab-Mattenzaun)	38,00	m	80,00 €	3.040,00 €			3.040,00 €
18	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 €		
19	EMSR-Technik							208.868,63 €
	Pauschal (35 % der MT)	1,00	psch	208.868,63 €			208.868,63 €	
	Summe Herstellungskosten, netto				425.034,21 €	596.767,50 €	253.868,63 €	1.275.670,34 €
	Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)			25%	106.258,55 €	149.191,88 €	63.467,16 €	318.917,58 €
	Summe Baukosten, netto				531.292,77 €	745.959,38 €	317.335,78 €	1.594.587,92 €
	Mehrwertsteuer			19%				242.377,36 €
	Summe Baukosten, brutto							1.836.965,29 €

Wartung- und Instandhaltungskosten (bezogen auf Herstellungskosten, ohne NK)								
1,0 %/a der Herstellungskosten für Bau und erdverlegte Rohrleitungen					4.250,34 €			
4,0 %/a der Herstellungskosten für technische Installationen						23.870,70 €		
2,0 %/a der Herstellungskosten für EMSR-Technik							5.077,37 €	
Summe Wartungs-/Instandhaltungskosten/a, netto					4.250,34 €	23.870,70 €	5.077,37 €	33.198,41 €

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%	
Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (i;n)					
Kapitalwiedergewinnungsfaktor Bautechnik		0,05102			
Kapitalwiedergewinnungsfaktor Masch.-Technik			0,08377		
Kapitalwiedergewinnungsfaktor EMSR-Technik				0,11723	
Kapitalwiedergewinnungsfaktor Nebenkosten	0,05102				
Summe Kapitalkosten/a, netto	16.270,94 €	21.684,93 €	49.989,17 €	29.761,15 €	117.706,19 €

KA Velen

Projekt-Nr.: 01654 001

Variante: GAK-Filtration

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
1	Baustelleneinrichtung (10 % Bautechnik) (5 % Maschinentchnik)				34.900,00 €	19.910,00 €		54.810,00 €
2	Erdarbeiten Bodenaushub Filter Bodenwiederanfüllung Filter Bodenabfuhr Filter	926,00 376,00 550,00	m³ m³ m³	15,00 € 15,00 € 15,00 €	13.890,00 € 5.640,00 € 8.250,00 €			27.780,00 €
3	Filterbauwerk mit Vorlage u Speicher Bauwerk mit Abdachung Pumpen Filterboden mit Düsen Schlosserarbeiten (Bediengang + Treppe)	1,00 32,00 1,00	psch m² psch	280.000,00 € 900,00 € 18.000,00 €	280.000,00 €	28.800,00 € 18.000,00 €		326.800,00 €
4	Filtermaterial (Erstbefüllung) Aktivkohle Stüttschicht	32,00 10,00	Mg m³	1.300,00 € 280,00 €		41.600,00 € 2.800,00 €		44.400,00 €
5	Rohrtech. Installation Filter Rohrleitung VA incl. Formstücke Armaturen Antriebe Armaturen	1,00 1,00 1,00	psch psch psch	65.000,00 € 60.000,00 € 60.000,00 €		65.000,00 € 60.000,00 € 60.000,00 €		185.000,00 €
6	Pumpen Zulaufpumpen mit Arm. + Verrohr. Spülwasserpumpe mit Verrohrung Schlammwasserpumpe + Verrohrung	3,00 2,00 1,00	St St St	17.000,00 € 18.000,00 € 9.000,00 €		51.000,00 € 36.000,00 € 9.000,00 €		96.000,00 €
7	Gebläse Spülluftgebläse mit Verrohrung	1,00	St	16.000,00 €		16.000,00 €		16.000,00 €
8	Erdverlegte Rohrleitungen Zulauf. PE 100 SDR 17 355*21,1 Rohrgraben PE 100 SDR 17 355*21,1 Formstücke Ablltg PE 100 SDR 17 355*21,1 Rohrgraben PE 100 SDR 17 355*21,1 Formstücke Schlammwasser TF PE 100 SDR 17 90*5,4 Rohrgraben PE 100 SDR 17 90*5,4 Formstücke		m m psch m m psch m m psch	64,00 € 200,00 € 800,00 € 64,00 € 200,00 € 800,00 € 18,00 € 15,00 € 150,00 €	0,00 € 0,00 € 0,00 € 0,00 € 0,00 € 0,00 € 0,00 € 0,00 € 0,00 €		0,00 €	
9	Kabelschächte/Leerrohre	1,00	psch	12.000,00 €	12.000,00 €			12.000,00 €
10	Hausinstallation/Entwässerung	1,00	psch	12.000,00 €	12.000,00 €			12.000,00 €
11	Strassen-/Wegebau/Aussenanlagen	1	psch	40.000,00 €	40.000,00 €			40.000,00 €
12	Inbetriebnahme/Dokumentation Dokumentation Dokumentation/Inbetriebnahme	1,00 1,00	psch psch	5.000,00 € 10.000,00 €	5.000,00 €	10.000,00 €		15.000,00 €
13	EMSR-Technik Pauschal (45 % der MT)	1,00	psch	188.149,50 €			188.149,50 €	188.149,50 €
	Summe Herstellungskosten, netto				411.680,00 €	418.110,00 €	188.149,50 €	1.017.939,50 €
	Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)			25%	102.920,00 €	104.527,50 €	47.037,38 €	254.484,88 €
	Summe Baukosten, netto				514.600,00 €	522.637,50 €	235.186,88 €	1.272.424,38 €
	Mehrwertsteuer			19%				193.408,51 €
	Summe Baukosten, brutto							1.465.832,88 €

KA Velen
 Projekt-Nr.: 01654 001
 Variante: GAK-Filtration

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis	
	Wartung- und Instandhaltungskosten (bezogen auf Herstellungskosten, ohne NK)								
	1,0 %/a der Herstellungskosten für Bau und erdverlegte Rohrleitungen				4.116,80 €				
	4,0 %/a der Herstellungskosten für technische Installationen					16.724,40 €			
	2,0 %/a der Herstellungskosten für EMSR-Technik						3.762,99 €		
	Summe Wartungs-/Instandhaltungskosten/a, netto				4.116,80 €	16.724,40 €	3.762,99 €	24.604,19 €	
	Kapitalkosten								
	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%		
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (i;n)								
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor Bautechnik				0,05102				
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor Masch.-Technik					0,08377			
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor EMSR-Technik						0,11723		
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor Nebenkosten	0,05102							
	Summe Kapitalkosten/a, netto				12.983,63 €	21.003,61 €	35.023,64 €	22.056,86 €	91.067,74 €

KA Velen

Projekt-Nr.: 01654 001

Variante: Ozonung mit vorg. Sandfilter

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
1	Baustelleneinrichtung (10 % Bautechnik) (5 % Maschinenteknik)				23.146,00 €	22.300,00 €		45.446,00 €
2	Erdarbeiten Bodenaushub Reaktionsbehälter/Sandfilter Bodenwiederanfüllung Reaktionsbehälter/Sandfilter Bodenabfuhr Reaktionsbehälter/Sandfilter	1.122,40 560,00 562,40	m³ m³ m³	15,00 € 15,00 € 15,00 €	16.836,00 € 8.400,00 € 8.436,00 €			33.672,00 €
3	Reaktionsbehälter Behälter, gasdicht + Verteilschacht Installation VA (RL) allgemein Armaturen Antriebe Armaturen Schlosserarbeiten (Bediengang + Treppe)	69,00 1,00 1,00 1,00 1,00	m³ psch psch psch psch	750,00 € 13.000,00 € 2.000,00 € 7.000,00 € 10.000,00 €	51.750,00 € 10.000,00 €	13.000,00 € 2.000,00 € 7.000,00 €		83.750,00 €
4	Ozonanlage Anlage Ozonerzeuger (2*2,25kg/h) Einsatzgasversorgung Instrumentenluft u. N₂-Zudosierung Wärmetauscher Kühlwasser Eintragssystem (32 Diffusoren) Restozonvernichter Raumluftüberwachung Ozongasüberwachung im Ozongas Ozonmessung Wasser Anlagensteuerung Ventile und Instrumente Verrohrung und Montage Über-/Unterdrucksicherung Kontaktbeh. Pumpen + Verroh. Kühlwasser	1,00 2,00 incl. incl. 2,00 incl. incl. incl. incl. incl. incl. incl. incl. 1,00 2,00 1,00	psch incl. incl. incl. incl. incl. incl. incl. incl. psch St psch	200.000,00 € 50.000,00 € 3.000,00 € 18.000,00 €		200.000,00 € 50.000,00 € 6.000,00 € 18.000,00 €		274.000,00 €
5	Aufstellung O2/O3-Anlage m. Halle Einhausung Ozonanlage-NSV Fundament O2-Anlage	108,00 1,00	m³ psch	370,00 € 8.000,00 €	39.960,00 € 8.000,00 €			47.960,00 €
6	Sandfilter, kontinuierlich gespült Becken SF I + II Anbindung Ablauf KB I und II Install. Sandfilter mit IBN Ablaufgerinne Filter I und II	150,00 1,00 1,00 5,00	m³ psch psch m	260,00 € 10.000,00 € 140.000,00 € 750,00 €	39.000,00 € 10.000,00 € 140.000,00 € 3.750,00 €		140.000,00 €	192.750,00 €
7	Erdverlegte Rohrleitungen Zulauf. PE 100 SDR 17 355*21,1 Rohrgraben PE 100 SDR 17 355*21,1 Formstücke Abltg PE 100 SDR 17 355*21,1 Rohrgraben PE 100 SDR 17 355*21,1 Formstücke Schlammwasser TF PE 100 SDR 17 90*5,4 Rohrgraben PE 100 SDR 17 90*5,4 Formstücke		m m psch m m psch m m psch	64,00 € 200,00 € 800,00 € 64,00 € 200,00 € 800,00 € 18,00 € 15,00 € 150,00 €	0,00 € 0,00 € 0,00 € 0,00 € 0,00 € 0,00 € 0,00 € 0,00 € 0,00 €		0,00 €	
8	Kabelschächte/Leerrohre	1,00	psch	12.000,00 €	12.000,00 €			12.000,00 €
9	Hausinstallation/Entwässerung	1,00	psch	12.000,00 €	12.000,00 €			12.000,00 €
10	Strassen-/Wegebau/Aussenanlagen	1	psch	40.000,00 €	40.000,00 €			40.000,00 €
11	Inbetriebnahme/Dokumentation Dokumentation Dokumentation/Inbetriebnahme	1,00 1,00	psch psch	5.000,00 € 10.000,00 €	5.000,00 €	10.000,00 €		15.000,00 €
12	EMSR-Technik Pauschal (40 % der MT)	1,00	psch	187.320,00 €			187.320,00 €	187.320,00 €
	Summe Herstellungskosten, netto				288.278,00 €	468.300,00 €	187.320,00 €	943.898,00 €
	Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)			25%	72.069,50 €	117.075,00 €	46.830,00 €	235.974,50 €
	Summe Baukosten, netto				360.347,50 €	585.375,00 €	234.150,00 €	1.179.872,50 €
	Mehrwertsteuer			19%				179.340,62 €
	Summe Baukosten, brutto							1.359.213,12 €

KA Velen

Projekt-Nr.: 01654 001

Variante: Ozonung mit vorg. Sandfilter

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
	Wartung- und Instandhaltungskosten (bezogen auf Herstellungskosten, ohne NK)							
	1,0 %/a der Herstellungskosten für Bau und erdverlegte Rohrleitungen				2.882,78 €			
	4,0 %/a der Herstellungskosten für technische Installationen					18.732,00 €		
	2,0 %/a der Herstellungskosten für EMSR-Technik						3.746,40 €	
	Summe Wartungs-/Instandhaltungskosten/a, netto				2.882,78 €	18.732,00 €	3.746,40 €	25.361,18 €
	Kapitalkosten							
	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%	
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (i;n)							
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor Bautechnik				0,05102			
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor Masch.-Technik					0,08377		
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor EMSR-Technik						0,11723	
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor Nebenkosten	0,05102						
	Summe Kapitalkosten/a, netto				12.039,24 €	14.707,73 €	39.227,89 €	21.959,62 €
								87.934,48 €

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

KA Velen**Projektnummer: 1654 001****Zusammenstellung Betriebskosten**

		Variante 1	Variante 2	Variante 3
		PAK m. Rücklaufk.	GAK-Filtration	Sandfilter + Ozon
Betriebsgebundene Kosten	EUR	57.198,41	40.604,19	45.361,18
Verbrauchsgebundene Kosten	EUR	65.930,42	100.619,87	56.332,65
Summe Betriebskosten, netto	EUR	123.128,83	141.224,06	101.693,83
Mehrwertsteuer: 19%	EUR	23.394,48	26.832,57	19.321,83
Summe Betriebskosten, brutto	EUR	146.523,31	168.056,63	121.015,66
Anteil		121%	139%	100%

KA Velen
 Projektnummer: 1654 001
 Betriebskosten

Pos.	Bezeichnung		PAK mit RLK	GAK-Filtration	Sandfilter + Ozonung
A	Kapitalgebundene Kosten	EUR/a	117.706,19	91.067,74	87.934,48
B	Betriebsgebundene Kosten	EUR/a	57.198,41	40.604,19	45.361,18
1.0	Personalkosten	EUR/a	24.000,00	16.000,00	20.000,00
	Menge	MA/a	0,60	0,40	0,50
	spez. Preis	EUR/MA	40.000,00	40.000,00	40.000,00
			24.000,00	16.000,00	20.000,00
2.0	Wartungs- und Instandhaltungskosten	EUR/a	33.198,41	24.604,19	25.361,18
C	Verbrauchsgebundene Kosten	EUR/a	65.930,42	100.619,87	56.332,65
1.0	Energiekosten	EUR/a	18.986,71	7.952,81	33.006,37
	Menge	kWh/a	103.188,65	43.221,80	179.382,46
	spez. Preis	EUR/kWh	0,18	0,18	0,18
			18.986,71	7.952,81	33.006,37
2.0	Chemikalienkosten	EUR/a	26.517,03	92.667,06	23.326,28
2.1	PAK/GAK	Menge	Mg/a	17,11	71,28
		spez. Preis	EUR/Mg	1.500	1.300
				25.661,65	92.667,06
2.2	Fäll-/Flockungsmittel	Menge	Mg/a	41,32	
		spez. Preis	EUR/Mg	100,00	
					kein Bedarf
2.3	Flockungshilfsmittel	Menge	Mg/a	0,29	
		spez. Preis	EUR/Mg	3.000,00	
				855,39	
2.4	Sauerstoff (flüssig) inkl. Tankmiete	Menge	kg/a		93.305,11
		spez. Preis	EUR/kg		0,25
					23.326,28
3.0	Schlammverbrennungs-/Entsorgungskosten		20.426,67		
3.1	zusätzlicher Schlamm d. PAK	Menge	Mg/a	51,32	
	Entsorgungskosten (Entwässerung+Verbrennung)	spez. Preis	EUR/Mg	398	
				20.426,67	
	<i>Annahmen:</i> 1 kg PAK = 3 kg TS				
	Summe A: Kapitalgebundene Kosten	EUR/a	117.706,19	91.067,74	87.934,48
	Summe B: Betriebsgebundene Kosten	EUR/a	57.198,41	40.604,19	45.361,18
	Summe C: Verbrauchsgebundene Kosten	EUR/a	65.930,42	100.619,87	56.332,65
	Gesamtsumme Jahreskosten, netto	EUR/a	240.835,02	232.291,80	189.628,31
	Mehrwertsteuer	19%	45.758,65	44.135,44	36.029,38
	Summe Jahreskosten, brutto		286.593,68	276.427,24	225.657,69

Anlage 4: Jahreskosten

KA Velen

Projektnummer: 1654 001

Zusammenstellung Jahreskosten

		PAK m. Rücklaufk.	GAK-Filtration	Sandfilter + Ozon
Kapitalgebundene Kosten	EUR	117.706,19	91.067,74	87.934,48
Betriebsgebundene Kosten	EUR	57.198,41	40.604,19	45.361,18
Verbrauchsgebundene Kosten	EUR	65.930,42	100.619,87	56.332,65
Summe Jahreskosten, netto	EUR	240.835,02	232.291,80	189.628,31
Mehrwertsteuer: 19%	EUR	45.758,65	44.135,44	36.029,38
Summe Jahreskosten, brutto	EUR	286.593,68	276.427,24	225.657,69
Anteil		127%	122%	100%

Spezifische Kosten bezogen auf die behandelte Abwassermenge in der 4. Reinigungsstufe

spez. Kosten, netto	ct/m ³ Abwasser	17	16	13
spez. Kosten, brutto	ct/m ³ Abwasser	20	19	16

Spezifische Kosten bezogen auf die gebührenrelevante Jahresschmutzwassermenge im Jahr 2014 (643.808 m³)

spez. Kosten, netto	ct/m ³ Abwasser	37	36	29
spez. Kosten, brutto	ct/m³ Abwasser	45	43	35

Anlage 5: Screening-Ergebnisse Kläranlage Velen

UNTERSUCHUNGSBEFUND

Leopoldshöhe, 12.03.2015 JB

Auftraggeber: Tuttahs und Meyer Ingenieurgesellschaft, Bochum

Entnahmestelle: Zentralkläwerk Velen

Probenahmestelle: (1) Zulauf

Entnahme: mehrtägige Mischprobe: 09.02.2015 11:00 Uhr - 12.02.2015 11:00 Uhr Laboreingang: 13.02.2015

Analysennummer:		54457 173024	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Wassermenge in 72 h	m ³	14280	
Blei (Pb)	mg/l	0,01	DIN EN ISO 11885 (E 22)
Cadmium (Cd)	mg/l	< 0,005 (m)	DIN EN ISO 11885 (E 22)
Nickel (Ni)	mg/l	0,02	DIN EN ISO 11885 (E 22)
Quecksilber (Hg)	mg/l	< 0,001	DIN EN 1483 (E 12-4)
Hexabromcyclododecan	ng/l	< 0,01	LRMS
Chloralkane C10-C13	µg/l	< 1	EPA 8270 GC/MS (NCI)
1,2-Dichlorethan	µg/l	< 0,5	DIN EN ISO 10301 (F 4)
Dichlormethan	µg/l	< 0,5	DIN EN ISO 10301 (F 4)
Trichlormethan	µg/l	< 0,5	DIN EN ISO 10301 (F 4)
Benzol	µg/l	< 0,5	DIN 38407-9 (F 9)
Anthracen	µg/l	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Benzo(a)pyren	µg/l	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Benzo(b)fluoranthen	µg/l	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Benzo(ghi)perylene	µg/l	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Benzo(k)fluoranthen	µg/l	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Fluoranthen	µg/l	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Indeno(1,2,3-cd)pyren	µg/l	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Naphthalin	µg/l	< 0,15 (m)	DIN EN ISO 17993 (F 18)
gPFOS (Perfluoroctansulfons.)	µg/l	< 0,05	ISO 25101 / DIN 38407-4..
para-tert-Octylphenol	µg/l	< 0,1	DIN EN ISO 18857-2 (F 32)
Pentachlorphenol	µg/l	< 0,2	DIN EN 12673 (F 15)
p-Nonylphenol	µg/l	< 0,2 (pe)	DIN EN ISO 18857-2 (F 32)
1,2,3-Trichlorbenzol	µg/l	< 0,05	DIN 38407-2 (F 2)
1,2,4-Trichlorbenzol	µg/l	< 0,05	DIN 38407-2 (F 2)
1,3,5-Trichlorbenzol	µg/l	< 0,05	DIN 38407-2 (F 2)

bitte wenden

Analysenummer:		54457 173024	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Hexachlorbenzol (HCB)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-2 (F 2)
Pentachlorbenzol	µg/l	< 0,05	DIN 38407-2 (F 2)
BDE 154 2,2",4,4",5,6"-Hexabr...	ng/l	< 5	EPA 8270 GC/MS (NCI)
BDE-100 2,3",4,4",6-Pentabrom...	ng/l	< 5	EPA 8270 GC/MS (NCI)
BDE-153 2,2",4,4",5,5"-Hexabr...	ng/l	< 5	EPA 8270 GC/MS (NCI)
BDE-183 2,2",3,4,4",5",6-Hepta...	ng/l	< 5	EPA 8270 GC/MS (NCI)
BDE-209 Decabromdiphenylether	ng/l	< 50	EPA 8270 GC/MS (NCI)
BDE-28 2,4,4"-Tribromdiphenylet.	ng/l	< 5	EPA 8270 GC/MS (NCI)
BDE-47 2,2",4,4"-Tetrabromdiph..	ng/l	< 5	EPA 8270 GC/MS (NCI)
BDE-99 2,2",4,4",5-Pentabromdi..	ng/l	< 5	EPA 8270 GC/MS (NCI)
Bis(2-ethylhexyl)Phthalat (DEHP)	µg/l	< 1	EPA 8270
Tributylzinn	µg/l	< 0,005	DIN EN ISO 17353 (F 13)
Atrazin	µg/l	< 0,1	DIN EN ISO 11369 (F 12)
Diuron	µg/l	< 0,05	DIN EN ISO 11369 (F 12)
gamma-HCH	µg/l	< 0,05	DIN 38407-2 (F 2)
Isoproturon	µg/l	< 0,1	DIN EN ISO 11369 (F 12)
Simazin	µg/l	< 0,1	DIN EN ISO 11369 (F 12)
1,2,3,4,6,7,8 Hepta	ng/l	0,05	ISO 18073
1,2,3,4,6,7,8 Hepta CDF	ng/l	< 0,006	ISO 18073
1,2,3,4,7,8 Hexa CDD	ng/l	< 0,002	ISO 18073
1,2,3,4,7,8 Hexa CDF	ng/l	< 0,002	ISO 18073
1,2,3,4,7,8,9 Hepta CDF	ng/l	< 0,006	ISO 18073
1,2,3,6,7,8 Hexa CDD	ng/l	< 0,002	ISO 18073
1,2,3,6,7,8 Hexa CDF	ng/l	< 0,002	ISO 18073
1,2,3,7,8 Penta CDD	ng/l	< 0,002	ISO 18073
1,2,3,7,8 Penta CDF	ng/l	< 0,003 (m)	ISO 18073
1,2,3,7,8,9 Hexa CDD	ng/l	< 0,002	ISO 18073
1,2,3,7,8,9 Hexa CDF	ng/l	< 0,002	ISO 18073
2,3,4,6,7,8 Hexa CDF	ng/l	< 0,002	ISO 18073
2,3,4,7,8 Penta CDF	ng/l	< 0,002	ISO 18073
2,3,7,8 Tetra CDD	ng/l	< 0,002	ISO 18073
2,3,7,8-Tetra CDF	ng/l	< 0,002	ISO 18073
Octa CDD	ng/l	0,19	ISO 18073
Octa CDF	ng/l	< 0,02	ISO 18073
PCDD,PCDF Summe	ng/l	0,2	ISO 18073
TE (TCDD-Toxizitätsäquivalente)	ng TE/l	< 1	EPA 1613B / Berechnung ..
PCB (28)	µg/l	< 0,01	DIN 38407-3 (F 3)
PCB (52)	µg/l	< 0,01	DIN 38407-3 (F 3)
PCB (77)	ng/l	< 0,2 (m)	ISO 18073
PCB (81)	ng/l	< 0,015 (m)	ISO 18073
PCB (101)	µg/l	< 0,01	DIN 38407-3 (F 3)
PCB (105)	ng/l	< 0,6 (m)	ISO 18073
PCB (114)	ng/l	< 0,1 (m)	ISO 18073
PCB (118)	ng/l	< 2,5 (m)	ISO 18073

Die Prüfungsergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Bei Proben unbekanntem Ursprungs ist eine Plausibilitätsprüfung nur bedingt möglich. Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichts ohne unsere schriftliche Genehmigung ist nicht zulässig.

Analysennummer:		54457 173024	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
PCB (123)	ng/l	< 0,1 (m)	ISO 18073
PCB (126)	ng/l	< 0,015 (m)	ISO 18073
PCB (126)	ng/l	< 0,015 (m)	ISO 18073
PCB (138)	µg/l	< 0,01	DIN 38407-3 (F 3)
PCB (153)	µg/l	< 0,01	DIN 38407-3 (F 3)
PCB (156)	ng/l	< 0,5 (m)	ISO 18073
PCB (157)	ng/l	< 0,1 (m)	ISO 18073
PCB (167)	ng/l	< 0,25 (m)	ISO 18073
PCB (180)	µg/l	< 0,01	DIN 38407-3 (F 3)
PCB (189)	ng/l	< 0,1 (m)	ISO 18073

(m) Die Nachweis-, bzw. Bestimmungsgrenze musste erhöht werden, da Matrixeffekte bzw. Substanzüberlagerungen eine Quantifizierung erschweren.

(pe) Die Nachweis-, bzw. Bestimmungsgrenze musste erhöht werden, da Matrixeffekte eine Veränderung des Verhältnisses von Probenmenge zum Extraktionsmittel erforderten.

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

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, 12.03.2015 JB

Auftraggeber: Tuttahs und Meyer Ingenieurgesellschaft, Bochum

Entnahmestelle: Zentralkläwerk Velen

Probenahmestelle: (1) Zulauf

Entnahme: mehrtägige Mischprobe: 09.02.2015 11:00 Uhr - 12.02.2015 11:00 Uhr Laboreingang: 13.02.2015

Analysennummer:		54457 173023	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Wassermenge in 72 h	m ³	14280	
Bezafibrat	µg/l	0,570	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Diclofenac	µg/l	3,20	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Naproxen	µg/l	0,320	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Phenazon	µg/l	0,07	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Carbamazepin	µg/l	0,770	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Atenolol	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Bisoprolol	µg/l	0,310	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Metoprolol	µg/l	1,40	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Sotalol	µg/l	0,06	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Clarithromycin	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Sulfamethoxazol	µg/l	0,620	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Oxazepam	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Amidotrizesäure	µg/l	1,80	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
lomeprol	µg/l	1,10	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
lopamidol	µg/l	9,20	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
lopromid	µg/l	10,0	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Diuron	µg/l	< 0,05	DIN 38407-35 ^a
Isoproturon	µg/l	< 0,05	DIN 38407-35 ^a
Terbutryn	µg/l	< 0,05	DIN 38407-35 ^a
Benzotriazol	µg/l	6,60	Hausmethode (LC-MS-MS)
17-alpha-Ethinylestradiol	ng/l	< 1	Fl.-Extr., GC-MSD É
17-beta-Estradiol	ng/l	56	Fl.-Extr., GC-MSD É
Estron	ng/l	93	Fl.-Extr., GC-MSD É

bitte wenden

<i>Analysennummer:</i>		54457 173023	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	Verfahren

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von Gesellschaft für Bioanalytik mbH, Hildesheim, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 (DAP-PL-14170-01-00).

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, 12.03.2015 JB

Auftraggeber: Tuttahs und Meyer Ingenieurgesellschaft, Bochum

Entnahmestelle: Zentralkläwerk Velen

Probenahmestelle: (1) Ablauf

Entnahme: mehrtägige Mischprobe: 10.02.2015 11:00 Uhr - 13.02.2015 11:00 Uhr Laboreingang: 13.02.2015

Analysennummer:		54611 173487	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Wassermenge in 72 h	m ³	13800	
Blei (Pb)	mg/l	< 0,01	DIN EN ISO 11885 (E 22)
Cadmium (Cd)	mg/l	< 0,001	DIN EN ISO 11885 (E 22)
Nickel (Ni)	mg/l	< 0,01	DIN EN ISO 11885 (E 22)
Quecksilber (Hg)	mg/l	< 0,001	DIN EN 1483 (E 12-4)
Hexabromcyclododecan	ng/l	< 0,01	LRMS
Chloralkane C10-C13	µg/l	< 1	EPA 8270 GC/MS (NCI)
1,2-Dichlorethan	µg/l	< 0,5	DIN EN ISO 10301 (F 4)
Dichlormethan	µg/l	< 0,5	DIN EN ISO 10301 (F 4)
Trichlormethan	µg/l	< 0,5	DIN EN ISO 10301 (F 4)
Benzol	µg/l	< 0,5	DIN 38407-9 (F 9)
Hexachlorbutadien	µg/l	< 0,01	Hausmethode
Anthracen	µg/l	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Benzo(a)pyren	µg/l	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Benzo(b)fluoranthen	µg/l	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Benzo(ghi)perylene	µg/l	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Benzo(k)fluoranthen	µg/l	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Fluoranthen	µg/l	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Indeno(1,2,3-cd)pyren	µg/l	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Naphthalin	µg/l	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
gPFOS (Perfluoroctansulfons.)	µg/l	0,07	ISO 25101 / DIN 38407-4..
para-tert-Octylphenol	µg/l	< 0,1	DIN EN ISO 18857-2 (F 32)
Pentachlorphenol	µg/l	< 0,2	DIN EN 12673 (F 15)
p-Nonylphenol	µg/l	< 0,2 (pe)	DIN EN ISO 18857-2 (F 32)
1,2,3-Trichlorbenzol	µg/l	< 0,05	DIN 38407-2 (F 2)
1,2,4-Trichlorbenzol	µg/l	< 0,05	DIN 38407-2 (F 2)

bitte wenden

Analysennummer:		54611 173487	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
1,3,5-Trichlorbenzol	µg/l	< 0,05	DIN 38407-2 (F 2)
Hexachlorbenzol (HCB)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-2 (F 2)
Pentachlorbenzol	µg/l	< 0,05	DIN 38407-2 (F 2)
BDE 154 2,2",4,4",5,6"-Hexabr...	ng/l	< 5	EPA 8270 GC/MS (NCI)
BDE-100 2,3",4,4",6-Pentabrom...	ng/l	< 5	EPA 8270 GC/MS (NCI)
BDE-153 2,2",4,4",5,5"-Hexabr...	ng/l	< 5	EPA 8270 GC/MS (NCI)
BDE-183 2,2",3,4,4",5",6-Hepta...	ng/l	< 5	EPA 8270 GC/MS (NCI)
BDE-209 Decabromdiphenylether	ng/l	< 50	EPA 8270 GC/MS (NCI)
BDE-28 2,4,4"-Tribromdiphenylet.	ng/l	< 5	EPA 8270 GC/MS (NCI)
BDE-47 2,2",4,4"-Tetrabromdiph..	ng/l	< 5	EPA 8270 GC/MS (NCI)
BDE-99 2,2",4,4",5-Pentabromdi..	ng/l	< 5	EPA 8270 GC/MS (NCI)
Bis(2-ethylhexyl)Phthalat (DEHP)	µg/l	< 1	EPA 8270
Tributylzinn	µg/l	< 0,005	DIN EN ISO 17353 (F 13)
Aclonifen	µg/l	< 0,05	DIN EN ISO 11369 (F 12)
Alachlor	µg/l	< 0,05	EN ISO 11369 (mod.)
Bifenox	µg/l	< 0,05	EN ISO 11369 (mod.)
Chlorfenvinphos	µg/l	< 0,05	keine Angabe
Dichlorvos	µg/l	< 0,05	keine Angabe
Quinoxifen	µg/l	< 0,05	DIN EN ISO 11369 (F 12)
Trifluralin	µg/l	< 0,05	Hausmethode GC/MS
alpha-Endosulfan	µg/l	< 0,05	DIN 38407-2 (F 2)
Atrazin	µg/l	< 0,1	DIN EN ISO 11369 (F 12)
Diuron	µg/l	< 0,05	DIN EN ISO 11369 (F 12)
gamma-HCH	µg/l	< 0,05	DIN 38407-2 (F 2)
Heptachlor	µg/l	< 0,1	Hausmethode GC/MS
Isoproturon	µg/l	< 0,1	DIN EN ISO 11369 (F 12)
Simazin	µg/l	< 0,1	DIN EN ISO 11369 (F 12)
Terbutryn	µg/l	< 0,05	Hausmethode GC/MS
trans-Heptachlorepoxyd	µg/l	< 0,1	Hausmethode GC/MS
1,2,3,4,6,7,8 Hepta	ng/l	< 0,01	ISO 18073
1,2,3,4,6,7,8 Hepta CDF	ng/l	< 0,006	ISO 18073
1,2,3,4,7,8 Hexa CDD	ng/l	< 0,002	ISO 18073
1,2,3,4,7,8 Hexa CDF	ng/l	< 0,002	ISO 18073
1,2,3,4,7,8,9 Hepta CDF	ng/l	< 0,006	ISO 18073
1,2,3,6,7,8 Hexa CDD	ng/l	< 0,002	ISO 18073
1,2,3,6,7,8 Hexa CDF	ng/l	< 0,002	ISO 18073
1,2,3,7,8 Penta CDD	ng/l	< 0,002	ISO 18073
1,2,3,7,8 Penta CDF	ng/l	< 0,004 (m)	ISO 18073
1,2,3,7,8,9 Hexa CDD	ng/l	< 0,002	ISO 18073
1,2,3,7,8,9 Hexa CDF	ng/l	< 0,002	ISO 18073
2,3,4,6,7,8 Hexa CDF	ng/l	< 0,002	ISO 18073
2,3,4,7,8 Penta CDF	ng/l	< 0,002	ISO 18073
2,3,7,8 Tetra CDD	ng/l	< 0,003 (m)	ISO 18073
2,3,7,8-Tetra CDF	ng/l	< 0,003 (m)	ISO 18073

Die Prüfungsergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Bei Proben unbekanntem Ursprungs ist eine Plausibilitätsprüfung nur bedingt möglich. Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichts ohne unsere schriftliche Genehmigung ist nicht zulässig.

Analysennummer:		54611 173487	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Octa CDD	ng/l	< 0,02	ISO 18073
Octa CDF	ng/l	< 0,02	ISO 18073
PCDD,PCDF Summe	ng/l	n.b.	ISO 18073
TE (TCDD-Toxizitätsäquivalente)	ng TE/l	< 1	EPA 1613B / Berechnung ..
PCB (28)	µg/l	< 0,01	DIN 38407-3 (F 3)
PCB (52)	µg/l	< 0,01	DIN 38407-3 (F 3)
PCB (77)	ng/l	< 0,1 (m)	ISO 18073
PCB (81)	ng/l	< 0,01 (m)	ISO 18073
PCB (101)	µg/l	< 0,01	DIN 38407-3 (F 3)
PCB (105)	ng/l	< 0,55 (m)	ISO 18073
PCB (114)	ng/l	< 0,1 (m)	ISO 18073
PCB (118)	ng/l	< 1,7 (m)	ISO 18073
PCB (123)	ng/l	< 0,1 (m)	ISO 18073
PCB (126)	ng/l	< 0,01 (m)	ISO 18073
PCB (126)	ng/l	< 0,01 (m)	ISO 18073
PCB (138)	µg/l	< 0,01	DIN 38407-3 (F 3)
PCB (153)	µg/l	< 0,01	DIN 38407-3 (F 3)
PCB (156)	ng/l	< 0,2 (m)	ISO 18073
PCB (157)	ng/l	< 0,1 (m)	ISO 18073
PCB (167)	ng/l	< 0,1 (m)	ISO 18073
PCB (180)	µg/l	< 0,01	DIN 38407-3 (F 3)
PCB (189)	ng/l	< 0,1 (m)	ISO 18073

(m) Die Nachweis-, bzw. Bestimmungsgrenze musste erhöht werden, da Matrixeffekte bzw. Substanzüberlagerungen eine Quantifizierung erschweren.

(pe) Die Nachweis-, bzw. Bestimmungsgrenze musste erhöht werden, da Matrixeffekte eine Veränderung des Verhältnisses von Probenmenge zum Extraktionsmittel erforderten.

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

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von Gesellschaft für Bioanalytik mbH, Hildesheim, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 (DAP-PL-14170-01-00).

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.

Die Prüfungsergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Bei Proben unbekanntem Ursprungs ist eine Plausibilitätsprüfung nur bedingt möglich. Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichts ohne unsere schriftliche Genehmigung ist nicht zulässig.

UNTERSUCHUNGSBEFUND

Leopoldshöhe, 12.03.2015 JB

Auftraggeber: Tuttahs und Meyer Ingenieurgesellschaft, Bochum

Entnahmestelle: Zentralkläwerk Velen

Probenahmestelle: (1) Ablauf

Entnahme: mehrtägige Mischprobe: 10.02.2015 11:00 Uhr - 13.02.2015 11:00 Uhr Laboreingang: 13.02.2015

Analysennummer:		54459 173028	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Wassermenge in 72 h	m ³	13800	
Bezafibrat	µg/l	0,09	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Diclofenac	µg/l	1,80	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Naproxen	µg/l	0,130	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Phenazon	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Carbamazepin	µg/l	0,660	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Atenolol	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Bisoprolol	µg/l	0,220	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Metoprolol	µg/l	0,860	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Sotalol	µg/l	0,07	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Clarithromycin	µg/l	0,07	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Sulfamethoxazol	µg/l	0,300	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Oxazepam	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Amidotrizoessäure	µg/l	1,30	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
lomeprol	µg/l	0,420	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
lopamidol	µg/l	8,50	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
lopromid	µg/l	3,00	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Diuron	µg/l	< 0,05	DIN 38407-35 ^a
Isoproturon	µg/l	< 0,05	DIN 38407-35 ^a
Terbutryn	µg/l	< 0,05	DIN 38407-35 ^a
Benzotriazol	µg/l	3,60	Hausmethode (LC-MS-MS)
17-alpha-Ethinylestradiol	ng/l	< 1	Fl.-Extr., GC-MSD É
17-beta-Estradiol	ng/l	< 5	Fl.-Extr., GC-MSD É
Estron	ng/l	< 5	Fl.-Extr., GC-MSD É

bitte wenden

<i>Analysennummer:</i>		54459 173028	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	Verfahren

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von Gesellschaft für Bioanalytik mbH, Hildesheim, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 (DAP-PL-14170-01-00).

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, 12.03.2015 JB

Auftraggeber: Tuttahs und Meyer Ingenieurgesellschaft, Bochum

Entnahmestelle: Zentralkläwerk Velen

Probenahmestelle: (1) Bocholter Aa (oberhalb)

Entnahme: (1) 13.02.2015 Stichprobe: 10:25 Uhr Laboreingang: 13.02.2015

Witterung: (1) Während der Probe kein Niederschlag, davor kein Niederschlag, Lufttemperatur: 5 °C

Analysennummer:		54461 173033	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Diclofenac	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Carbamazepin	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Metoprolol	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Sotalol	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Clarithromycin	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Sulfamethoxazol	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Benzotriazol	µg/l	< 0,05	Hausmethode (LC-MS-MS)

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von Gesellschaft für Bioanalytik mbH, Hildesheim, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 (DAP-PL-14170-01-00).

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, 12.03.2015 JB

Auftraggeber: Tuttahs und Meyer Ingenieurgesellschaft, Bochum

Entnahmestelle: Zentralkläwerk Velen

Probenahmestelle: (1) Bocholter Aa (unterhalb) vor Messlingbach

Entnahme: (1) 13.02.2015 Stichprobe: 10:35 Uhr Laboreingang: 13.02.2015

Witterung: (1) Während der Probe kein Niederschlag, davor kein Niederschlag, Lufttemperatur: 5 °C

Analysennummer:		54462 173034	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Diclofenac	µg/l	0,170	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Carbamazepin	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Metoprolol	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Sotalol	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Clarithromycin	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Sulfamethoxazol	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Benzotriazol	µg/l	0,270	Hausmethode (LC-MS-MS)

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von Gesellschaft für Bioanalytik mbH, Hildesheim, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 (DAP-PL-14170-01-00).

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.

Auftraggeber: Tuttahs und Meyer Ingenieurgesellschaft, Bochum
Entnahmestelle: Zentralkläwerk Velen
Probenahmestelle: Zulauf
Auftrag: 54457

Mischprobe von 09.02.2015
bis 12.02.2015

Konzentrationen

Gruppe	Parameter	Einheit	Messwert	Verfahren
	Wassermenge in 72 h	m ³	14280	Ihre Angabe
Lipidsenker	Bezafibrat	ng/l	570	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Schmerzmittel	Diclofenac	ng/l	3200	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Schmerzmittel	Naproxen	ng/l	320	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Schmerzmittel	Phenazon	ng/l	70	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Antiepileptikum	Carbamazepin	ng/l	770	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Betablocker	Atenolol	ng/l	<50	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Betablocker	Bisoprolol	ng/l	310	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Betablocker	Metoprolol	ng/l	1400	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Betablocker	Sotalol	ng/l	60	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Antibiotikum	Clarithromycin	ng/l	<50	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Antibiotikum	Sulfamethoxazol	ng/l	620	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Psychopharmakon	Oxazepam	ng/l	<50	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Kontrastmittel	Amidotrizoesäure	ng/l	1800	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Kontrastmittel	Iomeprol	ng/l	1100	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Kontrastmittel	Iopamidol	ng/l	9200	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Kontrastmittel	Iopromid	ng/l	10000	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
PSM	Diuron	ng/l	<50	DIN 38407-35 ^a
PSM	Isoproturon	ng/l	<50	DIN 38407-35 ^a
PSM	Terbutryn	ng/l	<50	DIN 38407-35 ^a
Korrosionsinhibitor	Benzotriazol	ng/l	6600	Hausmethode (LC-MS-MS)
Steroidhormon	17-alpha-Ethinylestradiol	ng/l	< 1	Fl.-Extr., GC-MSD É
Steroidhormon	17-beta-Estradiol	ng/l	56	Fl.-Extr., GC-MSD É
Steroidhormon	Estron	ng/l	93	Fl.-Extr., GC-MSD É

Frachten

Mischprobe von 09.02.2015
bis 12.02.2015

Gruppe	Parameter	Einheit	Messwert	Verfahren
	Wassermenge in 72 h	m ³	14280	Ihre Angabe
Lipidsenker	Bezafibrat	g	8,14	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Schmerzmittel	Diclofenac	g	45,7	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Schmerzmittel	Naproxen	g	4,57	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Schmerzmittel	Phenazon	g	1,00	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Antiepileptikum	Carbamazepin	g	11,0	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Betablocker	Atenolol	g	n.b.	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Betablocker	Bisoprolol	g	4,43	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Betablocker	Metoprolol	g	20,0	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Betablocker	Sotalol	g	0,86	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Antibiotikum	Clarithromycin	g	n.b.	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Antibiotikum	Sulfamethoxazol	g	8,9	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Psychopharmakon	Oxazepam	g	n.b.	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Kontrastmittel	Amidotrizoesäure	g	25,7	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Kontrastmittel	Iomeprol	g	15,71	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Kontrastmittel	Iopamidol	g	131,4	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Kontrastmittel	Iopromid	g	142,8	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
PSM	Diuron	g	n.b.	DIN 38407-35 ^a
PSM	Isoproturon	g	n.b.	DIN 38407-35 ^a
PSM	Terbutryn	g	n.b.	DIN 38407-35 ^a
Korrosionsinhibitor	Benzotriazol	g	94,2	Hausmethode (LC-MS-MS)
Steroidhormon	17-alpha-Ethinylestradiol	g	n.b.	Fl.-Extr., GC-MSD É
Steroidhormon	17-beta-Estradiol	g	0,80	Fl.-Extr., GC-MSD É
Steroidhormon	Estron	g	1,33	Fl.-Extr., GC-MSD É

Auswertung

Kunde: Tuttahs und Meyer Ingenieurgesellschaft, Bochum
 Anlage: Zentralkläwerk Velen
 Probenahmestelle: Zulauf

Entnahme: 09.02.2015
 bis 12.02.2015

	Probe:	173023 [ng/l]	Anzahl Messungen	Anzahl > BG	Mittelwert [ng/l]	Maximum [ng/l]
Lipidsenker	Bezafibrat	570	7	7	653	880
Schmerzmittel	Diclofenac	3200	7	7	3114	5200
Schmerzmittel	Naproxen	320	7	7	2100	6000
Schmerzmittel	Phenazon	70	7	5	193	470
Antiepileptikum	Carbamazepin	770	7	7	1119	2400
Betablocker	Atenolol	<50	7	1	490	490
Betablocker	Bisoprolol	310	7	7	567	1300
Betablocker	Metoprolol	1400	7	7	2357	4000
Betablocker	Sotalol	60	7	6	436	910
Antibiotikum	Clarithromycin	<50	7	4	196	280
Antibiotikum	Sulfamethoxazol	620	7	6	642	1000
Psychopharmakon	Oxazepam	<50	7	5	198	350
Kontrastmittel	Amidotrizoesäure	1800	7	5	4280	15000
Kontrastmittel	Iomeprol	1100	7	5	44580	84000
Kontrastmittel	Iopamidol	9200	7	5	15160	55000
Kontrastmittel	Iopromid	10000	7	5	5778	16000
PSM	Diuron	<50	11	2	56	61
PSM	Isoproturon	<50	11	0	-	-
PSM	Terbutryn	<50	7	5	163	310
Korrosionsinhibitor	Benzotriazol	6600	11	11	13342	35000
Steroidhormon	17-alpha-Ethinylestradiol	< 1	7	0	-	-
Steroidhormon	17-beta-Estradiol	56	7	7	67	130
Steroidhormon	Estron	93	7	7	61	110

BG = Bestimmungsgrenze

 Ergebnis der Probe liegt oberhalb des Mittelwertes

 Ergebnis der Probe erreicht/liefert den aktuellen Maximalwert

Auftraggeber: Tuttahs und Meyer Ingenieurgesellschaft, Bochum
Entnahmestelle: Zentralkläwerk Velen
Probenahmestelle: Ablauf
Auftrag: 54459

Mischprobe von 10.02.2015
bis 13.02.2014

Konzentrationen

Gruppe	Parameter	Einheit	Messwert	Verfahren
	Wassermenge in 72 h	m ³	13800	Ihre Angabe
Lipidsenker	Bezafibrat	ng/l	90	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Schmerzmittel	Diclofenac	ng/l	1800	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Schmerzmittel	Naproxen	ng/l	130	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Schmerzmittel	Phenazon	ng/l	<50	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Antiepileptikum	Carbamazepin	ng/l	660	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Betablocker	Atenolol	ng/l	<50	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Betablocker	Bisoprolol	ng/l	220	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Betablocker	Metoprolol	ng/l	860	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Betablocker	Sotalol	ng/l	70	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Antibiotikum	Clarithromycin	ng/l	70	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Antibiotikum	Sulfamethoxazol	ng/l	300	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Psychopharmakon	Oxazepam	ng/l	<50	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Kontrastmittel	Amidotrizoesäure	ng/l	1300	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Kontrastmittel	Iomeprol	ng/l	420	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Kontrastmittel	Iopamidol	ng/l	8500	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Kontrastmittel	Iopromid	ng/l	3000	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
PSM	Diuron	ng/l	<50	DIN 38407-35 ^a
PSM	Isoproturon	ng/l	<50	DIN 38407-35 ^a
PSM	Terbutryn	ng/l	<50	DIN 38407-35 ^a
Korrosionsinhibitor	Benzotriazol	ng/l	3600	Hausmethode (LC-MS-MS)
Steroidhormon	17-alpha-Ethinylestradiol	ng/l	< 1	Fl.-Extr., GC-MSD É
Steroidhormon	17-beta-Estradiol	ng/l	< 5	Fl.-Extr., GC-MSD É
Steroidhormon	Estron	ng/l	< 5	Fl.-Extr., GC-MSD É

Frachten

Mischprobe von 10.02.2015
bis 13.02.2014

Gruppe	Parameter	Einheit	Messwert	Verfahren
	Wassermenge in 72 h	m ³	13800	Ihre Angabe
Lipidsenker	Bezafibrat	g	1,24	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Schmerzmittel	Diclofenac	g	24,8	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Schmerzmittel	Naproxen	g	1,79	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Schmerzmittel	Phenazon	g	n.b.	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Antiepileptikum	Carbamazepin	g	9,1	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Betablocker	Atenolol	g	n.b.	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Betablocker	Bisoprolol	g	3,04	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Betablocker	Metoprolol	g	11,9	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Betablocker	Sotalol	g	0,97	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Antibiotikum	Clarithromycin	g	1,0	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Antibiotikum	Sulfamethoxazol	g	4,1	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Psychopharmakon	Oxazepam	g	n.b.	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Kontrastmittel	Amidotrizoesäure	g	17,9	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Kontrastmittel	Iomeprol	g	5,80	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Kontrastmittel	Iopamidol	g	117,3	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Kontrastmittel	Iopromid	g	41,4	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
PSM	Diuron	g	n.b.	DIN 38407-35 ^a
PSM	Isoproturon	g	n.b.	DIN 38407-35 ^a
PSM	Terbutryn	g	n.b.	DIN 38407-35 ^a
Korrosionsinhibitor	Benzotriazol	g	49,7	Hausmethode (LC-MS-MS)
Steroidhormon	17-alpha-Ethinylestradiol	g	n.b.	Fl.-Extr., GC-MSD É
Steroidhormon	17-beta-Estradiol	g	n.b.	Fl.-Extr., GC-MSD É
Steroidhormon	Estron	g	n.b.	Fl.-Extr., GC-MSD É

Auswertung

Kunde: Tuttahs und Meyer Ingenieurgesellschaft, Bochum
 Anlage: Zentralkläwerk Velen
 Probenahmestelle: Ablauf

Entnahme: 10.02.2015
 bis 13.02.2014

	Probe:	173028 [ng/l]	Anzahl Messungen	Anzahl > BG	Mittelwert [ng/l]	Maximum [ng/l]
Lipidsenker	Bezafibrat	90	89	73	252	1100
Schmerzmittel	Diclofenac	1800	132	122	2124	5300
Schmerzmittel	Naproxen	130	89	68	219	1400
Schmerzmittel	Phenazon	<50	89	69	170	1300
Antiepileptikum	Carbamazepin	660	131	121	1047	3500
Betablocker	Atenolol	<50	89	62	807	41000
Betablocker	Bisoprolol	220	89	81	436	2900
Betablocker	Metoprolol	860	132	122	1855	5100
Betablocker	Sotalol	70	132	119	429	1500
Antibiotikum	Clarithromycin	70	132	113	249	1300
Antibiotikum	Sulfamethoxazol	300	132	117	573	9100
Psychopharmakon	Oxazepam	<50	74	64	178	1500
Kontrastmittel	Amidotrizoesäure	1300	119	109	3093	28000
Kontrastmittel	Iomeprol	420	119	84	6027	86000
Kontrastmittel	Iopamidol	8500	119	97	2934	50000
Kontrastmittel	Iopromid	3000	68	32	2432	21000
PSM	Diuron	<50	105	25	92	250
PSM	Isoproturon	<50	90	9	8478	75000
PSM	Terbutryn	<50	78	14	138	500
Korrosionsinhibitor	Benzotriazol	3600	124	117	5779	24000
Steroidhormon	17-alpha-Ethinylestradiol	< 1	76	5	58	140
Steroidhormon	17-beta-Estradiol	< 5	76	2	23	26
Steroidhormon	Estron	< 5	76	2	36	52

BG = Bestimmungsgrenze

 Ergebnis der Probe liegt oberhalb des Mittelwertes

 Ergebnis der Probe erreicht/liefert den aktuellen Maximalwert