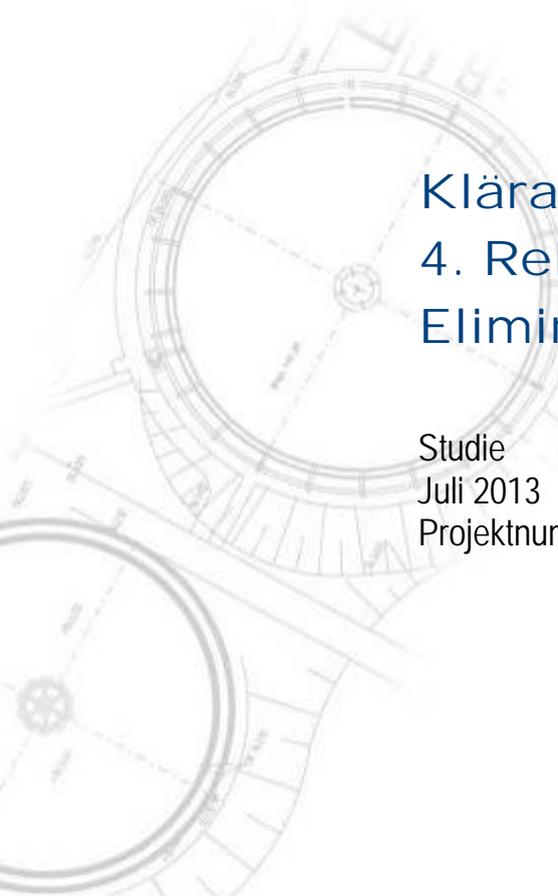


# Kläranlage Ochtrup

## 4. Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroschadstoffen

Studie  
Juli 2013  
Projektnummer 0485 004





# Kläranlage Ochtrup 4. Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroschadstoffen

Studie  
Juli 2013  
Projektnummer 0485 004

Bearbeitet durch:  
Dipl.-Ing. Norbert Biebersdorf  
Dr.-Ing. Jan Mauriz Kaub

Aufgestellt:  
Bochum, im Juli 2013

Dipl.-Ing. Jörg Alda

## Gesamtinhaltsverzeichnis

### I Textteil

- Erläuterungsbericht
- Anlagen

### II Zeichnungen

Blatt	Titel	Maßstab	Verwaltungsnummer
1	Lageplan, Variante 1 PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle	1 : 250	030 007 01 00
2	Lageplan, Variante 2 PAK-Dosierung	1 : 250	030 007 02 00
3	Lageplan, Variante 3 nachgeschaltete GAK-Filter	1 : 250	030 007 03 00
4	Lageplan, Variante 4 Ozonung	1 : 250	030 007 04 00
5	Verfahrensschema, Variante 1 PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle	1: -	030 053 01 00
6	Verfahrensschema, Variante 1 PAK-Dosierung	1: -	030 053 02 00
7	Verfahrensschema, Variante 3 nachgeschaltete GAK-Filter	1: -	030 053 03 00
8	Verfahrensschema, Variante 4 Ozonung	1: -	030 053 04 00

**Auftraggeber:**

Stadtwerke Ochtrup – Abwasserwerk  
Witthagen 3  
48607 Ochtrup

Telefon: 02553 71-0  
Telefax: 02553 71-18  
info@stadtwerke-ochtrup.de

**Projektleiter:**

Herr Dipl.-Ing. Johannes Ratering

Telefon: 02553/71-99  
johannes.ratering@stadtwerke-ochtrup.de

Herr Norbert Feldevert  
(techn. Leiter Kläranlage)

Telefon: 02553/3676  
klaeranlage@stadtwerke-ochtrup.de

**Bearbeitung durch:**

TUTTAHS & MEYER Ingenieurgesellschaft mbH  
Universitätsstraße 74  
44789 Bochum

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

Herr Dipl.-Ing. Norbert Biebersdorf

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

Herr Dr.-Ing. Jan Mauriz Kaub

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

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Veranlassung und Aufgabenstellung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Zugrunde liegende Unterlagen</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Belastungsdaten Hydraulik</b> .....	<b>2</b>
3.1	Grundlagen.....	2
3.2	Einleitungsmengen.....	2
3.3	Festlegung Teilstrommenge.....	2
<b>4</b>	<b>Genehmigungssituation und Reinigungsanforderungen</b> .....	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Anlagenbestand Abwasserbehandlung</b> .....	<b>5</b>
5.1	Abwasserpumpwerk.....	6
5.2	Mechanische Reinigungsstufe.....	6
5.2.1	Grob-/Feinrechenanlage.....	6
5.2.2	Belüfteter Sandfang.....	6
5.2.3	Regenklärbecken.....	6
5.3	Biologische Reinigungsstufe.....	6
5.3.1	Hochlastbelebung.....	7
5.3.2	Zwischenklärung.....	7
5.3.3	Ozonanlage/Reaktionsbehälter (optional).....	7
5.4	Biologische Phosphatelimination.....	8
5.4.1	Denitrifikation/Nitrifikation.....	8
5.4.2	Phosphatfällung.....	8
5.4.3	Nachklärung.....	9
5.4.4	Rücklaufschlammumpwerk.....	9
5.5	Weitergehende Reinigung.....	9
5.5.1	Zwischenpumpwerk.....	9
5.5.2	Aktivkohleadsorption (optional).....	9
5.5.3	Filtration.....	10
5.6	Mengenmess- und Probenahmestation.....	11
<b>6</b>	<b>Spurenstoffe im Wasserkreislauf</b> .....	<b>12</b>
6.1	Einleitung.....	12
6.2	Charakterisierung des Verhaltens von anthropogenen Spurenstoffen.....	12
<b>7</b>	<b>Verfahren zur Elimination von Spurenstoffen</b> .....	<b>13</b>
7.1	Überblick.....	13
7.2	Adsorption.....	14
7.2.1	Grundlagen.....	14
7.2.2	Einsatz Aktivkohle in der Abwassertechnik zur Spurenstoffelimination.....	19
7.2.2.1	Pulveraktivkohle.....	19
7.2.2.2	Granulierte Aktivkohle.....	21
7.3	Ozonung.....	22
7.3.1	Grundlagen.....	22

7.3.1.1	Einsatz und Wirkung von Ozon .....	22
7.3.1.2	Ozonanwendung .....	23
7.3.2	Einsatz von Ozon in der Abwassertechnik zur Spurenstoffelimination.....	25
<b>8</b>	<b>Darstellung der untersuchten Verfahrenskombinationen .....</b>	<b>26</b>
8.1	Verfahrensfestlegung und Randbedingungen .....	26
8.2	Varianten .....	27
8.2.1	Variante 1: Pulverkohle mit Rücklaufkohle .....	27
8.2.1.1	Allgemein.....	27
8.2.1.2	Ausführung .....	28
8.2.2	Variante 2: PAK-Dosierung .....	30
8.2.2.1	Allgemein.....	30
8.2.2.2	Ausführung .....	30
8.2.3	Variante 3: Nachgeschalte Filtration über granulierte Aktivkohle .....	32
8.2.3.1	Allgemeines .....	32
8.2.3.2	Ausführung .....	33
8.2.4	Variante 4: Ozonung .....	34
8.2.4.1	Allgemeines .....	34
8.2.4.2	Ausführung .....	35
<b>9</b>	<b>Kosten .....</b>	<b>36</b>
9.1	Allgemein.....	36
9.2	Investitionskosten .....	37
9.3	Betriebskosten.....	37
9.4	Jahreskosten .....	39
9.5	Sensitivitätsanalyse .....	39
<b>10</b>	<b>Bewertung.....</b>	<b>40</b>
<b>11</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>43</b>
<b>12</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>45</b>

## Bildverzeichnis

Bild 1:	Volumenstrom Ablauf KA Ochtrup (03/2012 – 03/2013).....	3
Bild 2:	Summenhäufigkeit Ablauf KA Ochtrup (03/2012 – 03/2013) .....	4
Bild 3:	Behandelte Abwassermenge KA Ochtrup (03/2012 – 03/2013) .....	4
Bild 4:	Schnitt Filterbehälter aus Beton (Quelle: Entwurfsplanung Filtration).....	11
Bild 5:	Verfahren zur Spurenstoffelimination (Quelle: Kompetenzzentrum Spurenstoffe BW) .....	14
Bild 6:	Grundbegriffe der Adsorption.....	15
Bild 7:	Teilschritte der Adsorption (Bathen und Breitbach, 2001) .....	15
Bild 8:	Isotherme Adsorption Phenol an Aktivkohle bei unterschiedlichen NaCl-Konzentrationen (Cooney 1998).....	16
Bild 9:	Adsorptionsverhalten zweier unterschiedlicher Stoffe im Festbettadsorber (DVGW W 239) .....	18
Bild 10:	Verlagerung der Adsorptionszone über die Filterlaufzeit (Sontheimer u. a., 1985) .	18
Bild 11:	Durchbruchskurve eines Adsorptivgemisches (Worch 2004, modifiziert) .....	19
Bild 12:	Schema Ozonerzeugung (Gujer 1999, modifiziert).....	24
Bild 13:	Ergebnisse Elimination Spurenstoffe ARA Regendorf (Abegglen u. a. 2009) .....	25
Bild 14:	Blockschema Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle .....	28
Bild 15:	Lageplanausschnitt Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle.....	29
Bild 16:	Blockschema Variante 2: PAK-Dosierung.....	30
Bild 17:	Lageplanausschnitt Variante 2: PAK-Dosierung .....	31
Bild 18:	Blockschema Variante 3: Nachgeschaltete GAK-Filtration .....	32
Bild 19:	Lageplanausschnitt Variante 3: Nachgeschaltete GAK-Filtration .....	34
Bild 20:	Blockschema Variante 4: Ozonung.....	35
Bild 21:	Lageplanausschnitt Variante 4: Ozonung .....	36

## Teil B: Anlagen

Anlage 1:	Auslegung Varianten 1 bis 4
Anlage 2:	Investitionskosten Varianten 1 bis 4
Anlage 3:	Betriebskosten Varianten 1 bis 4
Anlage 4:	Jahreskosten

## 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 Unterausschuss des Europäischen Parlaments mit der Aufnahme von erstmals drei Pharmaka-Wirkstoffen in die Liste der prioritären Stoffe nach der Wasser-Rahmenrichtlinie vom November 2012 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 Stadtwerke Ochtrup haben die TUTTAHS & MEYER Ing.-GmbH beauftragt, für die Kläranlage Ochtrup eine solche Studie auszuarbeiten.

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

Die Machbarkeitsstudie gliedert sich in folgende Punkte auf:

- Datenauswertung mit Ermittlung der für die Auslegung maßgeblichen Teilstrommenge;
- Auslegung der insgesamt vier Verfahrenskombinationen;
- Darstellung der Varianten im Lageplan und im Verfahrensfliessbild (RI-Schema);
- 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

Der Projektbearbeitung werden die nachfolgend aufgeführten Unterlagen zugrunde gelegt:

### Genehmigungsrechtliche Unterlagen

- [1] Änderungsentwurf zum Genehmigungsentwurf nach § 58 (2) LWG zur weitergehenden Reinigung für die Kläranlage der Stadt Ochtrup, TUTTAHS & MEYER Ingenieurgesellschaft mbH, Bochum, Oktober 1991
- [2] Genehmigungsentwurf nach § 58 (2) LWG – Weitergehende Reinigung – Kläranlage Ochtrup, TUTTAHS & MEYER Ingenieurgesellschaft mbH, Bochum, Oktober 1989

### Bestandsdokumentationen

- [3] Bestandszeichnungen der Kläranlage Ochtrup, undatiert

### Betriebsdaten, Messprogramme

- [4] Auszug Betriebstagebuch KA Ochtrup, April 2012 bis März 2013
- [5] Abflussmengenmessung 15-Minuten-Werte KA Ochtrup, 01.03.2012 bis 01.03.2013, digital

## 3 Belastungsdaten Hydraulik

### 3.1 Grundlagen

Die 4. Reinigungsstufe wird für einen Teilstrom bemessen, der einen Großteil der jährlichen Abflusssituationen abdecken soll. Es hat sich bewährt, die Anlagen auf einen Teilstrom auszulegen, mit dem mehr als 80 % der Jahres der anfallende Zulauf über die 4. Reinigungsstufe geführt werden kann.

### 3.2 Einleitungsmengen

Die derzeitig genehmigten Einleitungsmengen aus dem 1. Änderungsentwurf vom Oktober 1991 betragen:

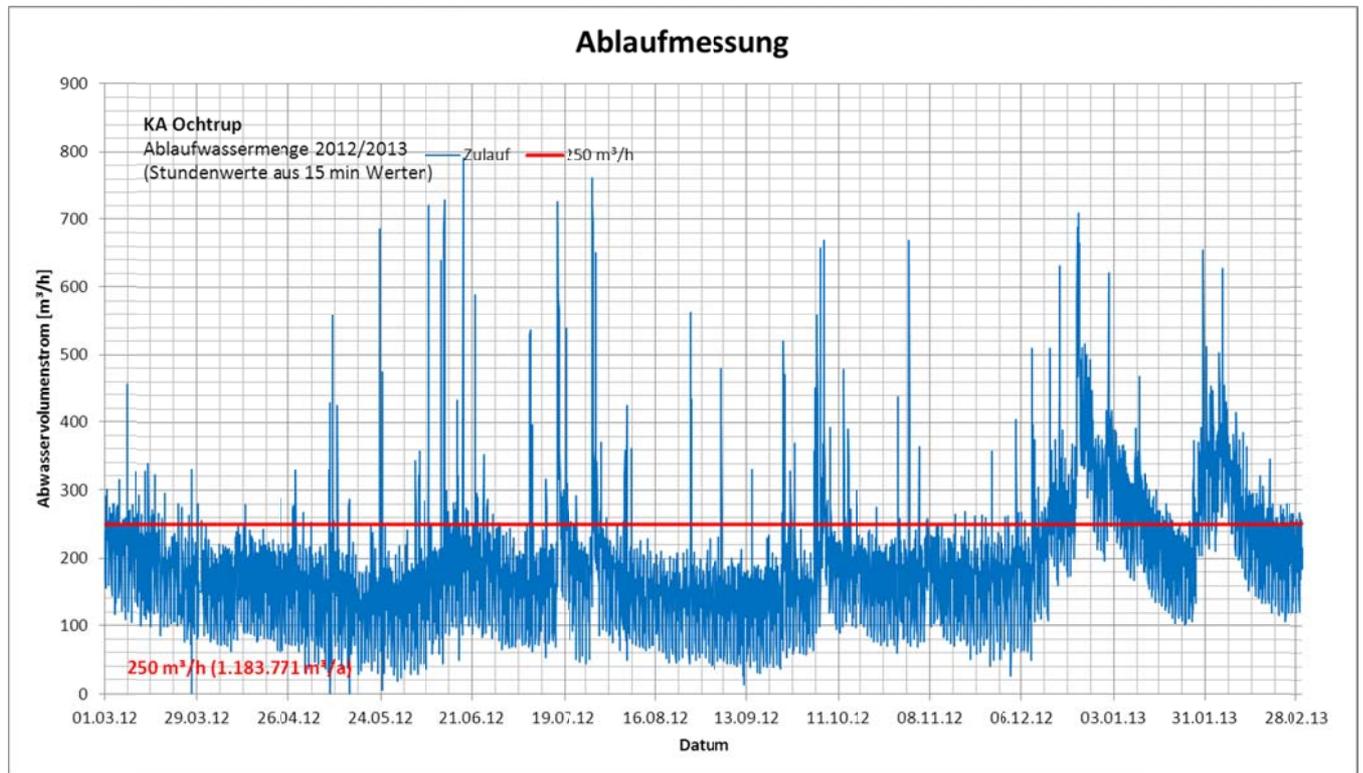
Maximaler Abfluss	$Q_{\max}$	=	246 l/s
		=	885 m <sup>3</sup> /h
Trockenwetterzufluss	$Q_t$	=	125 l/s
		=	450 m <sup>3</sup> /h

### 3.3 Festlegung Teilstrommenge

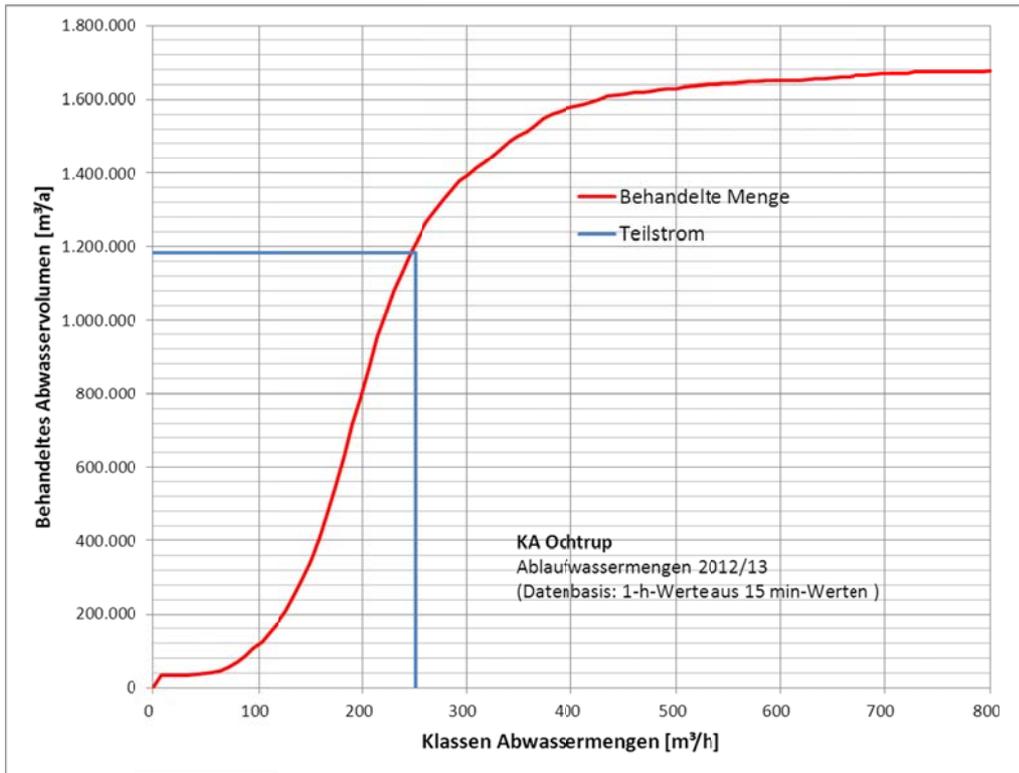
Die 15-min-Zulaufwerte von März 2012 bis März 2013, die aus dem Prozessleitsystem der Kläranlage Ochtrup ausgelesen wurden, wurden für die folgende Auswertung genutzt.

Die Auswertung ergab, dass mit einem Volumenstrom von 250 m<sup>3</sup>/h an 7.242 h im Jahr das komplette Abwasser über die 4. Reinigungsstufe geführt wird. Dies sind ca. 83 % des Jahres. In der Stufe werden im Jahr 1.183.771 m<sup>3</sup> behandelt.

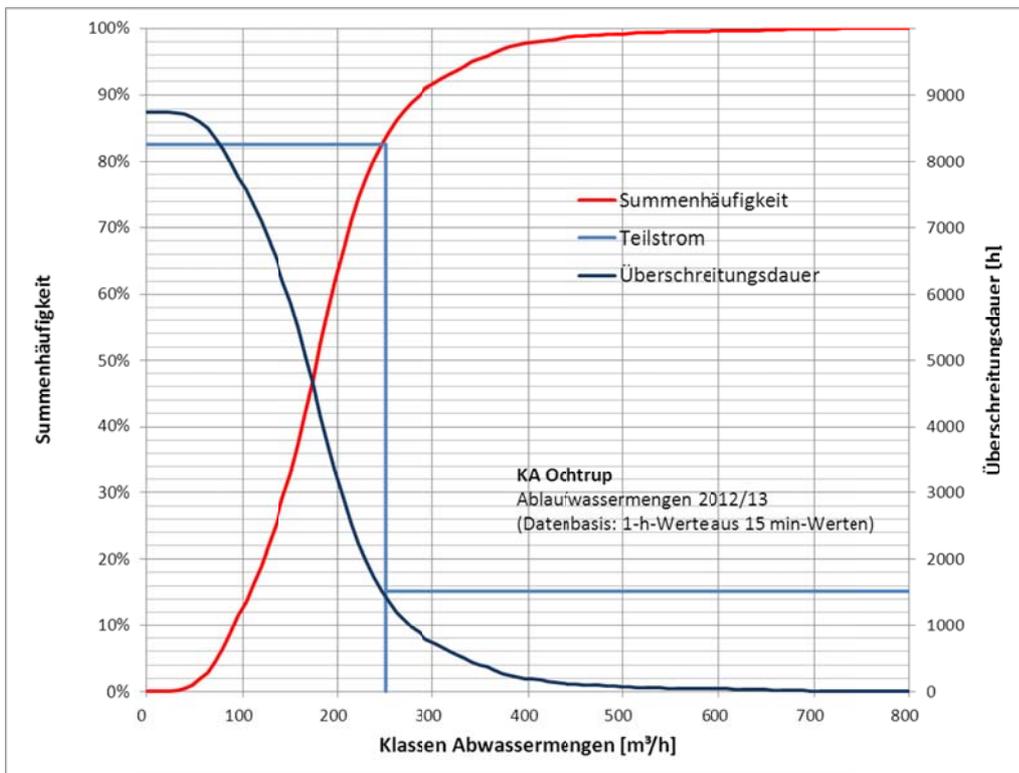
Für die weitere Auslegung erfolgte mit einem Volumenstrom von 250 m<sup>3</sup>/h.



**Bild 1: Volumenstrom Ablauf KA Ochtrup (03/2012 – 03/2013)**



**Bild 2: Summenhäufigkeit Ablauf KA Ochtrup (03/2012 – 03/2013)**



**Bild 3: Behandelte Abwassermenge KA Ochtrup (03/2012 – 03/2013)**

#### 4 Genehmigungssituation und Reinigungsanforderungen

Im Oktober 1989 hat die Stadt Ochtrup den Genehmigungsentwurf nach § 58 (2) LWG, weitergehende Abwasserreinigung Kläranlage Ochtrup, eingereicht. Dieser Entwurf wurde am 06.12.1989 vom RP Münster unter dem Az.: 54.2-4.5.1-7.170 nach § 58 (2) LWG genehmigt.

Der von der Stadt Ochtrup im Oktober 1991 eingereichte 1. Änderungsentwurf nach § 58(2) LWG wurde vom RP Münster am 23.03.1992 unter dem Az.: 54.2-4.5.1-7.17.0 genehmigt.

Die Kläranlage Ochtrup fällt nach Anlage 1 der Abwasserverordnung in die Größenklasse 4.

Folgende Überwachungswerte sind einzuhalten:

Parameter	Konzentration [mg/l]
CSB	72 ab 01.01.2016: 56
BSB <sub>5</sub>	10
NH <sub>4</sub> -N	4
N <sub>ges</sub>	18
P <sub>ges</sub>	1

Die Jahresschmutzwassermenge liegt im Bescheid vom 13.12.2012 bei 1.500.000 m<sup>3</sup>/a

#### 5 Anlagenbestand Abwasserbehandlung

Gemäß den erteilten wasserrechtlichen Genehmigungen wurden folgende wesentlichen abwasserseitigen Anlagenteile errichtet:

- Abwasserhebewerk,
- Grob-/Feinrechenanlage,
- Rechenanlage,
- Belüfteter Sandfang mit Fettfang,
- Regenklärbecken,
- Hochlastbelebung,
- Zwischenklärbecken,
- Ozonisierungsanlage/Reaktionsbehälter,
- Bio-P-Becken,
- Deni-/Nitrifikationsbecken,
- Nachklärbecken,
- Rücklaufschlammumpwerk,
- Aktivkohleadsorption,
- Filtration,
- Mengemess- und Probenahmestation,
- Einleitungsbauwerk.

## 5.1 Abwasserpumpwerk

Zur hydraulischen Anhebung des anfallenden kommunalen Abwassers auf das Wasserspiegelniveau der Kläranlage ist ein Abwasserhebewerk erforderlich, das als Schneckenpumpwerk ausgeführt wurde. Insgesamt sind im bestehenden Hebewerk drei Schneckenpumpen DN 1200 installiert, davon eine als Reservepumpe.

**Bestand:** Anzahl Schnecken = 3 Stück

## 5.2 Mechanische Reinigungsstufe

Der kommunale Abwasserstrom durchfließt hinter dem Abwasserpumpwerk die mechanische Reinigungsstufe, bestehend aus Grob-/Feinrechenanlage, belüftetem Sandfang und Regenklärbecken.

### 5.2.1 Grob-/Feinrechenanlage

Im vorhandenen Zulaufgerinne zwischen Abwasserhebewerk und belüftetem Sandfang sind nacheinander ein Grob- und Feinrechen installiert. Das anfallende Rechengut wird unmittelbar auf eine Rechengutpresse abgeworfen, in diesem Aggregat weitgehend entwässert und über das Pressrohr zum Rechengutcontainer transportiert. Die Rechenanlagen sind aus Immissionsgründen eingehaust.

### 5.2.2 Belüfteter Sandfang

Zur Abtrennung von mitgeführtem Sand aus dem kommunalen Abwasserstrom besteht ein belüfteter 2-straßiger Sandfang. Der Sandfang wird mit einem Druckluftgebläse grobblasig belüftet. Mittels an der Räumereinrichtung installierter Schneidkopfpumpen werden die Sandablagerungen auf der Beckensohle aus den Sandfangkammern gefördert und einer weiteren Behandlung/Verwendung zugeführt.

Die Räumung des Schwimmschlammes aus den Fettkammern erfolgt mit Hilfe der an der Räumereinrichtung befindlichen Schwimmschlammsschilde.

### 5.2.3 Regenklärbecken

Bei erhöhtem kommunalen Abwasseranfall wird die Differenzabwassermenge zwischen Sammlerleistung und Biologie in das Regenklärbecken eingeleitet. Das Becken arbeitet als Rückhaltebecken. Der gespeicherte Beckeninhalt wird nach dem Regenereignis mittels einer Beckenentleerungspumpe wieder zurück in den Zulauf zur biologischen Reinigungsstufe geführt.

**Bestand:** Volumen = ~ 378 m<sup>3</sup>

## 5.3 Biologische Reinigungsstufe

Die biologische Reinigungsstufe besteht aus einer Hochlastbelebung für das anfallende Textilabwasser der Firma OTV mit anschließender Zwischenklärung und Ozonisierung. Nach der Ozonisierungsanlage bzw. Regenklärbecken werden Kommunal- und Textilabwasser zusammengeführt.

Anschließend durchfließt das Kommunal- und Textilabwasser die weitere biologische Reinigungsstufe, bestehend aus der biologischen Phosphatelimination, der Denitrifikationsstufe, der Nitrifikationsstufe, der Nachklärung.

Textilabwässer werden auf der Kläranlage Ochtrup nicht mehr behandelt, da die Firma OTV ihren Betrieb eingestellt hat.

### 5.3.1 Hochlastbelebung

Das Textilabwasser wurde getrennt von dem kommunalen Abwasser in der Hochlastbelebung vorbehandelt. In der Hochlastbelebung werden sowohl die absetzbaren als auch kolloidal bis vollständig gelösten organischen Substanzen durch chemische/physikalische/biologische Vorgänge eliminiert. Die installierte Druckluftbelüftung sorgt für aerobe Verhältnisse und ausreichend Turbulenzen.

**Bestand:**      Volumen      =      ~ 480 m<sup>3</sup>

### 5.3.2 Zwischenklärung

Das Textilabwasser-/Belebtschlammgemisch aus der Hochlastbelebung durchfließt die Zwischenklärung. Der enthaltene Belebtschlamm setzt sich in der Zwischenklärung ab und wird von dort aus mittels einer Pumpe als Rücklaufschlamm zurück in die Hochlastbelebung gefördert bzw. als Überschussschlamm dem Klärprozess entzogen.

**Bestand:**      Volumen      =      ~ 900 m<sup>3</sup>  
                  Oberfläche      =      300 m<sup>2</sup>

### 5.3.3 Ozonanlage/Reaktionsbehälter (optional)

Das Textilabwasser der Firma OTV konnte nach der Zwischenklärung optional mit Ozon behandelt werden.

Hierfür sind zwei Ozongeneratoren (2 x 6.000 g/h) installiert. Der Sauerstoff wird von dem Lieferwerk in einem vor Ort aufgestellten Flüssigsauerstoff-Leihtank zur Verfügung gestellt. Das erzeugte Ozon wird über Injektoren in eine Teilwassermenge eingebracht. In zwei Reaktionsbehältern mit je 15 m<sup>3</sup> Inhalt erfolgt die eigentliche Reaktion des Ozons mit den Abwasserinhaltsstoffen.

Wenn die optionale Behandlung des Textilabwassers nicht erforderlich war, wurde dieses direkt aus dem Zwischenklärbecken dem Zulauf zum Bio-P-Becken zugeführt.

Seit Betriebsaufnahme der Firma OTV werden diese Anlagen nicht mehr betrieben.

**Bestand:**      Ozonerzeuger      2 x 6.000 g/h  
                  Reaktionsbehälter      2 x 15 m<sup>3</sup>

## 5.4 Biologische Phosphatelimination

Die biologische Phosphatelimination erfolgt im Hauptstromverfahren. Das Kommunal- und Textilabwasser durchfließt hinter dem Sandfang bzw. Regenklärbecken und Ozonanlage das Bio-P-Becken. Die Grundlagen der biologischen P-Elimination sind in der einschlägigen Literatur beschrieben.

Die Aufnahme von Phosphor in die Biomasse steigt deutlich an, wenn die Bakterien dem "Stress" anaerob-aerob wechselnder Milieubedingungen ausgesetzt werden. Unter anaeroben Bedingungen geben sie Phosphor ab; unter aeroben Bedingungen nehmen sie wieder Phosphor auf, und zwar erheblich mehr als ohne die vorgeschaltete anaerobe "Schockbehandlung".

Voraussetzung für die biologische Phosphatelimination ist zumindest die Anordnung einer anaeroben Stufe. In dieser Stufe darf weder gelöster Sauerstoff noch Nitrat im Abwasser vorhanden sein. In Verbindung mit nitrifizierenden Klärstufen ist folglich eine weitgehende Denitrifikation notwendig.

**Bestand:** Volumen =  $\sim 1.235 \text{ m}^3$

### 5.4.1 Denitrifikation/Nitrifikation

Die Belebung wird nach dem Verfahren der vorgeschalteten Denitrifikation betrieben. Die Denitrifikation ist in zwei Beckenteile unterteilt, die nacheinander durchflossen werden. In der Denitrifikationsstufe findet eine intensive Umwälzung des Abwassers mit dem ebenfalls der Denitrifikationsstufe zugeführten Rücklaufschlamm aus den Nachklärbecken unter anoxischen Bedingungen statt, die durch kontinuierlich laufende Umwälzaggregate erreicht wird.

**Bestand:** Volumen =  $\sim 2.470 \text{ m}^3$

Vom Denitrifikationsbecken aus fließt das Abwasser-/Belebtschlammgemisch der Nitrifikationsstufe zu. Die Nitrifikationsstufe besteht aus zwei Umlaufbecken, die nacheinander oder parallel durchflossen werden können.

**Bestand:** Volumen =  $4.400 \text{ m}^3$

Die Nitrifikationsstufe wird mittels auf der Beckensohle gleichmäßig verteilten Belüftern mit Luftsauerstoff versorgt. Die erforderliche Druckluft wird durch Drehkolbengebläse erzeugt.

Aus jedem Nitrifikationsbecken besteht eine Rezirkulationsleitung für die Rückführung nitrathaltigen Abwassers zurück in das erste Denitrifikationsbecken.

### 5.4.2 Phosphatfällung

Die Phosphatelimination erfolgt mit dem Fällmittel Eisen-III-Chlorid ( $\text{FeCl}_3$ ). Hierzu wurde eine Dosier- und Fällmittelanlage installiert. Die Dosierung des Fällmittels erfolgt entweder im Ablauf der Nitrifikationsbecken oder im Zulauf zur Filtration. Ferner besteht auch die Möglichkeit, das Fällmittel im Rücklaufschlammumpwerk zu dosieren.

### 5.4.3 Nachklärung

Die vorhandene Nachklärung besteht aus zwei Rundbecken. Die Zuleitung des Abwasser-/Belebtschlammgemisches aus der Nitrifikationsstufe sowie die Ableitung des Rücklaufschlammes zum Rücklaufschlammumpwerk erfolgt über unter der Beckensohle bis ins zylindrische Mittelbauwerk verlaufende Dükerleitungen.

Der auf die Beckensohle absinkende Belebtschlamm wird mittels eines Schildräumers in den mittigen Schlammtrichter geschoben. Von dort aus wird über das Rücklaufschlammumpwerk ein Teil des Belebtschlammes als Rücklaufschlamm kontinuierlich zurück vor die Belebung gepumpt. Der Überschussschlamm wird abgezogen und der Schlammbehandlung zugeführt.

Der auf der Wasseroberfläche befindliche Schwimmschlamm wird mittels einer an der Räumereinrichtung befindlichen Abzugsvorrichtung entfernt. Das geklärte Abwasser fließt über umlaufende Schwellen der nachgeschalteten Filtration zu.

<b>Bestand:</b>	Volumen	=	2.860 m <sup>3</sup>	(2 x 1.430 m <sup>2</sup> )
	Nettofläche, vorhanden	=	1.190 m <sup>2</sup>	(2 x 595 m <sup>2</sup> )
	Durchmesser, innen	=	28,00 m	
	Beckentiefe t <sub>m</sub>	=	2,40 m	

### 5.4.4 Rücklaufschlammumpwerk

Die Förderung des Rücklaufschlammes zurück in das Bio-P-Becken oder die Denitrifikationsbecken erfolgt über das Rücklaufschlammumpwerk. Mittels der im Rücklaufschlammumpwerk installierten Schneckenpumpen wird der Rücklaufschlamm aus den Schlammtrichtern der Nachklärbecken abgezogen.

## 5.5 Weitergehende Reinigung

### 5.5.1 Zwischenpumpwerk

Der Ablauf der Nachklärung wird in einem Pumpwerk, das im Untergeschoss der Filtration untergebracht ist, auf das Niveau der nachfolgenden Behandlungsstufen angehoben.

<b>Bestand:</b>	Zwischenpumpwerk
	3 Pumpen mit FU-Regelung (jeweils 280 m <sup>3</sup> /h bei 10,65 m Förderhöhe)
	1 Reservepumpe, starr (2. Spülwasserpumpe) (490 m <sup>3</sup> /h bei 12 m Förderhöhe)

### 5.5.2 Aktivkohleadsorption (optional)

Im Anschluss an die Nachklärung kann dem Abwasser optional pulverisierte Aktivkohle zugegeben werden. Die Aktivkohle-Wasser-Suspension wird dosiert in den Abwasserstrom eingeleitet und intensiv mit dem Abwasser durchmischt. Die Beladung der Aktivkohle erfolgt in zwei parallel geschalteten

Kontaktbecken. Die gleichmäßige Beschickung der Kontaktbecken wird durch einen vorgelagerten Quelltopf sichergestellt.

Ist die Aktivkohleadsorption nicht erforderlich, wird das gereinigte Abwasser aus der Nachklärung direkt der Filtration zugeführt.

<b>Bestand:</b>	Pulverkohledosierung	
	Silo mit Dosiereinheit:	50 m <sup>3</sup>
	Quelltopf Rührbehälter	2 x 121 m <sup>3</sup>

### 5.5.3 Filtration

Die Abtrennung von abfiltrierbaren Stoffen und der beladenen Aktivkohle erfolgt unter Zugabe von Flockungshilfsmitteln in der Mehrschichtfilteranlage. Es stehen insgesamt 8 Filter zur Verfügung. Die Filter besitzen eine Filteroberfläche von je 7 m<sup>2</sup>.

Die Filter werden durch eine Wasser-/Luftspülung regelmäßig regeneriert. Die Rückspülung erfolgt nach einem Spülprogramm, das mittels einer speicherprogrammierbaren Steuerung sehr variabel gehalten ist, sodass jederzeit eine Optimierung erfolgen kann.

Die wichtigsten Schritte bei der Rückspülung sind das Absenken des Wasserspiegels im Filter, die Reinigung des Filterkorns durch Luftspülung und die Wasserspülung zum Austragen des Abriebes. Der Zeitpunkt der Rückspülung richtet sich nach dem Filterwiderstand, der stark von der Beaufschlagung abhängig ist.

<b>Bestand:</b>	GesamtfILTERfläche	=	56 m <sup>2</sup>
-----------------	--------------------	---	-------------------

Für den Filter ergeben sich damit folgende Filtergeschwindigkeiten:

Filtergeschwindigkeit ohne Rückspülbetrieb (8 Filter mit je 7 m<sup>2</sup>):

$$v_t = Q_t/A = 450 \text{ m}^3/\text{h} / (8 \cdot 7 \text{ m}^2) = 8,0 \text{ m/h} > 7,5 \text{ m/h}$$

$$v_m = Q_m/A = 885 \text{ m}^3/\text{h} / (8 \cdot 7 \text{ m}^2) = 15,8 \text{ m/h} > 15 \text{ m/h}$$

Filtergeschwindigkeit mit Rückspülbetrieb (7 Filter mit je 7 m<sup>2</sup>):

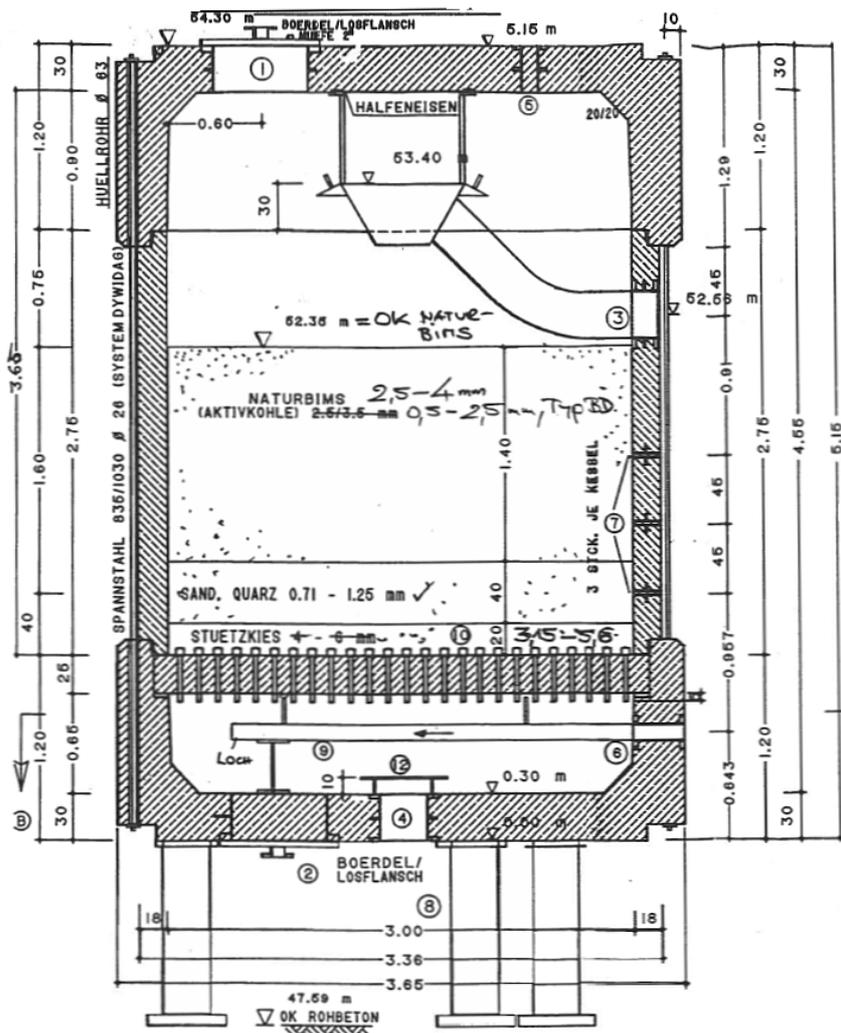
$$v_t = Q_t/A = 450 \text{ m}^3/\text{h} / (7 \cdot 7 \text{ m}^2) = 9,2 \text{ m/h} > 7,5 \text{ m/h}$$

$$v_m = Q_m/A = 885 \text{ m}^3/\text{h} / (7 \cdot 7 \text{ m}^2) = 18,1 \text{ m/h} > 15 \text{ m/h}$$

Die ermittelten Filtergeschwindigkeiten liegen oberhalb der Werte, die das ATV-Arbeitsblatt A 203 für Filteranlagen angibt:

$$v_t < 7,5 \text{ m/h}$$

$$v_m < 15 \text{ m/h}$$



**Bild 4: Schnitt Filterbehälter aus Beton (Quelle: Entwurfsplanung Filtration)**

## 5.6 Mengemess- und Probenahmestation

Hinter der Filtration vor dem Kuhrietsbach ist die Mengemess- und Probenahmestation der Kläranlage Ochtrup eingerichtet. Die Messung der Abwassermenge erfolgt mittels MID. Das Bauwerk ist mit allen Einrichtungen für die amtliche, mengenproportionale Probeentnahme eingerichtet.

### 5.6.1 Einleitungsbauwerk

Das in der Kläranlage Ochtrup gereinigte Abwasser fließt hinter der Mengemess- und Probenahmestation über eine mit natürlichem Gefälle von 1 : 400 verlegte Betonrohrleitung DN 600 dem Kuhrietsbach zu.

### 5.6.2 Schlammbehandlung

Der anfallende Primär und Überschussschlamm wird anaerob stabilisiert. Die Schlamm entwässerung erfolgt über eine Kammerfilterpresse. Der entwässerte Schlamm wird der thermischen Verwertung zugeführt.

## **6 Spurenstoffe im Wasserkreislauf**

### **6.1 Einleitung**

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

Nach der Definition der DWA sind anthropogene Spurenstoffe organische Schadstoffe, wie Humanpharmaka, Industriechemikalien, Körperpflegemittel, Waschmittelinhaltsstoffe, Nahrungsmittelzusatzstoffe, Additive in der Abwasser- und Klärschlammbehandlung, Veterinärpharmaka, Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel sowie Futterzusatzstoffe (DWA 2008).

Andere Bezeichnungen für die genannten Substanzen sind z. B. Mikroverunreinigungen und Mikro-schadstoffe.

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

Eine Hauptemissionsquelle für den Eintrag von Humanpharmaka als eine Teilgruppe stellen kommunale Kläranlagen dar.

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

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

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

Die anthropogenen Spurenstoffe lassen sich, bedingt durch ihre physiko-chemischen Eigenschaften, keiner Stoffgruppe zuordnen. Daraus folgt auch, dass sich – wie schon gesagt – Unterschiede hinsichtlich der Elimination bei verschiedenen Stoffen ergeben.

Folgende Eigenschaften der Stoffe sind zur Beurteilung ihres Eliminationsverhaltens von besonderer Wichtigkeit:

- Molekülaufbau und –struktur,
- Polarität/Hydrophobie,

- Sorptionsverhalten,
- Abbaubarkeit/Persistenz.

Der Molekülaufbau kennzeichnet entscheidend das Verhalten des Stoffes. Die Bindungsformen der Atome bzw. Molekülgruppen zueinander beispielsweise beeinflussen die Abbaubarkeit und die Reaktionseigenschaften des Stoffes.

Polarität bezeichnet in der Chemie unterschiedliche Ladungsschwerpunkte innerhalb eines Moleküls. Dieses ist somit gegenüber seiner Umgebung nicht mehr elektrisch neutral. Polare Stoffe weisen eine bessere Wasserlöslichkeit auf. Unpolare Stoffe sind schlechter wasserlöslich; sie werden auch als hydrophob bezeichnet. In wässrigen Lösungen liegen die Spurenstoffe mitunter in dissoziierter Form vor. Dies bedeutet, dass das Molekül eine Ladung angenommen hat. Zu beachten ist, dass diese Ladung pH-Wert-abhängig sein kann.

Als Modellmaß für die Polarität kann der n-Octanol-Wasserverteilungskoeffizient  $K_{OW}$  herangezogen werden. Dieser beschreibt die Verteilung einer Chemikalie zwischen organischer und wässriger Phase (Worch 1997).

Unter Sorption werden als Sammelbegriff Wechselwirkungen an Grenzflächen zwischen festen, flüssigen und gasförmigen Phasen verstanden, die zu einer Anreicherung eines Stoffes führen. Bei der Absorption erfolgt die Anreicherung des Stoffes innerhalb der Phase, wie z. B. bei der Lösung von Gasen in Flüssigkeiten.

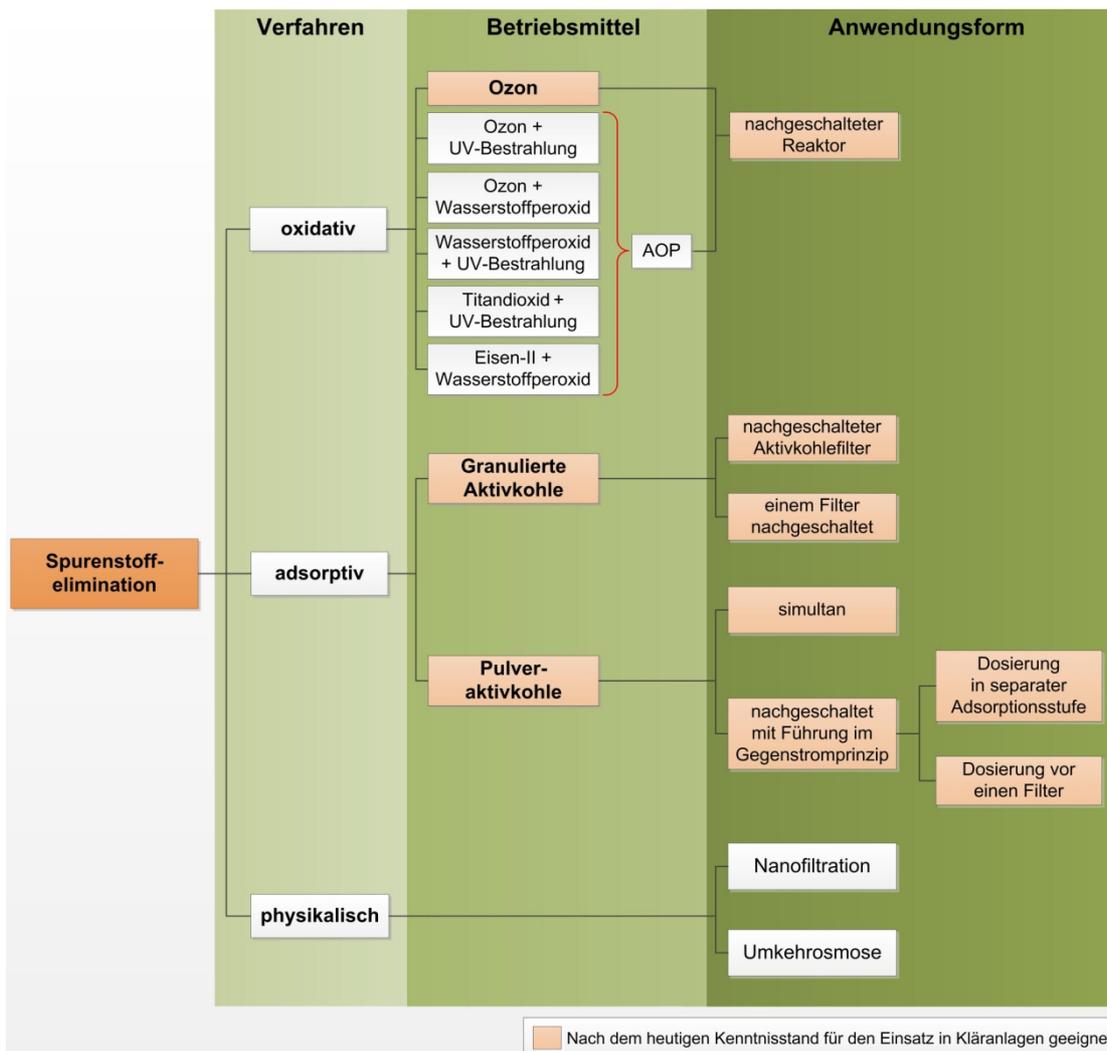
Persistenz bezeichnet die Beständigkeit von Stoffen gegenüber biologischen und chemischen Abbau- und Transformationsprozessen. Als persistent werden Substanzen eingestuft, die nicht oder nur sehr langsam abgebaut werden (Worch 1997).

Aufgrund ihres ursprünglichen Einsatzes sind Spurenstoffe relativ persistent in der aquatischen Umwelt. So soll z. B. Röntgenkontrastmittel im menschlichen Körper keine Reaktion eingehen. Diese Persistenz beeinflusst jedoch auch die Elimination der Stoffe in der Umwelt bzw. in technischen Reinigungsprozessen.

## **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.



**Bild 5: Verfahren zur Spurenstoffelimination (Quelle: Kompetenzzentrum Spurenstoffe BW)**

Die farblich hinterlegten Betriebsmittel Ozon, Granulierte Aktivkohle und Pulveraktivkohle werden in den vier Verfahren angewandt, deren Einsatzmöglichkeiten auf der Kläranlage Ochtrup in Kapitel 8 untersucht werden.

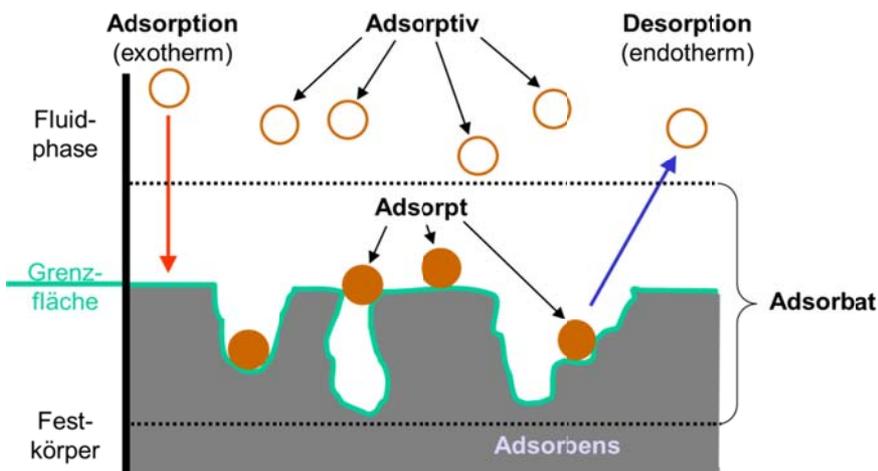
Die Grundlagen und Möglichkeiten der adsorptiven und oxidativen Verfahren werden im Folgenden kurz erläutert.

## 7.2 Adsorption

### 7.2.1 Grundlagen

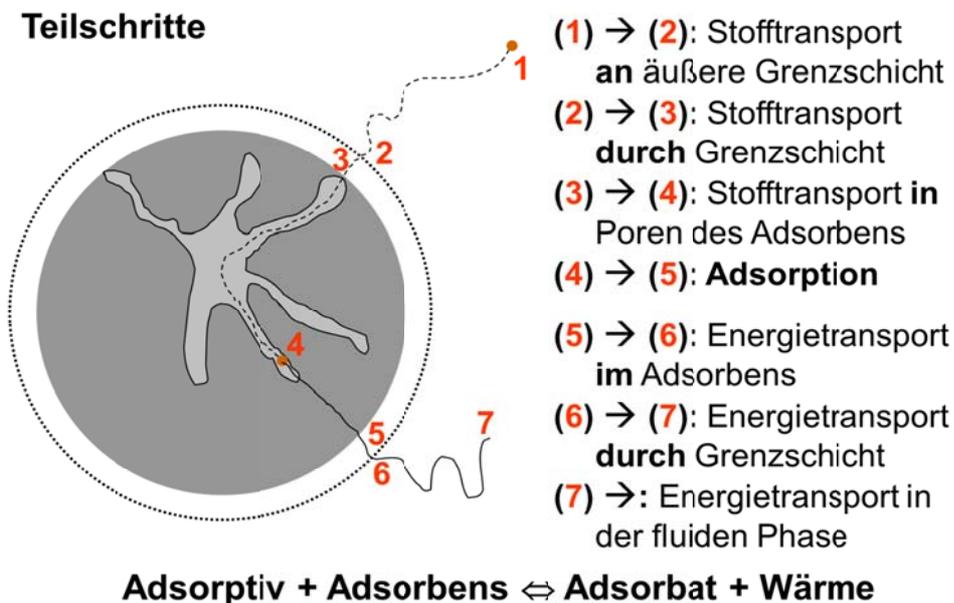
Unter Adsorption wird die Anreicherung von Stoffen an der Oberfläche von Flüssigkeiten und besonders Festkörpern verstanden. Sie erfolgt durch die Wechselwirkung der aktiven, energiereichen Zentren einer Grenzfläche mit den Atomen, Molekülen oder Ionen einer benachbarten Phase (Kümmel und Worch 1990).

Die adsorptionsaktive Phase, an der die Anreicherung erfolgt, wird als Adsorbens bezeichnet. An diesem lagern sich das Adsorptiv, also die Teilchen des zuadsorbierenden Stoffes an. Desorption bezeichnet die Remobilisierung bereits fixierter Teilchen. In nachfolgender Abbildung sind schematisch die Zusammenhänge dargestellt.



**Bild 6: Grundbegriffe der Adsorption**

Die Adsorption erfolgt in mehreren Teilschritten auch an der inneren Oberfläche des Adsorbens. Dies ist in nachstehender Abbildung dargestellt.



**Bild 7: Teilschritte der Adsorption (Bathen und Breitbach, 2001)**

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.

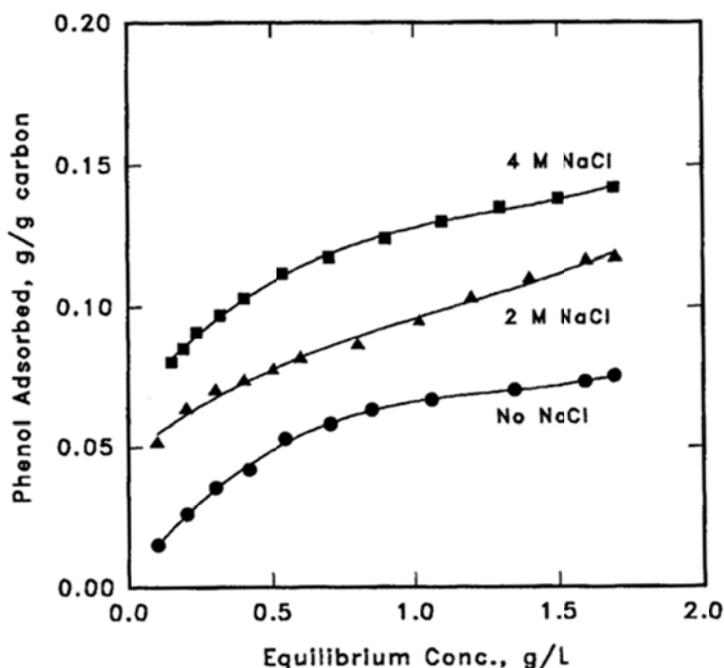
Folgende Eigenschaften des Adsorptivs können nach Cooney (1998) die Physisorption beeinflussen:

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

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

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

Die Anwesenheit von anorganischen Salzen im Fluid führt zur einer höheren Beladung des Adsorbens (Aktivkohle). In der nachfolgenden Grafik 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 8: 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:

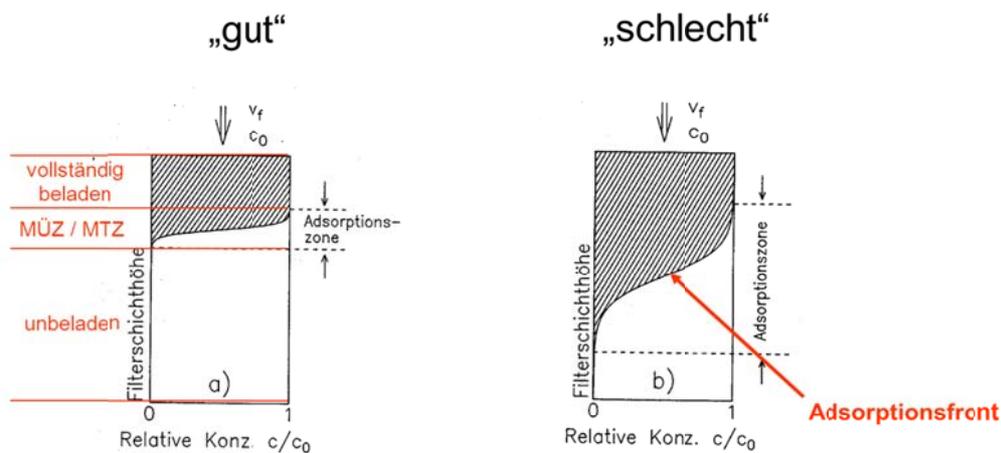
1. Pulverkohlen (PAC = powdered activated carbon) weisen einen Durchmesser von weniger als 0,05 mm auf;
2. Kornkohlen (GAC = granulated activated carbon) liegen im Durchmesser zwischen 0,5 und 4 mm.

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. In nachfolgendem Bild ist dies für zwei unterschiedliche gut adsorbierbare Stoffe dargestellt.



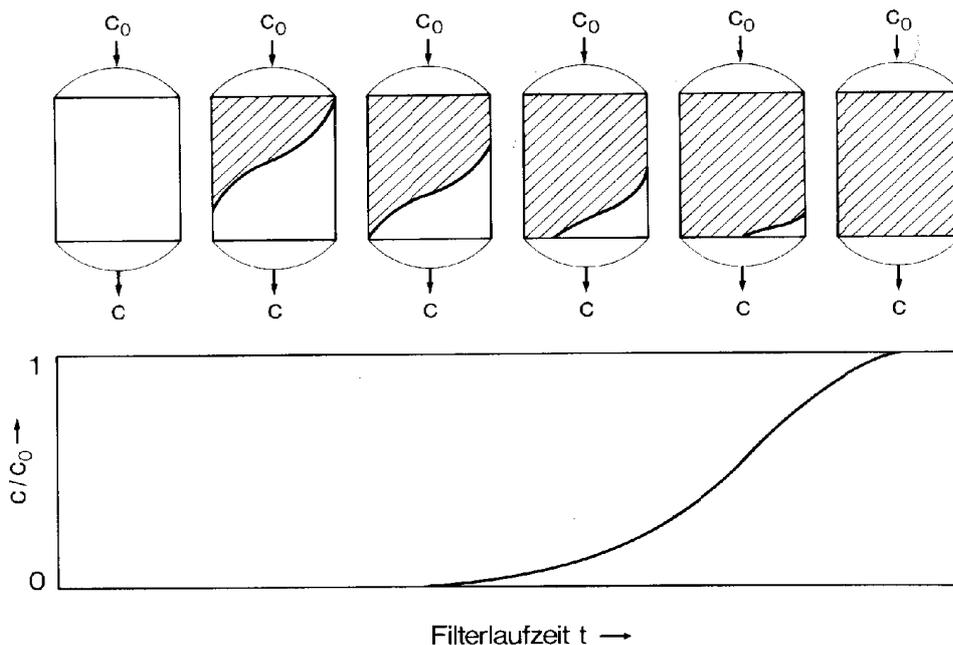
MÜZ = Massenübergangszone

MTZ = Mass Transfer Zone

**Bild 9: Adsorptionsverhalten zweier unterschiedlicher Stoffe im Festbettadsorber (DVGW W 239)**

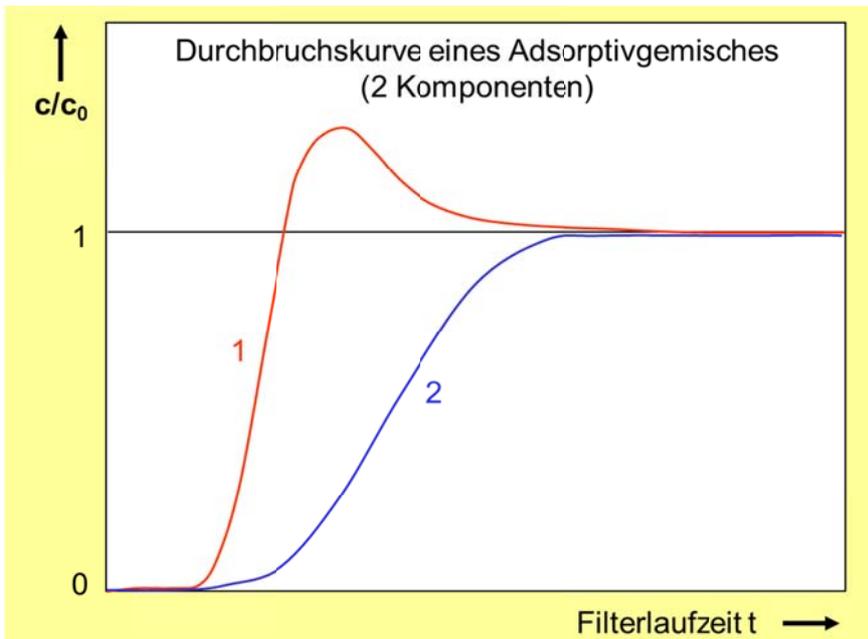
Zu erkennen ist, dass der gut adsorbierbare Stoff eine deutlich kürzere Übergangszone aufweist, in der das Adsorptiv bis auf die Konzentration von nahezu null zurückgehalten wird. Beim schlechter adsorbierbaren Stoff ist die Zone größer, der Stoff bricht also früher durch.

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



**Bild 10: Verlagerung der Adsorptionszone über die Filterlaufzeit (Sontheimer u. a., 1985)**

Bei der Adsorption von Mehrstoffgemischen konkurrieren, wie schon 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. Dies kann dazu führen, dass die Konzentration im Ablauf des Filters für den schlecht adsorbierbaren Stoff größer ist als die Zulaufkonzentration. Im **Bild 11** ist der Zusammenhang dargestellt. Dieses Verhalten wird „Chromatografie-Effekt“ genannt.



**Bild 11: Durchbruchskurve eines Adsorptivgemisches (Worch 2004, modifiziert)**

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.

## 7.2.2 Einsatz Aktivkohle in der Abwassertechnik zur Spurenstoffelimination

### 7.2.2.1 Pulveraktivkohle

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

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. Inner-

halb eines Forschungsprojektes wurde der Betrieb dieser Kammer mit Pulveraktivkohledosierung über 1,5 a begleitet.

Die wesentlichen Ergebnisse sind im Folgenden zusammengefasst. Weitere Angaben sind dem Abschlussbericht (Bornemann u. a., 2012) zu entnehmen.

- Favorisierte Dosiermenge PAK: 20 mg/l.
- Fällmitteldosierung ist erforderlich, da sonst rascher Durchbruch der Kohle durch den Filter.
- Optimierte Fällmitteldosierung ( $\text{FeCl}_3$ ): 0,1...0,2 mg Fe/mg PAK.  
Bei 20 mg PAK/l sind dies 2...4 mg Fe/l.
- Rückhaltung der PAK im Filterbett zu 96 %.
- Über die Rückspülung wurde die gesamte Kohle wieder aus dem Filter entfernt.
- Der 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 %.

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

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

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

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

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

- optimierte PAK-Dosierung: 10 mg/l,
- Feststoffgehalt im Kontaktbecken: ca. 4 g TS/l,
- Einsatz von Fällmittel (Me-Salzen) und Flockungshilfsmittel ( $0,3 \text{ g/m}^3$ ) hilfreich, um Filterdurchbruch zu verhindern,
- $P_{\text{ges}}$ -Gehalte im Ablauf Filtration von 0,1 mg/l erreichbar, wenn nicht fällbarer P-Anteil gering,
- kein Mehrverbrauch von Fällmittel → Simultanfällung wird reduziert, erhöhte Dosierung in Adsorptionsstufe,
- Reduktion CSB-Konzentration um ca. 30 % gegenüber Ablauf Nachklärung,
- Eliminationsleistung Mikroschadstoffe in Adsorptionsstufe Kläranlage Sindelfingen größer 70 % bei 10 mg PAK/l für Bezafirbat, Diclofenac, Naproxen, Fenibrinsäure, Carbamazepin, Metoprolol, Iohexol, lomeprol, 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 Festbettdenitrifikation. Die Schütthöhe betrug 2,5 m bei einer Filtergeschwindigkeit von 2 m/h. Dies entspricht einer Leerbettkontaktzeit (EBCT) von 75 min. Über eine Laufzeit von ca. 9.000 BV konnten sehr gute Eliminationsgrade für viele Spurenstoffe erzielt werden. Parallel dazu wurden Untersuchungen mit Versuchssäulen durchgeführt, die mit einer Filtergeschwindigkeit von 10 m/h durchflossen wurden. Die EBCT lag damit bei 15 min. Über eine Betriebszeit von etwa 9.000 Bettvolumina konnten für eine Auswahl von Spurenstoffen folgende mittlere Eliminationsgrade erreicht werden:

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

Für CSB wurde eine mittlere Elimination von 45 % erzielt.

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

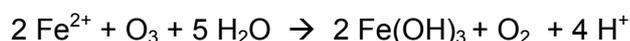
## 7.3 Ozonung

### 7.3.1 Grundlagen

#### 7.3.1.1 Einsatz und Wirkung von Ozon

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

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



Das  $\text{Fe}^{2+}$ -Ion gibt ein weiteres Elektron ab und ist dann dreifach positiv geladen. Das Ozon transferiert ein Sauerstoffatom zum sich bildenden dreiwertigen Eisenhydroxid.

Im Vergleich zu molekularem Sauerstoff ist Ozon als Oxidationsmittel mit einem Redoxpotenzial von 1,24 Volt gegenüber 0,401 Volt (bezogen auf pH 14) deutlich stärker.

Ozon oxidiert Nitrit sehr rasch bis zum Nitrat, dabei werden je g Nitritstickstoff stöchiometrisch 3,43 g Ozon benötigt. Es geht keine Reaktion mit Ammonium ein.

Die Reaktionswege des Ozons sind sehr unterschiedlich. Damit ist die Wirkung des Ozons komplex.

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

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

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

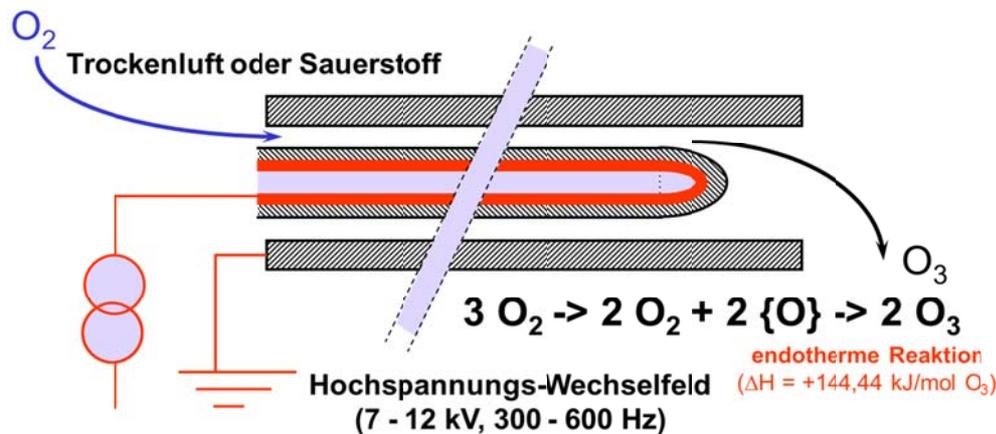
Insgesamt oxidiert Ozon die meisten organischen Wasserinhaltsstoffe nicht bis zum  $\text{CO}_2$ , sondern bewirkt eine Teiloxidation. Die Molekülgröße der Stoffe wird verringert. Ozon wirkt weiterhin bevorzugt auf Doppelbindungen in den Molekülen. Dies bedeutet, dass durch die Ozonbehandlung Zwischenprodukte gebildet werden, die beispielsweise wieder biologisch verfügbar sind. Der Ozonbehandlung in der Trinkwasseraufbereitung wird zumeist standardmäßig eine biologisch arbeitende Stufe nachgeschaltet (z. B. biologisch aktivierter Aktivkohlefilter), um die neugebildeten Stoffe abzubauen 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 12: 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<sub>3</sub>, 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 nun den Energiebedarf von O<sub>3</sub>-Erzeugung, Kühlung und Restozonvernichtung, so ergibt sich ein Bedarf an elektrischer Energie von 10...11 kWh/kg O<sub>3</sub>.

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. Einbauen in den Behältern, mit Ausnahme einer Tauchwand im Abflussbereich, ergeben keine Verbesserungen.

rungen (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 Regendorf (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 nachfolgender Grafik sind die erzielten Eliminationsgrade dargestellt.

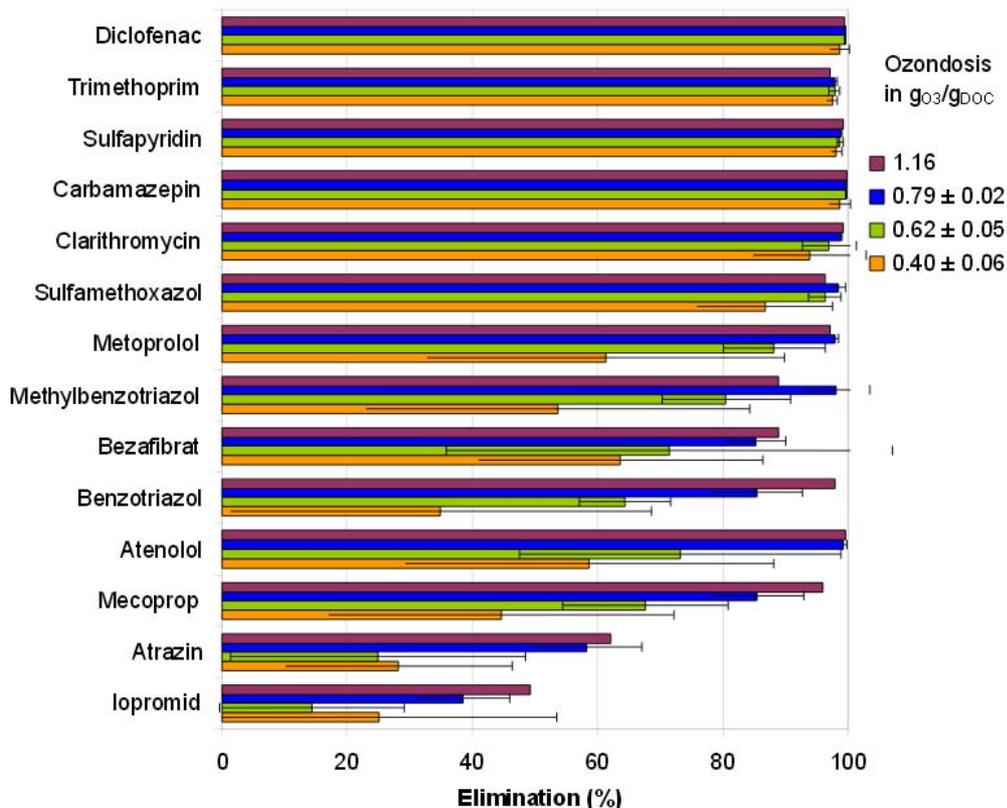


Bild 13: Ergebnisse Elimination Spurenstoffe ARA Regendorf (Abegglen u. a. 2009)

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

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 ein 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 Verfahrensfestlegung und Randbedingungen

In der Besprechung am 19. März 2013 wurden die zu untersuchenden Verfahren mit dem Auftraggeber zusammen abgestimmt:

1. **Pulverkohle mit Rücklaufkohleführung.** Abtrennung der PAK in einen Absetzbecken und in der nachgeschalteten (vorhandenen Filtrationsstufe).
2. **Direkte Dosierung von Pulveraktivkohle.** Abtrennung der Kohle über die vorhandene Filtrationsstufe.
3. **Filtration über granulierte Aktivkohle.** Festbettadsorber werden die Filtrationsstufe nachgeschaltet.
4. **Ozonung.** Zulauf der Filtration wird mit Ozon behandelt. Nutzung Filtration als biologisch aktive Stufe.

Die Kläranlage Ochtrup verfügt über eine Ozonanlage (2 x 6.000 kg/h), eine Pulverkohledosierung sowie eine Dosiereinrichtung für Pulveraktivkohle mit Silo und zwei Rührbehältern, die zur Behandlung von Textilabwässern vorgesehen waren. Nach Produktionsende des Textilbetriebes werden sie nicht mehr betrieben. Die Anlagen weisen ein Alter von über 20 Jahren auf und entsprechen nicht mehr dem Stand der Technik. In der Studie wird damit die Maschinen- und EMSR-Technik als ab-

gängig eingestuft. Für die Bautechnik wird in Abhängigkeit vom Verfahren eine Nutzung der vorhandenen Bauwerke angestrebt.

Im Bereich der Belebung sind noch freie Beckenkapazitäten vorhanden. Eine Nutzung für die 4. Reinigungsstufe wurde angedacht. Aufgrund der Lage der Becken ist eine direkte Nutzung für die 4. Reinigungsstufe nicht möglich. So müsste das Abwasser durch neu verlegte Rohrleitungen dorthin gefördert werden und nach der Behandlung wieder zurückgeführt werden. Dies führt neben dem notwendigen Umbau der Becken zu zusätzlichen Investitionskosten. Aus betriebstechnischer Sicht würde die 4. Reinigungsstufe auf verschiedene Betriebspunkte verteilt, die räumlich auf dem Kläranlagengelände verteilt liegen.

Die 4. Reinigungsstufe wird daher im Bereich der Filtration auf dem Baufeld der schon bestehenden Ozon- und PAK-Anlagen angeordnet.

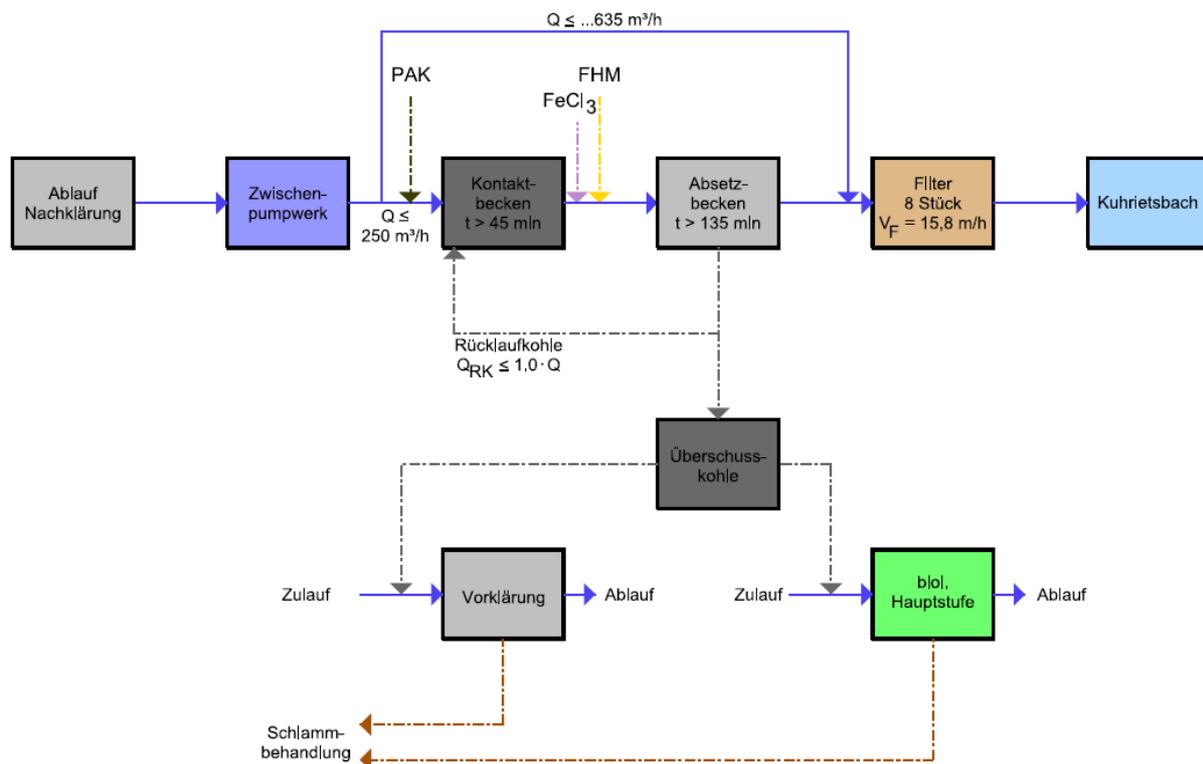
## **8.2 Varianten**

### **8.2.1 Variante 1: Pulverkohle mit Rücklaufkohle**

#### **8.2.1.1 Allgemein**

Dieses Verfahren wurde, wie schon im Kapitel **7.1.2.1** 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. Im 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 ausnützen zu können.

Für die Kläranlage Ochtrup würde dies bedeuten, dass ein Absetzbecken im Bereich der bestehenden Ozonanlage und Sauerstofftankanlage erstellt wird. Der vorhandene Quelltopf und die beiden Rührbehälter können als Kontaktbehälter genutzt werden. Die Dosierung der Frischkohle kann über den bestehenden PAK-Dosierschacht erfolgen. Neu erstellt wird das PAK-Silo mit Fundament. Das bestehende Silo befindet sich im Baufeld des Absetzbeckens. Zudem ist die im Silo vorhandene Dosiertechnik abgängig.



**Bild 14: Blockschema Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle**

Erfahrungen aus Baden-Württemberg zeigen, dass die Suspensabelastung des Filters zurückgeht, da durch den Einsatz von Flockungs- und Flockungshilfsmittel ein Teil der Partikel schon im Absetzbecken abgetrennt wird und nicht auf die Filtration gelangt. Dies bedeutet eine Erhöhung der Betriebssicherheit der Anlage im Hinblick auf den Suspensarückhalt.

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.

### 8.2.1.2 Ausführung

Für diese Variante wird das Baufeld vor der Filtration vollgenutzt. Die bestehenden Bauwerke und Anlagen werden bis auf den PAK-Dosierschacht und den Rührbehältern mit dem Quelltopf sowie den verbindenden Rohrleitungen zurückgebaut.

Die beiden Rührbehälter werden als Kontaktbehälter genutzt. Mit ihrem Volumen von insgesamt ca. 240 m<sup>3</sup> ergibt sich eine Aufenthaltszeit von rund 45 min. Die Rührwerke auf den Becken werden erneuert.

Neu erstellt wird das Absetzbecken mit einem Volumen von 632 m<sup>3</sup>/h. Es wird als Rundbecken mit einem Innendurchmesser von 15 m ausgeführt. Das Becken wird mit einem Rundräumer ausgerüstet. Der Wasserspiegel dieses Beckens liegt zwischen dem der Kontaktbecken und dem der Zulaufverteiler in der Filtration. Das Becken liegt damit nahezu komplett oberhalb der Geländeoberkante.

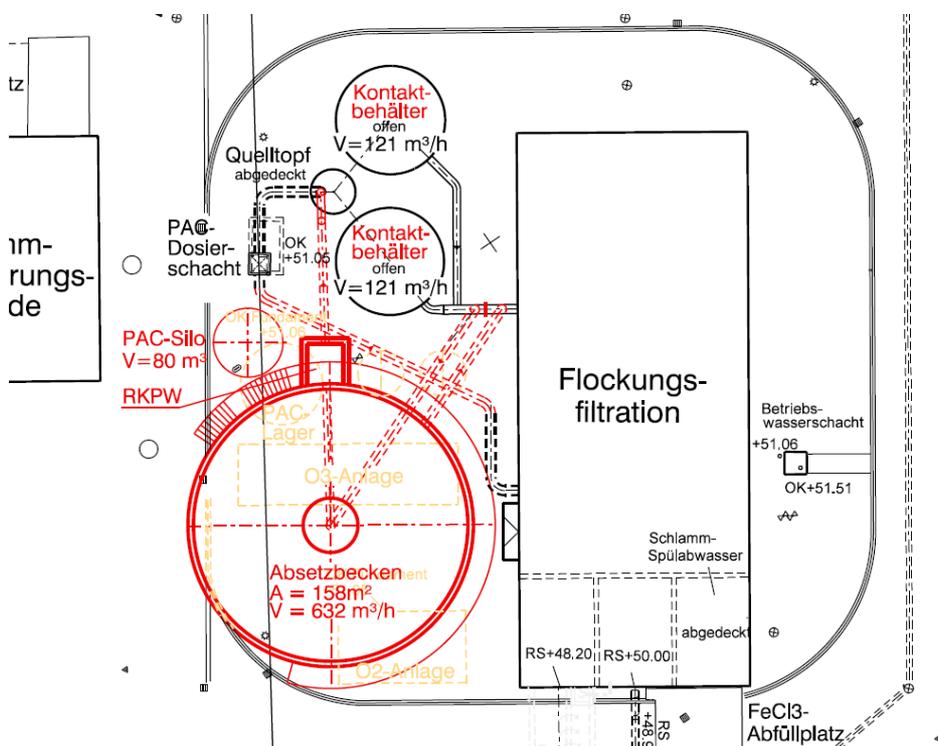
Der Zugang zum Räumern wird über eine Treppe und einem Bediengang realisiert. Der Zugang zur Filtration über die bestehende Tür ist weiterhin gegeben.

An der Beckenperipherie wird ein Schacht für die Rücklaufkohlepumpe angeordnet. Diese fördert die Rücklaufkohle wieder in den Quelltopf vor den Kontaktbehältern zurück. Die Überschuskkohle wird über eine weitere Pumpe aus dem Schacht entnommen und über eine vorhandene Leitung in die Belegung geleitet.

Eine Pumpe des bestehenden Zwischenhebewerks in der Filtration wird rohrleitungstechnisch direkt der 4. Reinigungsstufe zugeordnet. Die weiteren Pumpen dienen der Beschickung der Filtration bei Zuflüssen oberhalb von 300 m<sup>3</sup>/h. Die gesamte Stufe mit der Filtration wird dann im freien Gefälle durchflossen.

Ein neues Silo mit einem Inhalt von 80 m<sup>3</sup> wird neben dem Absetzbecken erstellt. Der vorhandene PAK-Schacht wird zur Dosierung der Frischkohle weitergenutzt. Das Treibwasser (5 bis 7 m<sup>3</sup>/h) für die PAK-Dosierung wird über eine gesonderte Pumpe aus dem Filtratwasserspeicher entnommen. Alternativ ist eine Entnahme aus dem Betriebswassernetz möglich.

Die Bereitungsanlage für das Flockungshilfsmittel wird im Erdgeschoss des Filtrationsgebäudes untergebracht. Die Filtration verfügt über eine Dosieranlage für Fäll- bzw. Flockungsmittel mit Lagertank und Abfüllplatz. Diese Anlage wird ertüchtigt und für die 4. Reinigungsstufe genutzt.



**Bild 15:** Lageplanausschnitt Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle

## 8.2.2 Variante 2: PAK-Dosierung

### 8.2.2.1 Allgemein

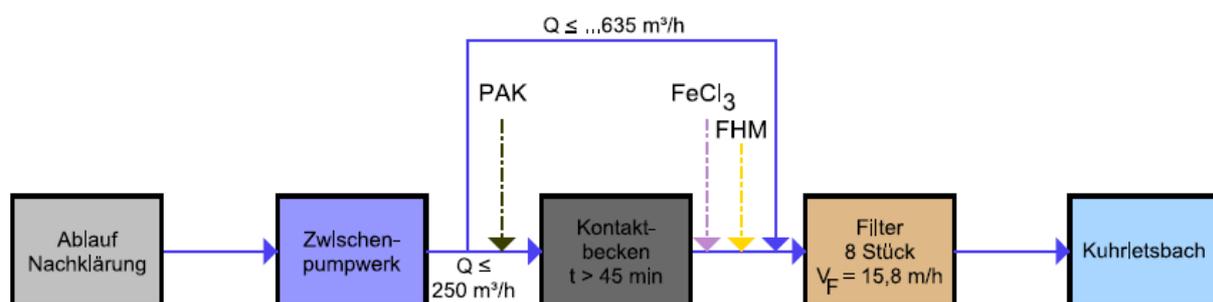
Diese Variante entspricht dem im **Kapitel 7.1.2.1** beschriebenen Verfahren, wie es in Wuppertal-Buchenhofen umgesetzt wurde. Während in Wuppertal nur der Filterüberstau als Kontaktraum zwischen Aktivkohle und Abwasser genutzt wird, stehen in Ochtrup zusätzlich die beiden vorhandenen Rührbehälter dafür zur Verfügung.

Die komplette Abtrennung der Aktivkohle erfolgt über die Filtration. Damit wird auch die zurückgehaltene Pulverkohle über den Schlammwasserspeicher aus der Filtration in den Zulauf der Kläranlage zurückgeführt.

Gegenüber der Variante 1 ist eine höhere Dosierkonzentration erforderlich (20 mg PAK/l statt 10 mg/l), da keine Rückführung der Kohle in den Zulauf erfolgt.

Der Einsatz von Me-Salzen (Fäll- und Flockungsmittel) ist in jedem Fall notwendig, um einen Durchbruch der Kohle durch die Filter zu verhindern. In Wuppertal war die Dosierung von Flockungshilfsmitteln nicht notwendig. Die Filtration wird damit höher belastet. Dies kann zu einer Verkürzung der Rückspülintervalle führen. In den Versuchen in Wuppertal war eine tägliche Rückspülung weiterhin ausreichend. Hinsichtlich der Betriebssicherheit ist die höhere Feststoffbelastung der Filtration gegenüber den anderen Varianten als Nachteil anzusehen.

Setzt man die Auslegungskonzentration für Nachklärbecken nach A 131 von 20 mg/l abfiltrierbare Stoffe (TS) im Ablauf an, so wird ab einer Tageswassermenge von 6.000 m<sup>3</sup>/d (250 m<sup>3</sup>/d) eine TS-Raubeladung in der Mehrschichtfiltern von 2,7 kg TS/(m<sup>3</sup>·d) erreicht. Dieser Wert liegt im Bereich der Empfehlung von Meyer (1979) mit 2,0...3,0 kg TS/(m<sup>3</sup>·d). Die genauer Berechnung ist in **Anlage 1** enthalten.



**Bild 16: Blockschema Variante 2: PAK-Dosierung**

### 8.2.2.2 Ausführung

Die bautechnischen Veränderungen sind insbesondere beim Vergleich mit Variante 1 in diesem Fall gering.

Die bestehenden Bauwerke und Anlagen auf dem Baufeld werden – wie bei Variante 1 – bis auf den PAK-Dosierschacht und die Rührbehälter mit dem Quelltopf sowie der verbindenden Rohrleitung zurückgebaut.

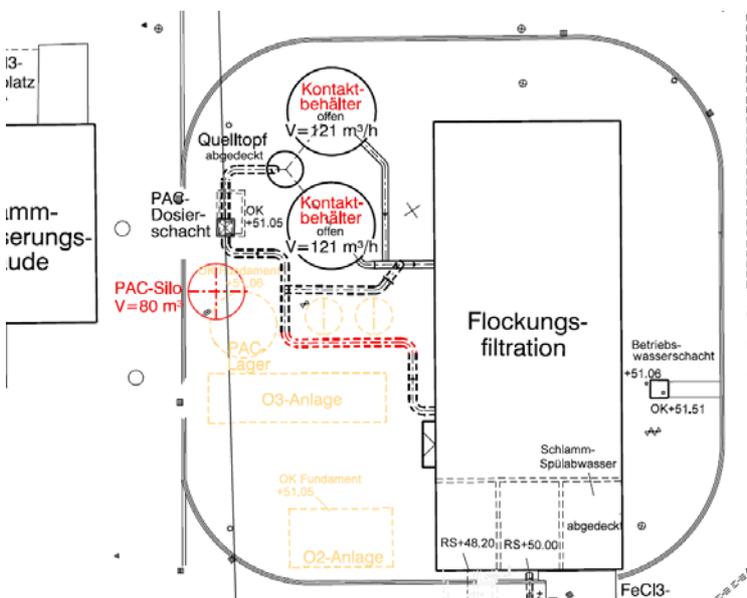
Die beiden Rührbehälter werden wiederum als Kontaktbehälter genutzt. Mit ihrem Volumen von insgesamt ca. 240 m<sup>3</sup> ergibt sich eine Aufenthaltszeit von rund 45 min. Die Rührwerke auf den Becken werden erneuert.

Das bestehende Silo wird gegen ein neues Silo mit einem Inhalt von 80 m<sup>3</sup> und neuer Dosiertechnik ausgetauscht. Der vorhandene PAK-Schacht wird zur Dosierung der Pulveraktivkohle weitergenutzt. Das Treibwasser (5 bis 7 m<sup>3</sup>/h) für die PAK-Dosierung wird über eine gesonderte Pumpe aus dem Filtratwasserspeicher entnommen. Alternativ ist eine Entnahme aus dem Betriebswassernetz möglich.

Die Anbindung der Stufe an das Zwischenhebewerk in der Filtration entspricht Variante 1.

Die Nutzung der vorhandenen Dosieranlage in der Filtration entspricht Variante 1. Die Bereitungsanlage für Flockungshilfsmittel wird im Erdgeschoss der Filtration untergebracht. Zu beachten ist, dass die komplette Zulaufverrohrung der Filtration inklusive der Quelltöpfe in Edelstahl ausgeführt ist. Durch den vermehrten Einsatz von Fe(III)-Lösungen als Fäll- und Flockungsmittel im Zulauf der Filtration müssen gegebenenfalls Maßnahmen ergriffen werden, um die Rohrleitungen vor Korrosion zu schützen.

Die Bereitungsanlage für das Flockungshilfsmittel wird im Erdgeschoss des Filtrationsgebäudes untergebracht. Die Filtration verfügt über eine Dosieranlage für Fäll- bzw. Flockungsmittel mit Lagertank und Abfüllplatz. Diese Anlage wird ertüchtigt.



**Bild 17: Lageplanausschnitt Variante 2: PAK-Dosierung**

## 8.2.3 Variante 3: Nachgeschaltete Filtration über granulierte Aktivkohle

### 8.2.3.1 Allgemeines

Die Aktivkohlefilter werden der bestehen Filtration nachgeschaltet. Der Suspensarückhalt erfolgt damit in der Mehrschichtfiltration, und ein Teilstrom des partikelarmen Abwassers wird über die GAK-Filter geführt. Wie im **Kapitel 7.1.2.2** dargestellt, ist mit höheren Standzeiten der Kornkohle zu rechnen, wenn die Konkurrenz um die Adsorptionsplätze zwischen den Spurenstoffen und dem Rest-CSB minimiert wird. Im Mehrschichtfilter wird ein Teil des partikulär gebundenen CSB zurückgehalten. Die GAK-Filter dienen als „Polzeifilter“ für die Spurenstoffe. Nichtsdestotrotz bietet diese zweistufige Filtration besondere Sicherheit im Hinblick auf den Abschlag von Suspensa in den Vorfluter, wenn z. B. Schlamm aus der Nachklärung abtreibt.

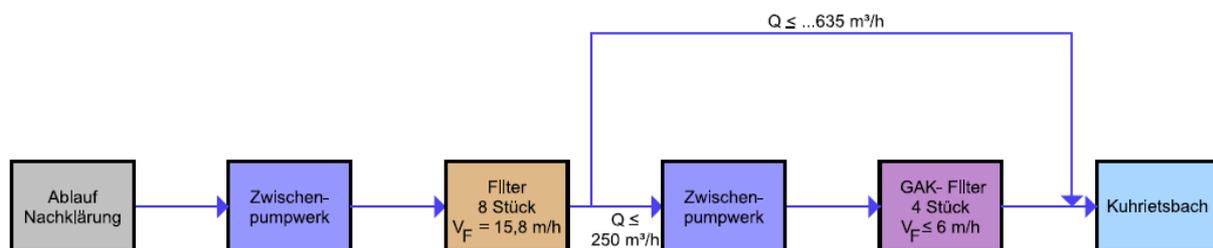
Die Filterstufe wird anhand folgender Bemessungsparameter ausgelegt:

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

Folgende Werte wurden gewählt:

Anzahl Filter:	4 Stück
Betthöhe GAK:	2,5 m
Leerbettkontaktzeit (EBCT):	25 min
Filterfläche gesamt:	51,2 m

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 ein Bauwerk realisiert werden kann. Jede Filterkammer weist eine Breite von 3,0 m und eine Länge von 4,2 m auf.



**Bild 18:** Blockschema Variante 3: Nachgeschaltete GAK-Filtration

Da die GAK-Filter in erster Linie als Adsorber arbeiten und mit partikelarmem Abwasser beaufschlagt werden, kann von einer täglichen Rückspülung abgesehen werden. Die Rückspülungen sollten bei Bedarf erfolgen. Die Rückspülgeschwindigkeiten sind geringer als bei Mehrschichtfiltern.

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

Spülluftgeschwindigkeit:	25...35 m/h
Spülwassergeschwindigkeit:	60...80 m/h

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

### **8.2.3.2 Ausführung**

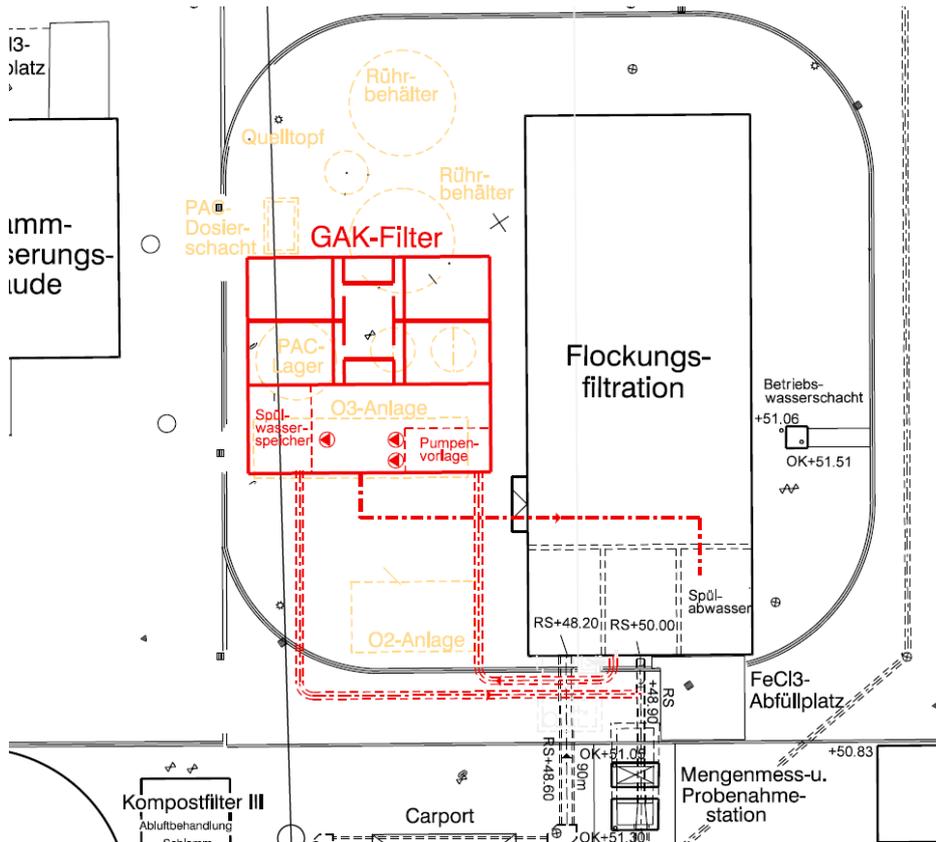
Auf dem Baufeld vor der Filtration wird das Filterbauwerk, bestehend aus dem Filterblock mit den vier Rechteckfiltern und dem vorgelagerten Spülwasserspeicher sowie der Vorlage für die Beschickungspumpen, angeordnet.

Die Pumpenvorlage wird über eine Rohrleitung (PE 100 SDR 17 355-21,1) mit dem Spülwasserspeicher der vorhandenen Filtration verbunden. Über zwei Pumpen wird das Abwasser auf die vier Filter gehoben. Der Zulauf zu den vier Filtern erfolgt aus einem Quelltopf über vier Gerinne. Jedes Gerinne ist mit einem Schieber ausgerüstet. Die Gleichverteilung des Zulaufs auf alle in Betrieb befindlichen Filterkammern wird über die Schwellen an der Stirnseite realisiert.

Das Filtrat der Adsorptionsstufe wird in einer Spülwasservorlage gespeichert. Der Überlauf des Spülwasserspeichers ist über eine weitere Rohrleitung (PE 100 SDR 17 355 x 21,1) an die bestehende Ablaufleitung der bestehenden Filtration – vor der Mengennmess- und Probenahmestation – angebunden.

Das Spülabwasser der Filtration wird über eine Leitung (PE 100 SDR 17 450 x 26,7) direkt in den vorhandenen Schlammwasserspeicher der bestehenden Filtrationsstufe geleitet.

Während die Pumpen im Untergeschoss des Filterbauwerks untergebracht sind, wird das Spülluftgebläse im Erdgeschoss aufgestellt. Weiterhin ist dort die Schaltanlage untergebracht. Dieser Bereich (EG) wird mit einer Stahlhalle eingehaust.



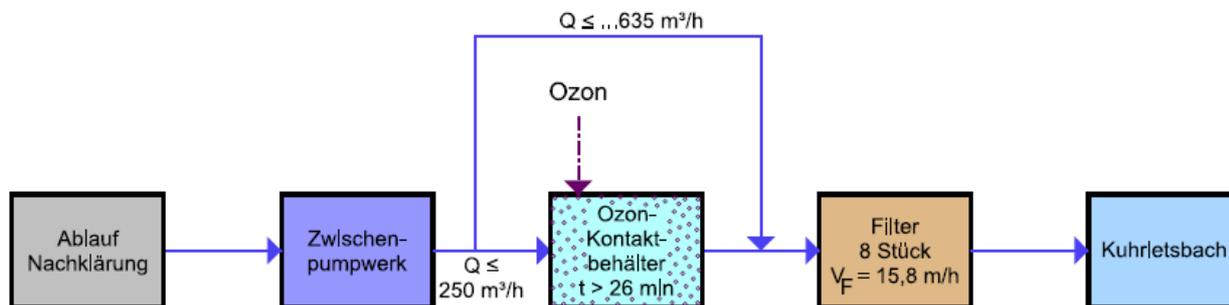
**Bild 19: Lageplanausschnitt Variante 3: Nachgeschaltete GAK-Filtration**

## 8.2.4 Variante 4: Ozonung

### 8.2.4.1 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 Abegglen u. a. (2009) in einem großtechnischen Versuch auf der ARA Regensdorf nachweisen konnte. Im Filter erfolgt der Abbau eventuell toxikologisch bedenklicher Stoffe auf biologischem Wege. Dieses Vorgehen ist bei der Trinkwasseraufbereitung seit Jahren Standard (Beispiel: Düsseldorfer Verfahren). Die Ozon wird daher vor der bestehenden Filtration angeordnet.



**Bild 20: Blockschema Variante 4: Ozonung**

Die Ozonung wird anhand folgender Bemessungsparameter ausgelegt:

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

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

Folgende Werte wurden gewählt:

Anzahl Kontaktbehälter:  $2 \text{ Stück}$

Wassertiefe Kontaktbehälter:  $6 \text{ m}$

Die Berechnung der mittleren Ozondosis wurde anhand der CSB-Konzentrationen im Ablauf der Nachklärung bestimmt. Im Mittel kann hier ein CSB-Wert von  $33 \text{ mg/l}$  angesetzt werden. Als Verhältnis CSB/DOC wird ein Wert von  $3:1$  angesetzt. Der Einfluss des partikulär gebundenen CSB wird hierbei nicht betrachtet. Damit ergibt sich eine berechnete DOC-Konzentration im Ablauf der Nachklärung von  $11 \text{ mg/l}$ . Die großtechnischen Versuche in Regendorf (Abegglen u. a. 2009) kamen zu dem Ergebnis, dass eine Dosis von  $0,62 \text{ mg O}_3/\text{mg DOC}$  hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Wirkung ein Optimum darstellt. Dieser Wert wurde hier übernommen. Damit ergibt sich die mittlere Ozondosis zu:

$$c_{\text{O}_3, \text{a}} = 11 \text{ mg DOC/l} \cdot 0,62 \text{ mg O}_3/\text{mg DOC} = 6,82 \text{ mg O}_3/\text{l} \approx 7,00 \text{ mg O}_3/\text{l}$$

### 8.2.4.2 Ausführung

Der vorhandene Aufstellplatz für die Flüssigsauerstoffanlage wird weitergenutzt. Der Stellplatz für die vorhandene Ozonanlage wird als Stellplatz für die neue kleinere Anlage genutzt. Die Anlage wird wiederum in einem Container untergebracht.

Der Ozonerzeuger weist eine Leistung von  $3.000 \text{ g/h}$  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) aus dem Filtratwasserspeicher bereitgestellt.

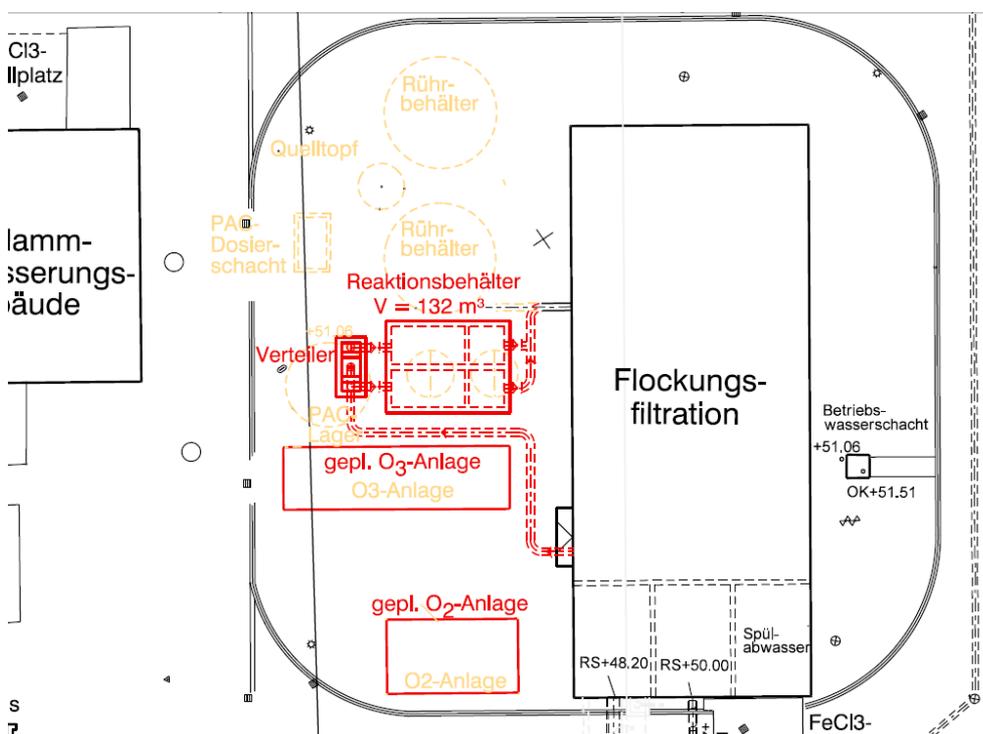
Der Ozoneintrag kann über eine Teilstrombegasung mit Injektoren erfolgen oder über Diffusoren direkt in das Abwasser. Im konkreten Fall wird der Eintrag über Diffusoren gewählt, da er verfahrens-

technisch einfacher zu realisieren ist (kein weiterer Kreislauf mit Pumpe). Eine abschließende Bewertung über das bessere Verfahren für den hier geschilderten Anwendungsfall steht derzeit noch aus.

Die beiden Kontaktbehälterstraßen werden als Betonbauwerk hinter der Ozonanlage angeordnet. 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.

Die Restozonvernichtung erfolgt thermisch/katalytisch.

Die hydraulische Anbindung der Ozonstufe erfolgt über die rohrtechnische Umrüstung einer Pumpe im Zwischenhebewerk der Filtration, wie auch bei den Varianten 1 und 2.



**Bild 21: Lageplanausschnitt Variante 4: Ozonung**

## 9 Kosten

### 9.1 Allgemein

Die Wirtschaftlichkeit der vier betrachteten Varianten wird anhand der Investitions- und Betriebskostenschätzung ermittelt. Anhand der Jahreskosten können dann die Varianten verglichen werden. In einer Sensitivitätsanalyse wird der ein Einfluss einzelner Kostengruppen aber betriebliche Einstellungen auf die Jahreskosten betrachtet.

## 9.2 Investitionskosten

Anhand der in **Anlage 1** anhängen Bemessungen und Auslegung sowie der zeichnerischen Darstellung der Varianten wurden für die betrachteten Lösungen die Investitionskosten, unterteilt in die Kostengruppen Bau-, Maschinen- und EMSR-Technik, ermittelt.

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

Als Baunebenkosten wurden 20 % der Netto-Investitionssumme angesetzt.

Da alle Varianten von einer verbesserten Wirkung der bestehenden Mehrschichtfiltration profitieren, wurde die Optimierung der Filtration (Austausch Filtermaterial) in allen Varianten bei den Investitionskosten berücksichtigt.

In nachfolgender Tabelle sind die Kosten zusammengestellt:

**Tabelle 1: Investitionskosten für die Varianten 1 bis 4**

Pos.-Nr	Text		Variante 1 PAK m. Rücklaufk.	Variante 2 PAK-Dosierung	Variante 3 GAK-Filtration	Variante 4 Ozonung
1	Bautechnik	EUR	303.050,00	45.188,00	414.948,56	255.448,56
2	Maschinentchnik	EUR	552.530,46	404.160,00	416.861,60	611.970,00
3	EMSR-Technik	EUR	194.000,00	162.000,00	251.000,00	215.000,00
<b>Summe Herstellungskosten, netto</b>		<b>EUR</b>	<b>1.049.580,46</b>	<b>611.348,00</b>	<b>1.082.810,16</b>	<b>1.082.418,56</b>
Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)		EUR	209.916,09	122.269,60	216.562,03	216.483,71
<b>Summe Baukosten, netto</b>		<b>EUR</b>	<b>1.259.496,55</b>	<b>733.617,60</b>	<b>1.299.372,19</b>	<b>1.298.902,27</b>
Mehrwertsteuer		EUR	199.420,29	116.156,12	205.733,93	205.659,53
<b>Summe Baukosten, brutto</b>		<b>EUR</b>	<b>1.458.916,84</b>	<b>849.773,72</b>	<b>1.505.106,13</b>	<b>1.504.561,80</b>
<b>Anteil</b>			<b>172%</b>	<b>100%</b>	<b>177%</b>	<b>177%</b>

Die Investitionskosten sind für Variante 2 (PAK-Dosierung) am günstigsten. Die drei anderen Varianten liegen alle auf einem vergleichbaren Niveau. Die Pulveraktivkohlevarianten (1 und 2) haben bautechnisch einen Kostenvorteil, da die beiden bestehenden Rührbehälter weitergenutzt werden können. Insbesondere für Variante 1 entfällt damit der Neubau eines Kontaktbeckens.

## 9.3 Betriebskosten

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

Elektrische Energie	0,15 EUR/kWh, netto
Sauerstoff inkl. Tankmiete	0,22 EUR/kg, netto
Verbrennung Schlamm	51,5 EUR/Mg, netto

Weitere Werte wurden wie folgt angenommen:

Personal	40.000 EUR/(MA·a)
Pulveraktivkohle	1.400 EUR/Mg, netto
Granulierte Aktivkohle	1.250 EUR/Mg, netto

Die Kosten für die Aktivkohlen entstammen aus aktuellen Ausschreibungsergebnissen (PAK) oder aus großtechnischen Betriebsversuchen (GAK). 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 1.400 EUR/Mg, netto angesetzt. Für die GAK wurde mit einer Schüttdichte von 400 kg/m<sup>3</sup> gerechnet. Kohlen mit diesen Schüttdichten wurde auch bei den Versuchen in Düren (Bornemann u.a. 2012) eingesetzt. Bei den Versuchen im KW „Obere Lutter“ wurde eine Kohle auf Braunkohlenbasis mit einer Schüttdichte von 300 kg/m<sup>3</sup> (Nahrstedt u.a. 2011) eingesetzt. Die Unterschiede in der Dichte haben erheblichen Einfluss auf die Verbrauchskosten. Bezogen auf das Volumen in anderen Projekten lagen die Kosten zwischen 450 und 500 EUR/m<sup>3</sup> Frischkohle, netto. Schröder und Grömping (2013) geben Werte zwischen 425 und 550 EUR/m<sup>3</sup>, netto für Frischkohle an. Mit einem einem Preis von 500 EUR/m<sup>3</sup> Kohle wird eine Kontrollrechnung durchgeführt.

Für alle verbrauchsgebundene Kosten wurden die mittleren Verbrauchsmengen aus der Bemessung und Auslegung der Varianten im **Anlage 1** herangezogen.

Für die Varianten 1 und 2 ist die Dosierung von Flockungs- bzw. Fällmitteln (Me-Salzen) notwendig. In Summe ist jedoch keine zusätzliche Menge notwendig, da die Dosierung der Fällmittel von der Belebung (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 Sindelfingen 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 in der Betriebskostenermittlung ein Ansatz von 2,5 kg TS je kg Fe gewählt.

Bei Varianten 1 ist in jedem Fall der Einsatz von Flockungshilfsmitteln notwendig, bei Variante 2 gegebenenfalls. Es wurden spezifische Kosten von 3.500 EUR/Mg Wirkstoff angesetzt. Bei Einsatzmengen von 0,28 Mg/a ergeben sich daraus Verbrauchskosten von rund 965 EUR, netto.

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 ermittelten Kosten sind in **Tabelle 1** zusammengefasst. Die betriebsgebundenen Kosten beinhalten Personal- und Wartungs-/Instandhaltungskosten. Die verbrauchsgebundenen Kosten setzen sich aus den Energie-, den Chemikalien- und den Schlammentsorgungskosten zusammen.

**Tabelle 2: Betriebskosten für die Varianten 1 bis 4**

	Text		Variante 1 PAK m. Rücklaufk.	Variante 2 PAK-Dosierung	Variante 3 GAK-Filtration	Variante 4 Ozonung
B	Betriebsgebundene Kosten	EUR	60.814,06	47.829,94	51.012,74	57.599,94
C	Verbrauchsgebundene Kosten	EUR	31.603,91	48.135,82	65.912,75	31.954,68
<b>Summe Betriebskosten, netto</b>		<b>EUR</b>	<b>92.417,97</b>	<b>95.965,76</b>	<b>116.925,49</b>	<b>89.554,63</b>
Mehrwertsteuer: 19%		EUR	17.559,41	18.233,49	22.215,84	17.015,38
<b>Summe Betriebskosten, brutto</b>		<b>EUR</b>	<b>109.977,39</b>	<b>114.199,25</b>	<b>139.141,33</b>	<b>106.570,01</b>
<b>Anteil</b>			<b>103%</b>	<b>107%</b>	<b>131%</b>	<b>100%</b>

Die Betriebskosten liegen für die Varianten 1, 2 und 4 auf einem vergleichbaren Niveau von rund 106.000...115.000 EUR/a, brutto. Der Einsatz von GAK liegt mit ca. 139.000 EUR/a, brutto etwas darüber.

## 9.4 Jahreskosten

Die Jahreskosten wurden anhand folgender Vorgaben berechnet:

Betrachtungszeitraum	40 a
Nutzungsdauer Bautechnik	40 a
Nutzungsdauer Maschinenteknik	20 a
Nutzungsdauer EMSR-Technik	10 a
Zinssatz	3 %

**Tabelle 3: Jahreskosten für die Varianten 1 bis 4**

Pos.-Nr	Text		Variante 1 PAK m. Rücklaufk.	Variante 2 PAK-Dosierung	Variante 3 GAK-Filtration	Variante 4 Ozonung
A	Kapitalgebundene Kosten	EUR	87.590,53	57.734,62	90.475,40	92.867,84
B	Betriebsgebundene Kosten	EUR	60.814,06	47.829,94	51.012,74	57.599,94
C	Verbrauchsgebundene Kosten	EUR	31.603,91	48.135,82	65.912,75	31.954,68
<b>Summe Jahreskosten, netto</b>		<b>EUR</b>	<b>180.008,50</b>	<b>153.700,38</b>	<b>207.400,89</b>	<b>182.422,47</b>
Mehrwertsteuer: 19%		EUR	34.201,62	29.203,07	39.406,17	34.660,27
<b>Summe Jahreskosten, brutto</b>		<b>EUR</b>	<b>214.210,12</b>	<b>182.903,45</b>	<b>246.807,06</b>	<b>217.082,74</b>
<b>Anteil</b>			<b>117%</b>	<b>100%</b>	<b>135%</b>	<b>119%</b>

Die günstigsten Jahreskosten wurden für Variante 2 (PAK-Dosierung) mit ca. 183.000 EUR/a, brutto ermittelt. Die Varianten 1 (PAK mit Rücklaufkohle) und 4 (Ozonung) liegen etwa gleichauf (ca. 216.000 EUR/a, brutto). Die GAK-Filtration weist mit rund 247.000 EUR/a, brutto die höchsten Jahreskosten aus.

## 9.5 Sensitivitätsanalyse

Die Einflüsse von geänderten Verbrauchsmengen und deren spezifische 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 0,18 EUR/kWh, netto (0,21 EUR/kWh, brutto),

- Steigerung Bezugskosten für Aktivkohle (PAK bzw. GAK) und Flüssigsauerstoff um 10 %,
- Reduzierung Dosierung Pulverkohle und Ozon um 20 %,
- Erhöhung Filterstandzeit GAK Filter um 20 % (Bettvolumen).

Die Steigerung des Bezugspreises für elektrische Energie um 20 % führt auch bei der energieintensivsten Variante 4 (Ozonung) zu einer Steigerung der Betriebskosten von rund 3,3 %. Die Kostensteigerung beträgt für diese Variante ca. 3.500 EUR, brutto. Bei den anderen Varianten liegen die Kostensteigerungen unter 2.300 EUR, brutto. Dies entspricht einer Steigerung von maximal 2,0 %. Bei Variante 3 (GAK) ist die Steigerung vom 1.600 EUR, brutto am geringsten. Bezogen auf die Jahreskosten beträgt die Steigerung 1,6 % bei Variante 4 und 0,6 bis 1,2 % bei den anderen Varianten.

Die Steigerung der Bezugskosten um 10 % für die Aktivkohlen und den Flüssigsauerstoff steigert die Betriebskosten der GAK-Filtration um 7.043 EUR, brutto, der PAK-Dosierung (Variante 2) um 3.944 EUR, brutto. Die Preissteigerung hat bei den Varianten 1 (PAK mit Rücklaufkohle) und der Variante 4 (Ozonung) mit rund 2.000 EUR, brutto weniger Einfluss. Bei den Betriebskosten ergibt sich so eine Steigerung von 5,1 % bei Variante 3 (GAK-Filtration) und 3,5 % bei Variante 2 (PAK). Die Varianten 1 und 4 liegen 1,8 % bzw. 1,9 % auf einem vergleichbaren Niveau. Bezieht man die Veränderung auf die Jahreskosten, so ergeben sich nachstehende Werte: 2,9 % bei Variante 3; 2,2 % bei Variante 2 sowie 0,9 % bei den Varianten 1 und 4.

Die Veränderung der Dosiermengen um etwa 20 % hat erhebliche Einflüsse auf die Betriebskosten. Bei Variante 3 (GAK-Filtration) würden durch die Erhöhung der durchgesetzten Bettvolumina von 10.000 auf 12.000 die Betriebskosten um ca. 12.000 EUR, brutto (8,4 %) sinken. Bei der Variante 2 (PAK) würden sich Einsparungen von rund 8.200 EUR, brutto (7,2 %) ergeben. Die Reduzierung der Ozondosierung von 7 mg/l auf 5,8 mg/l verringert die Betriebskosten der Variante 4 um rund 6.900 EUR, brutto (6,5 %). Bei Variante 1 ergeben sich Einsparungen von rund 4.100 EUR, brutto (3,7 %).

Es zeigt sich, dass besonders die Verringerung der Betriebsmittel großen Einfluss auf die Betriebskosten der Varianten hat. Bei Verfahren mit im Vergleich geringen Dosiermengen (PAK mit Rücklaufkohle) ist die Auswirkung geringer. Die Variante 3 (GAK-Filtration) zeigt eine sehr starke Abhängigkeit bei Veränderungen der durchgesetzten Bettvolumina und bei Kostensteigerungen. Dieses Verfahren weist immer die höchsten Betriebskosten auf. Relativ stabil in Bezug auf die angenommenen Kostensteigerungen verhält sich die Ozonung, obwohl sie den höchsten Energieverbrauch aufweist.

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.

## 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 4: Bewertungsmatrix für die Varianten 1 bis 4**

Kriterium	Wichtung	Wertung							
		Variante 1		Variante 2		Variante 3		Variante 4	
		PAK m. Rücklaufk.		PAK-Dosierung		GAK-Filtration		Ozonung	
		Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet
Jahreskosten	0,40	3	1,2	4	1,6	2	0,8	3	1,2
Reinigungsleistung $P_{ges}$ /CSB (zusätz. Reduk.)	0,16	4	0,64	4	0,64	4	0,64	2	0,32
Bildung Nebenprodukte	0,06	5	0,3	5	0,3	5	0,3	3	0,18
Erfahrungen/Referenzen	0,06	5	0,3	3	0,18	3	0,18	4	0,24
Betriebs- und Wartungsaufwand	0,06	3	0,18	3	0,18	5	0,3	4	0,24
Betriebssicherheit	0,06	4	0,24	3	0,18	5	0,3	4	0,24
Sensitivität Kostensteigerungen	0,14	4	0,56	3	0,42	2	0,28	3	0,42
CO <sub>2</sub> -Bilanz	0,06	4	0,24	4	0,24	4	0,24	4	0,24
<b>Summe</b>	<b>1,00</b>	<b>32</b>	<b>3,66</b>	<b>29</b>	<b>3,74</b>	<b>30</b>	<b>3,04</b>	<b>27</b>	<b>3,08</b>

Wertung nach Punkten                      1 = ungenügend  
(steigende Punkte → bessere Wertung)      5 = sehr gut

Die **Jahreskosten** werden mit einer Wichtung von 40 % als wichtigstes Entscheidungskriterium eingestuft. Wie schon in **Kapitel 9.4** dargelegt, sind die Jahreskosten bei Variante 2 (PAK-Dosierung) am geringsten, bei der Variante 3 (GAK-Filtration) am teuersten. Variante 2 bekommt aufgrund der geringen Kosten vier Punkte und Variante 3 zwei Punkte. Die Jahreskosten der Variante 1 (PAK mit Rücklaufkohle) und 4 (Ozonung) liegen auf etwa einem Niveau dazwischen. Sie kommen daher jeweils auf drei Punkte.

Die **Reinigungsleistung  $P_{ges}$**  und **CSB** wurde in Ochtrup mit 16 % gewichtet. Sehr gute Ergebnisse hat hier die Variante 1 (PAK mit RLK) in Sindelfingen für  $P_{ges}$  erzielt. Bei Variante 2 dürften ähnliche Ergebnisse zu erwarten sein, jedoch belastet der zusätzlich gebildete Fällschlamm die Filtration zusätzlich. Gegebenenfalls ist durch GAK als zweite Filterstufe noch ein zusätzlicher Partikelrückhalt zu erwarten; dadurch könnte auch der partikulär gebundene Phosphor reduziert werden.

Bei den Aktivkohlevarianten ist eine Elimination des CSB zwischen ca. 30 % bei den PAK-Varianten und bis zu 45 % bei der GAK-Filtration möglich. Bei der Ozonung ist kein Einfluss auf die CSB- und  $P_{ges}$ -Konzentration zu erwarten.

Daher werden an die Aktivkohlevarianten 4 Punkte vergeben. Die Ozonung wird mit 2 Punkten bewertet.

Die Reinigungsleistung in Bezug auf die Spurenstoffe wird für alle Varianten gleich eingestuft, daher wird sie als Kriterium hier nicht herangezogen. Der Einsatz der Betriebsmittel wurde so gewählt, dass alle Varianten eine vergleichbare Elimination erzielen.

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. Die Untersuchungen in Regendorf zeigten, dass ein Sandfilter ausreicht. Auch in der Trinkwasseraufbereitung werden biologisch aktivierte Filter (z. B. GAK) der Ozonung aus diesem Grund nachgeschaltet. Dies erfolgt auch in der vierten vorgestellten Variante. Um der besonderen Bedeutung dieses Punktes Rechnung zu tragen, wurde die Ozonung hier mit drei Punkten bewertet und alle anderen Verfahren, bei denen keine Abbauprodukte entstehen können, mit fünf Punkten.

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

Der **Betriebs- und Wartungsaufwand** ist für den Betrieb der Kläranlage ein wichtiger Punkt. Hier wurden die GAK-Filtration und die Ozonung mit jeweils vier Punkten am besten bewertet. Eine höhere Punktzahl wurde nicht vergeben, da zum einen der regelmäßige Wechsel der granulierten Kohle bei Variante 4 einen erhöhten Betriebsaufwand nach sich zieht. Die Ozonung stellt aufgrund der Komplexität der Erzeugungsanlage schon einen besonderen Betriebspunkt auf der Kläranlage dar. Die Varianten mit der Aktivkohledosierung werden 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 ist. Die Auswirkungen auf weitere Anlagenteile werden in die Beurteilung einbezogen. Die höchste Betriebssicherheit weist die GAK-Filtration auf. Die Anlage mit vier Filterkammern ist sehr stabil zu betreiben. Weiterhin ist keine Dosierung erforderlich. Als nachgeschaltete Stufe beeinflusst sie nicht die bestehende Filtration, sondern erhöht als zweite Stufe sogar deren Betriebssicherheit. 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 4 (Ozonung) wird mit vier Punkten bewertet. Die Erfahrungen des Betriebspersonals auf KA Ochtrup zeigten, dass die bestehende Anlage in den vergangenen 20 a zuverlässig gearbeitet hat. Die Betriebssicherheit der Variante 2 wird am schlechtesten bewertet. Bei Ausfall der PAK-Dosierung ist die Wirkung in Bezug auf die Spurenstoffelimination nur noch sehr eingeschränkt gegeben (Kohle in den Kontaktbehältern). Die Abtrennung der Kohle erfolgt in der nachgeschalteten Mehrschichtfiltration. Dies bedeutet, dass diese Stufe zusätzlich belastet wird. Die zusätzliche Belastung der Filtration mit Feststoffen in Variante 2 liegt noch im empfohlenen Rahmen. Durch die Optimierung der bestehenden Filtration (Filteraufbau, Filterregelung) kann hier noch eine Verbesserung erzielt werden. Variante 2 wird mit 3 Punkten bewertet.

Die **Sensitivität** gegenüber Kostensteigerungen bei den Betriebsmitteln ist über die Laufzeit der Anlage zu betrachten, wie schon im **Kapitel 9.5** dargestellt. Hier zeigen die Variante 1 (PAK mit Rückführung) die geringsten Einflüsse auf Kostensteigerungen. Sie wird daher mit 4 Punkten bewertet. Variante 2 besitzt aufgrund der höheren PAK-Dosierung eine größere Sensitivität bei den Betriebskosten und erhält daher 3 Punkte. Die Ozonung (Variante 4) hat ebenfalls eine mittlere Sensitivität

gegenüber Kostensteigerungen bei den Betriebsmitteln. Die Bewertung erfolgt ebenfalls mit 3 Punkten. Die GAK-Filtration reagiert am empfindlichsten auf Kostensteigerungen. Daher werden hier 2 Punkte vergeben.

In letzter Zeit ist die **Nachhaltigkeit (CO<sub>2</sub>-Emissionen)** von Verfahren gerade auch bei der vierten 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 4 Punkten bewertet.

In der **Summe** schneidet Variante 2 (PAK-Dosierung) mit 3,74 Punkten am besten ab. Dicht gefolgt von Variante 1 (PAK mit Rückführung) mit 3,66 Punkten. Die Ozonung (Variante 4) und Variante 3 (GAK-Filtration) liegen 3,08 Punkte bzw. 3,04 Punkte auf einem vergleichbaren Niveau.

## 11 Zusammenfassung

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

- Variante 1: Pulverkohledosierung mit Rücklaufkohle,
- Variante 2: Pulverkohledosierung,
- Variante 3: Nachgeschaltete GAK-Filtration,
- Variante 4: Ozonung.

Die ausgewählten Varianten wurden auf ihre Umsetzbarkeit geprüft und zeichnerisch in Lageplanausschnitten sowie in einem Fließbild 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 (PAK-Dosierung) mit 3,74 Punkten; dicht darauf folgt Variante 2 (PAK mit Rücklaufkohle) mit 3,66 Punkten. Die Ozonung (Variante 4) kommt auf den dritten Rang mit 3,08 Punkten. Die Variante 3 (GAK-Filtration) liegt mit 3,04 Punkten auf dem vierten Platz. Bei den Jahreskosten liegt Variante 2 (PAK-Dosierung) aufgrund der geringen kapitalgebundenen Kosten mit 183.000 EUR, brutto vorn. Bei dieser Variante sind die geringsten Investitionen (Baukosten) zu tätigen. Die Varianten 1 (PAK mit Rücklaufkohle) und 4 (Ozonung) liegen mit 214.000 EUR, brutto bzw. 217.000 EUR, brutto etwa auf einem Niveau. Die Variante 3 (GAK-Filtration) kommt mit 247.000 EUR, brutto auf höhere Jahreskosten.

Die Pulveraktivkohlevarianten profitieren davon, dass die bestehenden Rührbehälter als Kontaktbehälter weitergenutzt werden können. Weiterhin kann die bestehende Fällmitteldosieranlage nach Ertüchtigung weitergenutzt werden. In den Investitionskosten wurde angenommen, dass für die Aktivkohle-Varianten ein neues Silo erstellt wird. Bei Variante 2 (PAK-Dosierung) besteht die Möglichkeit, dass das vorhandene Silo weitergenutzt und ertüchtigt wird. Die bestehende Dosiertechnik des

Silos wird jedoch komplett ausgetauscht. Die daraus resultierenden Einsparpotenziale bei den Investitionskosten für Variante 2 werden geprüft und sind hier noch nicht berücksichtigt. Bei Variante 1 befindet sich das bestehende Silo im Baufeld des Absetzbeckens.

Gerade Variante 2 kann aufgrund der bestehenden Anlagentechnik relativ einfach auf der Kläranlage implementiert werden. Damit erreicht es in der Bewertung den ersten Rang. Hinsichtlich der Kostensteigerung der Betriebsmittel ist dieses Verfahren aufgrund der höheren Dosiermenge empfindlicher als Variante 1.

Variante 1 (PAK mit Rücklaufkohle) lag in der Bewertungsmatrix auf dem zweiten Rang. Sie stellt das derzeit verbreitetste Verfahren zur Spurenstoffelimination dar (in Baden-Württemberg derzeit sieben Anlagen in Betrieb, weitere in Planung und Bau).

Die Ozonung (Variante 4) lag in der Bewertungsmatrix auf dem hinteren 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 zeigen, dass diese reduziert werden kann, so wird dieses Verfahren wirtschaftlich interessant. Die weiteren Forschungsergebnisse hinsichtlich der Bildung von Transferprodukten sollten in die Entscheidungsfindung einfließen.

Die GAK-Filtration (Variante 3) ist aufgrund der hohen kapital- und verbrauchsgebundenen Kosten auf dem letzten Rang. Für dieses Verfahren spricht die hohe Betriebssicherheit. Die relativ geringe prognostizierte Standzeit der Aktivkohle im Filter führt zu den hohen Verbrauchskosten. Die GAK-Filtration ist gegenüber Kostensteigerungen am anfälligsten. Durch Versuche am Standort Ochtrup könnte geprüft werden, ob die angenommenen Standzeiten realistisch sind oder sich gegebenenfalls günstigere Werte ergeben.

Aufgrund der vorhandenen Anlagentechnik sollten sich die weiteren Untersuchungen in Ochtrup auf die Varianten 2 (PAK-Dosierung) und 1 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle) konzentrieren.

## 12 Literaturverzeichnis

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

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

### **ATV A 203**

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

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

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

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

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

### **Cooney 1998**

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

### **DVGW W 239**

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

### **DWA 2008**

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

### **Grünebaum u. a. 2012**

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

### **Gujer 1999**

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

### **Herbst u. a. 2011**

*Herbst, H.; Kaufmann, M.; Türk, J.; Launer, M.:* 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; McArdell, Christa S.; Ternes, Thomas; Siegrist, Hansruedi*: Removal of pharmaceuticals and fragrances in biological wastewater treatment. In: *Water Res* 39 (2005), Sep, Nr. 14, S. 3139–3152.

#### **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.

**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 4**

## Stadtwerke Ochtrup Kläranlage Ochtrup

Projekt: **Studie 4. Reinigungsstufe**  
 Projektnummer **485 004**  
 Variante: **Eingangsdaten**

### Auslegungsdaten Hydraulik

<i>Gesamtzulauf Kläranlage</i>			
Max. TW-Zufluss (mit Fremdwasser)	Q_t	125,00 l/s 450,00 m³/h	
Maximaler Wasserzufluss (Trennsystem)	Q_m	246,00 l/s 885,60	
<i>Teilstrombehandlung (4. Reinigungsstufe)</i>			
Min. Volumenstrom für Teilstrombehandlung	Q_Teil,min	20 m³/h	Daten 2012/13
Max. Volumenstrom für Teilstrombehandlung	Q_Teil,max	250 m³/h	Auswert. Daten 2012/13
		69 l/s	
Behandelte Abwassermenge im Teilstrom	Q_Teil,a	1.183.771 m³/a	Auswert. Daten 2012/13
Behandelte Teilstrommenge pro Tag	Q_Teil,d	3.243 m³/d	

Eingabefelder

Berechnungsfelder

## Stadtwerke Ochtrup Kläranlage Ochtrup

<b>Projekt:</b>	<b>Studie 4. Reinigungsstufe</b>
<b>Projektnummer</b>	<b>485 004</b>
<b>Variante:</b>	<b>1</b>
	<b>PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung</b>

### Auslegungsdaten Hydraulik

<i>Gesamtzulauf Kläranlage</i>				
Max. TW-Zufluss (mit Fremdwasser)	Q <sub>t</sub>	125,00 l/s		
		450 m <sup>3</sup> /h		
Maximaler Wasserzufluss (Trennsystem)	Q <sub>m</sub>	246,00 l/s		
		886 m <sup>3</sup> /h		
<i>Teilstrombehandlung (4. Reinigungsstufe)</i>				
Min. Volumenstrom für Teilstrombehandlung	Q <sub>Teil,min</sub>	20 m <sup>3</sup> /h		Daten 2012/13
Max. Volumenstrom für Teilstrombehandlung	Q <sub>Teil,max</sub>	250 m <sup>3</sup> /h		Auswert. Daten 2012/13
		69 l/s		
Behandelte Abwassermenge im Teilstrom	Q <sub>Teil,a</sub>	1.183.771 m <sup>3</sup> /a		Auswert. Daten 2012/13
Behandelte Teilstrommenge pro Tag	Q <sub>Teil,d</sub>	3.243 m <sup>3</sup> /d		

### Auslegung Zwischenhebewerk mit Durchflussmessung

<i>Vorgaben</i>			
Volumenstrom	Q <sub>Teil,max</sub>	250 m <sup>3</sup> /h	
Förderhöhe, abgeschätzt, <b>zusätzlich</b>	h <sub>gesch</sub>	0,5 m	
spez. Energiebedarf		8 Wh/(m <sup>3</sup> ·m)	
<i>Bemessung</i>			
Energiebedarf		4.735 kWh/a	

Nutzung des bestehenden Pumpwerks (Zulauf Filtration),  
→ Anpassung der Pumpen an neue Förderhöhe ggf. notwendig  
Regelung Pumpe über FU

### Auslegung Kontaktbecken

<i>Vorgaben</i>			
Aufenthaltszeit (ohne Berücksichtigung RLK)	t <sub>a,min</sub>	30 min	
<i>Bemessung</i>			
erforderliches Gesamtvolumen KB	V <sub>KB,erf,ges</sub>	125 m <sup>3</sup>	
<i>Daten bestehende Becken → Nutzung als Kontaktbecken</i>			
Anzahl Becken	n <sub>KB,ist</sub>	2	
Durchmesser Becken	d <sub>KB,ist</sub>	6 m	
Höhe Wasserspiegel	h <sub>WS,KB,ist</sub>	5 m	
Volumen eines KB	V <sub>KB,ist,n</sub>	121 m <sup>3</sup>	
Gesamtvolumen KB	V <sub>KB,ist,ges</sub>	242 m <sup>3</sup>	
<i>Nachweise bezogen auf Q<sub>Teil,max</sub></i>			
Aufenthaltszeit (ohne Berücksichtigung RLK)	t <sub>a,ist</sub>	58,08 min	
Aufenthaltszeit (ohne Berücksichtigung RLK), n-1 KB	t <sub>a,ist,n-1</sub>	29,04 min	

## Stadtwerke Ochtrup Kläranlage Ochtrup

**Projekt:** Studie 4. Reinigungsstufe  
**Projektnummer** 485 004  
**Variante:** 1  
**PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung**

### Auslegung Rührwerk Kontaktbecken

<i>Vorgaben</i>		
Energieeintrag		8,00 W/m <sup>3</sup>
Anzahl Rührwerke	n <sub>RW</sub>	2
Laufzeit, anteilig		24 h/d
<i>Bemessung</i>		
Leistungsbedarf	P <sub>RW,KB</sub>	0,97 kW
Energiebedarf Rührwerke		46 kWh/d
		16.959 kWh/a

Bestehende Vertikalrührwerke werden ersetzt

### Auslegung Absetzbecken

siehe gesondertes Blatt

### Auslegung Rücklaufkohlepumpwerk

<i>Vorgaben</i>		
Rückführverhältnis	RV	1,00
Förderhöhe, abgeschätzt	h <sub>gesch</sub>	0,5 m
spez. Energiebedarf		8 Wh/(m <sup>3</sup> ·m)
<i>Bemessung</i>		
Volumenstrom Rücklaufkohle	Q <sub>RLK</sub>	250 m <sup>3</sup> /h
Energiebedarf		4.735 kWh/a

Regelung Pumpe über FU

1 Ersatzaggregat auf Lager, in Langzeitverpackung

### Auslegung Überschussskohleentnahme

<i>Vorgaben</i>		
TS-Gehalt Schlamm		8,00 kg/m <sup>3</sup>
Tagesschlammmenge	V <sub>ÜS</sub>	13,46 m <sup>3</sup> /d
angenommene Laufzeit		5,00 h/d
Förderhöhe, abgeschätzt	h <sub>gesch</sub>	1,00 m
spez. Energiebedarf		8 Wh/(m <sup>3</sup> ·m)
<i>Bemessung</i>		
berechnete Fördermenge	Q <sub>ber</sub>	2,69 m <sup>3</sup> /h
Gewählte Fördermenge	Q <sub>gew</sub>	4,00 m <sup>3</sup> /h
Energiebedarf		393 kWh/a

Kreiselpumpe, gehärtetes Laufzeug

Steuerung über Zeit-Pausen-Schaltung

## Stadtwerke Ochtrup Kläranlage Ochtrup

Projekt:

Studie 4. Reinigungsstufe

Projektnummer

485 004

Variante:

1

PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung

### Pulverkohledosierung

<i>Vorgaben</i>		
min. Dosierkonzentration	c_PAK,min	5,0 g/m <sup>3</sup>
max. Dosierkonzentration	c_PAK,max	20,0 g/m <sup>3</sup>
max. Dosierung		5,0 kg/h
<i>gewählte Dosiersysteme</i>		
1 Dosiergerät, (Ger. 1)	m <sub>•_Dos,Ger_1</sub>	5,0 kg/h
1 Dosiergerät, (Ger. 2)	m <sub>•_Dos,Ger_2</sub>	2,5 kg/h
Regelbereich je Dosiergerät		1/10
min. c_PAK bei Q_Str,min (Ger. 1)		25 g/m <sup>3</sup>
max. c_PAK bei Q_Str,max (Ger. 1)		20 g/m <sup>3</sup>
min c_PAK bei Q_Str,min (Ger. 2)		13 g/m <sup>3</sup>
max c_PAK bei Q_Str,max (Ger. 2)		10 g/m <sup>3</sup>
<i>PAK-Bedarf</i>		
mittlere PAK-Dosierkonzentration im Jahr	c_PAK,a	10,0 g/m <sup>3</sup>
Tagesbedarf	m_PAK,d	32 kg/d
Jahresbedarf	m_PAK.a	12 Mg/a
<i>PAK-Silo</i>		
gewähltes Silo-Volumen	V_Silo	80 m <sup>3</sup>
Nutzvolumen	V_Silo,Nutz	27 m <sup>3</sup>
Lagerungsdichte PAK	rho_B,PAK	400 kg/m <sup>3</sup>
Masse PAK, nutzbar	m_PAK,nutz	11 Mg
Intervall Nachfüllung Silo		0,9 a 333 d

### Pumpen Treibwasser für PAK-Dosierung

<i>Vorgaben</i>		
Volumenstrom	Q_Treib	5 m <sup>3</sup> /h
Förderhöhe, abgeschätzt (incl. Verluste)	h_gesch	55 m
spez. Energiebedarf		7 Wh/(m <sup>3</sup> ·m)
Laufzeit, anteilig		24 h/d
<i>Bemessung</i>		
Energiebedarf		16.863 kWh/a

## Stadtwerke Ochtrup Kläranlage Ochtrup

**Projekt:** **Studie 4. Reinigungsstufe**  
**Projektnummer** **485 004**  
**Variante:** **1**  
**PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung**

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

<i>Vorgaben</i>			
min. Dosierkonzentration	c_Me,min	2,0	g/m <sup>3</sup>
max. Dosierkonzentration	c_Me,max	8,0	g/m <sup>3</sup>
mittlere Dosierkonzentration im Jahr	c_Me,a	4,0	g/m <sup>3</sup>
WS-Gehalt FeCl im FM		0,138	kg Fe/kg FM
<i>FM-Bedarf</i>			
Tagesbedarf	m_FM,d	94	kg/d
Jahresbedarf	m_FM,a	34	Mg/a
<i>FM-Silo</i>			
gewähltes Volumen	V_Tank,FM	19	m <sup>3</sup>
Nutzvolumen	V_Tank,Nutz	15	m <sup>3</sup>
Dichte FM	rho_FM	1.430	kg/m <sup>3</sup>
Masse PAK, nutzbar	m_FM,nutz	21.450	kg
Intervall Nachfüllung Silo		228	d

vorhanden

### Flockungshilfsmitteldosierung

<i>Vorgaben</i>			
min. Dosierkonzentration	c_Me,min	0,1	g/m <sup>3</sup>
max. Dosierkonzentration	c_Me,max	0,3	g/m <sup>3</sup>
mittlere Dosierkonzentration im Jahr	c_Me,a	0,2	g/m <sup>3</sup>
WS-Gehalt im FHM-Granulat		1,000	kg WS/kg Gr.
<i>FHM-Bedarf</i>			
Tagesbedarf	m_FM,d	0,6	kg/d
Jahresbedarf	m_FM,a	0,24	Mg/a

Eingabefelder

Berechnungsfelder

## Stadtwerke Ochtrup Kläranlage Ochtrup

**Projekt:** Studie 4. Reinigungsstufe  
**Projektnummer** 485 004  
**Variante:** 1  
**PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung**  
**Bemessung Absetzbecken**

Beckentyp		Rundbecken
Schlammräumung (Schildräumung/Saugräumung)		Schildräumung
Durchströmung (vertikal/horizontal)		horizontal
Anzahl der Becken	n	1 Stück
Innendurchmesser Becken		
	$D_i$	15,00 m
Außendurchmesser Becken		
	$D_A$	15,60 m
Außendurchmesser Königstuhl	$D_{KS,a}$	3,00 m
Oberfläche	A	170 m <sup>2</sup>
Beckentiefe im 2/3-Punkt	$h_{2/3} = h_{ges}$	4,00 m
Beckenrandtiefe	$h_{Rand}$	3,83 m
Neigung der Sohle	$I_s$	0,07
Beckenvolumen	$V_{Sed}$	679 m <sup>3</sup>

### Festlegung der Bemessungsdaten

Max. Zulauf	$Q_{max}$	250 m <sup>3</sup> /h
		69 l/s
Rücklaufverhältnis	RV	1,00
Min. Aufenthaltszeit Sedimentation	$t_{v,Sed}$ , min	2,00 h
max. Oberflächenbeschickung	$q_{a,max}$	2,0 m/h
Schlammvolumen	ISV	100,0 ml/g
TS-Gehalt im Kontaktbecken	TS	4,0 g/l

Diss. Metzger

### Nachweis Flächenbeschickung und Aufenthaltszeit

Flächenbeschickung	$q_A$	$Q_{max}/A =$	1,5 m/h
Aufenthaltszeit	$t_{v,sed}$	$V_{Sed}/Q_{max} =$	2,71 h

Bedingung erfüllt  
 Bedingung erfüllt

### Legende



Eingabewerte  
 Geänderte Eingabewerte  
 Rechenwerte  
 Hinweis, z.B. bei nicht erbrachtem Nachweis

## Stadtwerke Ochtrup Kläranlage Ochtrup

<b>Projekt:</b>	<b>Studie 4. Reinigungsstufe</b>
<b>Projektnummer</b>	<b>485 004</b>
<b>Variante:</b>	<b>2</b>
	<b>PAK-Dosierung vor Filtration</b>

### Auslegungsdaten Hydraulik

<i>Gesamtzulauf Kläranlage</i>			
Max. TW-Zufluss (mit Fremdwasser)	Q <sub>t</sub>	125,00 l/s	
		450 m <sup>3</sup> /h	
Maximaler Wasserzufluss (Trennsystem)	Q <sub>m</sub>	246,00 l/s	
		886 m <sup>3</sup> /h	
<i>Teilstrombehandlung (4. Reinigungsstufe)</i>			
Min. Volumenstrom für Teilstrombehandlung	Q <sub>Teil,min</sub>	20 m <sup>3</sup> /h	Daten 2012/13
Max. Volumenstrom für Teilstrombehandlung	Q <sub>Teil,max</sub>	250 m <sup>3</sup> /h	Auswert. Daten 2012/13
		69 l/s	
Behandelte Abwassermenge im Teilstrom	Q <sub>Teil,a</sub>	1.183.771 m <sup>3</sup> /a	Auswert. Daten 2012/13
Behandelte Teilstrommenge pro Tag	Q <sub>Teil,d</sub>	3.243 m <sup>3</sup> /d	

### Auslegung Zwischenhebewerk mit Durchflussmessung

<i>Vorgaben</i>		
Volumenstrom	m <sup>3</sup> /h	250 m/h
Förderhöhe, abgeschätzt, <b>zusätzlich</b>	h <sub>gesch</sub>	0,5 m
spez. Energiebedarf		8 Wh/(m <sup>3</sup> ·m)
<i>Bemessung</i>		
Energiebedarf		4.735 kWh

Nutzung des bestehenden Pumpwerks (Zulauf Filtration),  
→ Anpassung der Pumpen an neue Förderhöhe ggf. notwendig  
Regelung Pumpe über FU

### Auslegung Kontaktbecken

<i>Vorgaben</i>		
Aufenthaltszeit	t <sub>a,min</sub>	30 min
<i>Bemessung</i>		
erforderliches Gesamtvolumen KB	V <sub>KB,erf,ges</sub>	125 m <sup>3</sup>
<i>Daten bestehende Becken → Nutzung als Kontaktbecken</i>		
Anzahl Becken	n <sub>KB,ist</sub>	2
Durchmesser Becken	d <sub>KB,ist</sub>	6 m
Höhe Wasserspiegel	h <sub>WS,KB,ist</sub>	5 m
Volumen eines KB	V <sub>KB,ist,n</sub>	121 m <sup>3</sup>
Gesamtvolumen KB	V <sub>KB,ist,ges</sub>	242 m <sup>3</sup>
<i>Nachweise bezogen auf Q<sub>Teil,max</sub></i>		
Aufenthaltszeit	t <sub>a,ist</sub>	58,08 min
Aufenthaltszeit, n-1 KB	t <sub>a,ist,n-1</sub>	29,04 min
zusätzliche Kontaktzeit im Filterüberstau		

## Stadtwerke Ochtrup Kläranlage Ochtrup

**Projekt:** Studie 4. Reinigungsstufe  
**Projektnummer** 485 004  
**Variante:** 2  
**PAK-Dosierung vor Filtration**

### Auslegung Rührwerk Kontaktbecken

<i>Vorgaben</i>		
Energieeintrag		8,00 W/m <sup>3</sup>
Anzahl Rührwerke	n <sub>RW</sub>	2
Laufzeit, anteilig		24 h/d
<i>Bemessung</i>		
Leistungsbedarf	P <sub>RW,KB</sub>	0,97 kW
Energiebedarf Rührwerke		46 kWh/d 16.959 kWh/a

Bestehende Vertikalrührwerke werden ersetzt

### Pulverkohledosierung

<i>Vorgaben</i>		
min. Dosierkonzentration	c <sub>PAK,min</sub>	10,0 g/m <sup>3</sup>
max. Dosierkonzentration	c <sub>PAK,max</sub>	30,0 g/m <sup>3</sup>
max. Dosierung		7,5 kg/h
<i>gewählte Dosiersysteme</i>		
1 Dosiergerät, (Ger. 1)	m <sub>Dos,Ger_1</sub>	7,5 kg/h
1 Dosiergerät, (Ger. 2)	m <sub>Dos,Ger_2</sub>	3,8 kg/h
Regelbereich je Dosiergerät		1/10
min. c <sub>PAK</sub> bei Q <sub>Str,min</sub> (Ger. 1)		38 g/m <sup>3</sup>
max. c <sub>PAK</sub> bei Q <sub>Str,max</sub> (Ger. 1)		30 g/m <sup>3</sup>
min c <sub>PAK</sub> bei Q <sub>Str,min</sub> (Ger. 2)		19 g/m <sup>3</sup>
max c <sub>PAK</sub> bei Q <sub>Str,max</sub> (Ger. 2)		15 g/m <sup>3</sup>
<i>PAK-Bedarf</i>		
mittlere PAK-Dosierkonzentration im Jahr	c <sub>PAK,a</sub>	20,0 g/m <sup>3</sup>
Tagesbedarf	m <sub>PAK,d</sub>	65 kg/d
Jahresbedarf	m <sub>PAK,a</sub>	24 Mg/a
<i>PAK-Silo</i>		
gewähltes Silo-Volumen	V <sub>Silo</sub>	80 m <sup>3</sup>
Nutzvolumen	V <sub>Silo,Nutz</sub>	27 m <sup>3</sup>
Lagerungsdichte PAK	rho <sub>B,PAK</sub>	400 kg/m <sup>3</sup>
Masse PAK, nutzbar	m <sub>PAK,nutz</sub>	11 Mg
Intervall Nachfüllung Silo		0,5 a 167 d

MIKROFLOCK

## Stadtwerke Ochtrup Kläranlage Ochtrup

**Projekt:** Studie 4. Reinigungsstufe  
**Projektnummer** 485 004  
**Variante:** 2  
**PAK-Dosierung vor Filtration**

### Pumpen Treibwasser für PAK-Dosierung

<i>Vorgaben</i>		
Volumenstrom	Q_Treib	5 m <sup>3</sup> /h
Förderhöhe, abgeschätzt (incl. Verluste)	h_gesch	55 m
spez. Energiebedarf		7 Wh/(m <sup>3</sup> ·m)
Laufzeit, anteilig		24 h/d
<i>Bemessung</i>		
Energiebedarf		16.863 kWh/a

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

<i>Vorgaben</i>			
min. Dosierkonzentration	c_Me,min	2,0 g/m <sup>3</sup>	
max. Dosierkonzentration	c_Me,max	8,0 g/m <sup>3</sup>	
mittlere Dosierkonzentration im Jahr	c_Me,a	4,0 g/m <sup>3</sup>	MIKROFLOCK
WS-Gehalt FeCl im FM		0,138 kg Fe/kg FM	
<i>FM-Bedarf</i>			
Tagesbedarf	m_FM,d	94 kg/d	
Jahresbedarf	m_FM,a	34 Mg/a	
<i>FM-Tank</i>			
gewähltes Volumen	V_Tank,FM	19 m <sup>3</sup>	vorhanden
Nutzvolumen	V_Tank,Nutz	15 m <sup>3</sup>	
Dichte FM	rho_FM	1.430 kg/m <sup>3</sup>	
Masse PAK, nutzbar	m_FM,nutz	21.450 kg	
Intervall Nachfüllung Silo		228 d	

### Flockungshilfsmitteldosierung

<i>Vorgaben</i>			
min. Dosierkonzentration	c_Me,min	0,1 g/m <sup>3</sup>	
max. Dosierkonzentration	c_Me,max	0,3 g/m <sup>3</sup>	
mittlere Dosierkonzentration im Jahr	c_Me,a	0,0 g/m <sup>3</sup>	MIKROFLOCK
WS-Gehalt im FHM-Granulat		1,000 kg WS/kg Gr.	
<i>FHM-Bedarf</i>			
Tagesbedarf	m_FM,d	0,0 kg/d	
Jahresbedarf	m_FM,a	0,00 Mg/a	

## Stadtwerke Ochtrup Kläranlage Ochtrup

**Projekt:** **Studie 4. Reinigungsstufe**  
**Projektnummer** **485 004**  
**Variante:** **2**  
**PAK-Dosierung vor Filtration**

### Nachweis Filterbeladung

<i>Vorgaben</i>			
Abfiltrierbare Stoffe Ablauf NK	X_TS,AN,max	20,0 g/m <sup>3</sup>	A 131
Abfiltrierbare Stoffe Ablauf Filtration	X_TS,AF,max	5,0 g/m <sup>3</sup>	A 203
Tageswassermenge im Teilstrom, gewählt	Q_Teil,d,gew	6.000 m <sup>3</sup> /d	
max. Tageswassermenge im Teilstrom	Q_Teil,d,max	6.000 m <sup>3</sup> /d	
Max. Filterbettbeladung	B_R,TS	2,0...3,0 kg TS/(m <sup>3</sup> ·d)	Meyer 1979
<i>Mehrschichtfiltration</i>			
Filterfläche je Filter	A_Filter	7,07 m <sup>2</sup>	
Anzahl Filter	n_Filter	8	
Filterbetthöhe Mehrschichtfilter, gewählt	h_Filt,gew	1,80 m	
Bettvolumen Mehrschichtfiltration, gesamt	V_Filt.,ges	101,8 m <sup>3</sup>	
<i>Beladung</i>			
aus Suspensa	B_R,TS,Sus	0,9 kg TS/(m <sup>3</sup> ·d)	
aus PAK	B_R,TS,PAK	1,2 kg TS/(m <sup>3</sup> ·d)	
aus Fäll-/Flock.-mittel (Me-Salz.) [2,5 gTS/g Fe]	B_R,TS,Me-S	0,6 kg TS/(m <sup>3</sup> ·d)	
Summe	B_R,TS,ges	2,7 kg TS/(m <sup>3</sup> ·d)	

Bei einer Teilstrommenge von 6.000 m<sup>3</sup>/d (250 m<sup>3</sup>/h) wird eine Filterbettbeladung 2,7 kg TS/(m<sup>3</sup>·d) erreicht

Eingabefelder

Berechnungsfelder

## Stadtwerke Ochtrup Kläranlage Ochtrup

**Projekt:** Studie 4. Reinigungsstufe  
**Projektnummer** 485 004  
**Variante:** 3  
**Nachgeschaltete GAK-Filtration**

### Auslegungsdaten Hydraulik

<i>Gesamtzulauf Kläranlage</i>			
Max. TW-Zufluss (mit Fremdwasser)	Q <sub>t</sub>	125,00 l/s 450 m <sup>3</sup> /h	
Maximaler Wasserzufluss (Trennsystem)	Q <sub>m</sub>	246,00 l/s 886 m <sup>3</sup> /h	
<i>Teilstrombehandlung (4. Reinigungsstufe)</i>			
Max. Volumenstrom für Teilstrombehandlung	Q <sub>Teil,max</sub>	250 m <sup>3</sup> /h 69 l/s	Auswert. Daten 2012/13
Behandelte Abwassermenge im Teilstrom	Q <sub>Teil,a</sub>	1.183.771 m <sup>3</sup> /a	Auswert. Daten 2012/13
Behandelte Teilstrommenge pro Tag	Q <sub>Teil,d</sub>	3.243 m <sup>3</sup> /d	

### Auslegung Zwischenhebewerk mit Durchflussmessung

<i>Vorgaben</i>			
Volumenstrom	m <sup>3</sup> /h	250 m/h	
Förderhöhe, abgeschätzt	h <sub>gesch</sub>	4 m	
spez. Energiebedarf		8 Wh/(m <sup>3</sup> ·m)	
<i>Bemessung</i>			
Energiebedarf pro Jahr		37.881 kWh/a	

trockenaufgestellte Kreiselpumpe  
 Regelung Pumpe über FU  
 2 Pumpen (1 davon als Reserve)

## Stadtwerke Ochtrup Kläranlage Ochtrup

<b>Projekt:</b>	<b>Studie 4. Reinigungsstufe</b>
<b>Projektnummer</b>	<b>485 004</b>
<b>Variante:</b>	<b>3</b>
	<b>Nachgeschaltete GAK-Filtration</b>

### Auslegung GAK-Filter

<i>Vorgaben</i>			
Leerbettkontaktzeit (Bereich)	EBCT	10...30 min	DVGW W 239 (A)
Leerbettkontaktzeit, gewählt	EBCT, gew	30 min	
Filtergeschwindigkeit (Bereich)	v_F	5...20 m/h	DVGW W 239 (A)
Filtergeschwindigkeit, gewählt	v_F,gew	5,00 m/h	
Filterbetthöhe GAK (Bereich)		1,5...3,0 m	DVGW W 239 (A)
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/m <sup>3</sup>	
<i>Bemessung Filter</i>			
erforderliches Leerbettvol., ber. über EBCTgew	V_GAK	125 m <sup>3</sup>	
erforderliche Filterfläche, ber. über EBCTgew	A_Filter,erf	50,00 m <sup>2</sup>	
Fläche Filter, berechnet	A_Filter,erf,n	12,50 m <sup>2</sup>	
Länge Filter, gewählt	l_Filter,gew	4,20 m	
Bereite Filter, gewählt	b_Filter,gew	3,00 m	
Filterfläche, gewählt je Filter	A_Filter,gew	12,60 m <sup>2</sup>	
Filterfläche, gewählt, gesamt	A_Filter,ges	50,40 m <sup>2</sup>	
Leerbettvolumen, gewählt, gesamt	V_GAK,ges	126,00 m <sup>3</sup>	
Masse GAK, gesamt	M_GAK,ges	50,40 Mg	
<i>Nachweise bezogen auf Q_Teil,max</i>			
Filtergeschwindigkeit	v_F,ist	4,96 m/h	
Filtergeschwindigkeit, bei (n-1) Filter	v_F,ist,n-1	6,61 m/h	
tatsächliche Kontaktzeit im Filterbett	EBCT, ist	30,24 min	
Kontaktzeit bei (n-1) Filter	EBCT,ist,n-1	22,68 min	

### Auslegung Spülwasserpumpe

<i>Vorgaben</i>			
Spülgeschwindigkeit (Bereich)	v_Spül,W	25...35 m/h	Sontheimer u.a., 1985
Spülgeschwindigkeit gewählt	v_Spül_L,gew	35 m/h	
<i>Bemessung</i>			
Volumenstrom Spülwasser	Q_Spül,L	441 m <sup>3</sup> /h	
Volumenstrom Spülwasserpumpe, gewählt	Q_Spül,L,gew	450 m <sup>3</sup> /h	

Regelung Gebläse über FU

1 Ersatzaggregat auf Lager, in Langzeitverpackung

## Stadtwerke Ochtrup Kläranlage Ochtrup

<b>Projekt:</b>	<b>Studie 4. Reinigungsstufe</b>
<b>Projektnummer</b>	<b>485 004</b>
<b>Variante:</b>	<b>3</b>
	<b>Nachgeschaltete GAK-Filtration</b>

### Auslegung Spülgebläse

<i>Vorgaben</i>			
Spülgeschwindigkeit (Bereich)	v_Spül,L	60...80 m/h	Sontheimer u.a., 1985
Spülgeschwindigkeit gewählt	v_Spül_L,gew	70 m/h	
<i>Bemessung</i>			
Volumenstrom Spülluft	Q_Spül,L	882 m³/h	
Volumenstrom Spülluftgebläse, gewählt	Q_Spül,L,gew	900 m³/h	
Regelung Gebläse über FU			
1 Ersatzaggregat auf Lager, in Langzeitverpackung			
<i>Leistung vorhandene Spülluftgeb. Filtration</i>	Q_Spül,L,FF	700 m³/h	
	v_Spül_L,FF	56 m/h	

### Rückspülregime

<i>Vorgaben</i>			
Spülintervall, gewählt		168 h	
		1 /Woche	
<i>Spülprogramm</i>			
Luftspülung	t_Spül,L,gew	90 s	MIKROFLOCK
		1,5 min	
Wasserspülung	t_Spül,L,gew	300 s	MIKROFLOCK
		5,0 min	
<i>Berechnung</i>			
Spülwasserbedarf pro Spülung (rechnerisch)		37 m³/Spül.	
Spülwasserbedarf (rechnerisch)		300 m³/Wo.	
		43 m³/d	
Spülwasserspeicher (Gewählt)	V_Spülsp,GAK	45 m³	
Energiebedarf je Spülung (mit RF Schlammwasser)		4,94 kWh	
Bedarf Spülluftgebläse		0,69 kWh	
Bedarf Spülwasserpumpen		2,13 kWh	
Bedarf Schlammwasserförderungen		2,13 kWh	
Energiebedarf pro Woche		20 kWh/Wo	
Energiebedarf pro Jahr		1028 kWh/a	
Bedarf Spülluftgebläse		144 kWh/a	
Bedarf Spülwasserpumpen		442 kWh/a	
Bedarf Schlammwasserförderungen		442 kWh/a	

Optimierung Rückspülregime in weiterer Planung und Betrieb

## Stadtwerke Ochtrup Kläranlage Ochtrup

**Projekt:** **Studie 4. Reinigungsstufe**  
**Projektnummer** **485 004**  
**Variante:** **3**  
**Nachgeschaltete GAK-Filtration**

### Filterlaufzeit/GAK-Bedarf

Berechnung über ausgetauschte Bettvolumina			
Bettvolumina bis Durchbruch (Bereich)		5.000....30.000	hohe Werte aus TWA
Bettvolumina bis Durchbruch	BVgew	10.000	Annahme
Standzeit Füllung GAK	t_Stand	389 d	
Jahresbedarf GAK (rechnerisch), Volumen	V_GAK,a	118 m <sup>3</sup> /a	
Jahresbedarf GAK (rechnerisch), Masse	M_GAK,a	47 Mg/a	

Eingabefelder

Berechnungsfelder

## Stadtwerke Ochtrup Kläranlage Ochtrup

**Projekt:** Studie 4. Reinigungsstufe  
**Projektnummer** 485 004  
**Variante:** 4  
**Ozon vor Filtration**

### Auslegungsdaten Hydraulik

<i>Gesamtzulauf Kläranlage</i>			
Max. TW-Zufluss (mit Fremdwasser)	Q <sub>t</sub>	125,00 l/s	
		450 m <sup>3</sup> /h	
Maximaler Wasserzufluss (Trennsystem)	Q <sub>m</sub>	246,00 l/s	
		886 m <sup>3</sup> /h	
<i>Teilstrombehandlung (4. Reinigungsstufe)</i>			
Max. Volumenstrom für Teilstrombehandlung	Q <sub>Teil,max</sub>	250 m <sup>3</sup> /h	Auswert. Daten 2012/13
		69 l/s	
Behandelte Abwassermenge im Teilstrom	Q <sub>Teil,a</sub>	1.183.771 m <sup>3</sup> /a	Auswert. Daten 2012/13
Behandelte Teilstrommenge pro Tag	Q <sub>Teil,d</sub>	3.243 m <sup>3</sup> /d	

### Auslegung Zwischenhebewerk mit Durchflussmessung

<i>Vorgaben</i>			
Volumenstrom	m <sup>3</sup> /h	250 m/h	
Förderhöhe, abgeschätzt, <b>zusätzlich</b>	h <sub>gesch</sub>	0,5 m	
spez. Energiebedarf		8 Wh/(m <sup>3</sup> ·m)	
<i>Bemessung</i>			
Energiebedarf pro Jahr		4.735 kWh/a	

Nutzung des bestehenden Pumpwerks (Zulauf Filtration),  
 → Anpassung der Pumpen an neue Förderhöhe ggf. notwendig  
 Regelung Pumpe über FU

### Auslegung Kontaktreaktor Ozon

<i>Vorgaben</i>			
Kontaktzeit (Bereich)	t <sub>KR</sub>	10...30 min	
Kontaktzeit, gewählt	t <sub>KR,ges,gew</sub>	30 min	
davon im Kontaktreaktor		20 min	
in der Ausgasungszone		5 min	
Straßen	n <sub>Str</sub>	2	
<i>Bemessung Reaktor</i>			
erforderliches Volumen	V <sub>KR,ges</sub>	125 m <sup>3</sup>	
davon im Kontaktreaktor		83 m <sup>3</sup>	
in der Ausgasungszone		21 m <sup>3</sup>	
<i>Geometrie</i>			
Straßen	n <sub>Str</sub>	2	
Wasserspiegelhöhe	h <sub>WS</sub>	6,00 m	
Länge (innen)	l <sub>KR,gew</sub>	2,00 m	
Breite (innen), Straße	b <sub>KR,gew</sub>	5,50 m	
Volumen,ist,Str	V <sub>KR,ist,Str</sub>	66 m <sup>3</sup>	
Volumen,ist,ges	V <sub>KR,ist,ges</sub>	132 m <sup>3</sup>	
<i>Nachweise bezogen auf Q<sub>Teil,max</sub></i>			
tatsächliche Kontaktzeit im Reaktor	t <sub>KR,ist</sub>	31,68 min	
Kontaktzeit bei (n-1) Straßen	t <sub>KR,ist,n-1</sub>	15,84 min	

## Stadtwerke Ochtrup Kläranlage Ochtrup

**Projekt:** Studie 4. Reinigungsstufe  
**Projektnummer** 485 004  
**Variante:** 4  
**Ozon vor Filtration**

### Auslegung Ozonerzeuger

<i>Vorgaben</i>			
min. Dosis	c_O3,min		2,0 g/m <sup>3</sup>
max. Dosis	c_O3,max		10,0 g/m <sup>3</sup>
mittlere Dosis im Jahr	c_O3,a		7,0 g/m <sup>3</sup>
Prozessgas für Ozonerzeugung		Sauerstoff	
spez. O3-Konzentration bez. auf Prozessgas			0,143 kgO3/Nm <sup>3</sup> O2
Dichte O2 bei Standardbedingungen	rho_O2,Norm		1,337 kgO2/m <sup>3</sup>
spez. Energiebedarf O3-Erzeugung mit Restvernicht.			9,6 kWh/kgO3
<i>Bemessung</i>			
O3-Bedarf bei max. O3-Dosis und Q_Teil,max			2,50 kg O3/h
gewählte Anlage			3,00 kg O3/h
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,d			23 kg O3/d
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,a			8.286 kg O3/a
<i>Sauerstoffbedarf</i>			
Bedarf bei max. Dosierung und Q_Teil,max			23 kg O2/h
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,d			212 kg O2/d
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,a			77.475 kg O2/a
<i>Energiebedarf</i>			
Bedarf bei max. Dosierung und Q_Teil,max			24 kWh/a
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,d			218 kWh/a
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,a			79.549 kWh/a

### Pumpen Kühlwasser Ozonerzeuger

<i>Vorgaben</i>			
Volumenstrom	Q_Treib		5 m <sup>3</sup> /h
Förderhöhe, abgeschätzt (incl. Verluste)	h_gesch		30 m
spez. Energiebedarf			7 Wh/(m <sup>3</sup> ·m)
Laufzeit, anteilig			24 h/d
<i>Bemessung</i>			
Energiebedarf			9.198 kWh/a

Eingabefelder

Berechnungsfelder

**Anlage 2:  
Investitionskosten  
Varianten 1 bis 4**

## Stadtwerke Ochtrup Kläranlage Ochtrup

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe

Projekt-Nr.: 485 004

### Zusammenstellung Investitionskosten

Pos.-Nr	Text		Variante 1 PAK m. Rücklaufk.	Variante 2 PAK-Dosierung	Variante 3 GAK-Filtration	Variante 4 Ozonung
1	Bautechnik	EUR	303.050,00	45.188,00	414.948,56	255.448,56
2	Maschinenteknik	EUR	552.530,46	404.160,00	416.861,60	611.970,00
3	EMSR-Technik	EUR	194.000,00	162.000,00	251.000,00	215.000,00
<b>Summe Herstellungskosten, netto</b>		<b>EUR</b>	<b>1.049.580,46</b>	<b>611.348,00</b>	<b>1.082.810,16</b>	<b>1.082.418,56</b>
Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)		EUR	209.916,09	122.269,60	216.562,03	216.483,71
<b>Summe Baukosten, netto</b>		<b>EUR</b>	<b>1.259.496,55</b>	<b>733.617,60</b>	<b>1.299.372,19</b>	<b>1.298.902,27</b>
Mehrwertsteuer		EUR	199.420,29	116.156,12	205.733,93	205.659,53
<b>Summe Baukosten, brutto</b>		<b>EUR</b>	<b>1.458.916,84</b>	<b>849.773,72</b>	<b>1.505.106,13</b>	<b>1.504.561,80</b>
<b>Anteil</b>			<b>172%</b>	<b>100%</b>	<b>177%</b>	<b>177%</b>

**Stadtwerke Ochtrup  
Kläranlage Ochtrup**

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe

Projekt-Nr.: 485 004

Variante: 1

PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle

Investitionskostenannahme

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
0	<b>Baustelleneinrichtung</b> (10 % Bautechnik) (5 % Maschinentechik)				27.550,00 €	25.930,02 €		53.480,02 €
1	<b>Abbruch besteh. PAK-/Ozonanlage</b> PAK: Silofundament O3/O2-Anlage Fundamente Rückbau O3-Anlage, Reaktionsbehälter, PAK-Silo	1,00 1,00	psch psch	2.500,00 € 1.300,00 €	2.500,00 € 1.300,00 €			3.800,00 €
				kostenneutral				
2	<b>Absetzbecken mit Schacht RLK</b> Absetzbecken mit Schacht RLK Schlosserarbeiten (Bediengang + Treppe) Räumer Schürze Königstuhl Ablaufrinne VA (b = 0,4 m)	1,00 1,00 1,00 1,00 45,87	psch psch St St m	165.000,00 € 25.000,00 € 50.000,00 € 12.000,00 € 750,00 €	165.000,00 € 25.000,00 €		50.000,00 € 12.000,00 € 34.400,44 €	286.400,44 €
3	<b>PAK-Silo 80 m³</b> Fundament Silo Silo mit Dosiereinrichtung Pumpe Treibwasser m. Verrohr Kompressor mit Lufttrocknung	1,00 1,00 1,00 1,00	psch St psch St	8.000,00 € 130.000,00 € 8.000,00 € 8.000,00 €	8.000,00 €		130.000,00 € 8.000,00 € 8.000,00 €	154.000,00 €
4	<b>Pulveraktivkohle (Erstbefüllung)</b> Aktivkohle	18,00	Mg	1.400,00 €			25.200,00 €	25.200,00 €
5	<b>Rohrtech. Installation</b> Rohrleitung VA incl. Formstücke Armaturen Antriebe Armaturen Anpassung RL PW Filtration	1,00 1,00 1,00 1,00	psch psch psch psch	18.000,00 € 16.000,00 € 8.000,00 € 8.000,00 €			18.000,00 € 16.000,00 € 8.000,00 € 8.000,00 €	50.000,00 €
6	<b>Flockungsmitteldosierung (Me-Salze)</b> Dosierpumpen mit Dosierleit. Ertüchtigung vorh. Tank + Abfüllplatz	1,00 1,00	psch psch	15.000,00 € 5.000,00 €			15.000,00 € 5.000,00 €	20.000,00 €
7	<b>Flockungshilfsmitteldosierung</b> Bereitungsanlage mit Dosierleitungen	1,00	psch	30.000,00 €			30.000,00 €	30.000,00 €
8	<b>Pumpen</b> Rücklaufkohlepumpe ÜS-Kohlepumpe mit Verrohrung	2,00 1,00	St St	13.000,00 € 9.000,00 €			26.000,00 € 9.000,00 €	35.000,00 €
9	<b>Rührwerke</b> Rührwerke Kontaktbehälter	2,00	St	8.000,00 €			16.000,00 €	16.000,00 €
10	<b>Erdverlegte Rohrleitungen</b> Zulauf. PE 100 SDR 17 355*21,1 Formstücke Rücklaufkohlel. PE 100 SDR 17 355*21,1 Formstücke Ablaufleitung PE 100 SDR 17 355*21,1 Formstücke Anbindung neue Ltg an Bestand. Ablauf. KB PE 100 SDR 17 450*26,7 Formstücke ÜS-Kohle KB PE 100 SDR 17 63*3,8 Formstücke Treibwasser PE 100 SDR 17 63*3,8 Formstücke Einbindung Rohrleitung (Bohrungen usw.)	15,00 1,00 8,00 1,00 33,00 1,00 1,00 18,00 1,00 50,00 1,00 30,00 1,00 1,00	m psch m psch m psch psch m psch m psch m psch psch	170,00 € 1.500,00 € 170,00 € 1.000,00 € 170,00 € 2.000,00 € 6.000,00 € 210,00 € 2.000,00 € 100,00 € 400,00 € 100,00 € 500,00 € 10.000,00 €	2.550,00 € 1.500,00 € 1.360,00 € 1.000,00 € 5.610,00 € 2.000,00 € 6.000,00 € 3.780,00 € 2.000,00 € 5.000,00 € 400,00 € 3.000,00 € 500,00 € 10.000,00 €			44.700,00 €

**Stadtwerke Ochtrup  
Kläranlage Ochtrup**

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe

Projekt-Nr.: 485 004

Variante: 1

PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle

Investitionskostenannahme

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
11	Kabelschächte/Leerrohre	1,00	psch	9.000,00 €	9.000,00 €			9.000,00 €
13	Tor Werkstatt Filtration	1,00	psch	9.000,00 €	9.000,00 €			9.000,00 €
14	Optimierung Flockungsfiltration Austausch Filtermaterial/Filterdüsen	1,00	psch	100.000,00 €		100.000,00 €		100.000,00 €
15	Inbetriebnahme/Dokumentation Dokumentation	1,00	psch	3.000,00 €	3.000,00 €			11.000,00 €
	Dokumentation/Inbetriebnahme	1,00	psch	8.000,00 €		8.000,00 €		
16	EMSR-Technik Pauschal (35 % der MT)	1,00	psch	194.000,00 €			194.000,00 €	194.000,00 €
<b>Summe Herstellungskosten, netto</b>					<b>303.050,00 €</b>	<b>552.530,46 €</b>	<b>194.000,00 €</b>	<b>1.049.580,46 €</b>
Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)				20%	<b>60.610,00 €</b>	<b>110.506,09 €</b>	<b>38.800,00 €</b>	209.916,09 €
<b>Summe Baukosten, netto</b>					<b>363.660,00 €</b>	<b>663.036,55 €</b>	<b>232.800,00 €</b>	<b>1.259.496,55 €</b>
Mehrwertsteuer				19%				199.420,29 €
<b>Summe Baukosten, brutto</b>								<b>1.458.916,84 €</b>

<b>Kapitalkosten</b>								
Nutzungsdauer Bautechnik in Jahren					40			
Nutzungsdauer Masch.-Technik in Jahren						20		
Nutzungsdauer EMSR-Technik in Jahren							10	
Zinssatz i					3%	3%	3%	
<b>Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (i;n)</b>								
Kapitalwiedergewinnungsfaktor Bautechnik					0,04326			
Kapitalwiedergewinnungsfaktor Masch.-Technik						0,06722		
Kapitalwiedergewinnungsfaktor EMSR-Technik							0,11723	
<b>Summe Kapitalkosten/a, netto</b>					<b>15.732,80 €</b>	<b>44.566,47 €</b>	<b>27.291,26 €</b>	<b>87.590,53 €</b>

<b>Wartung- und Instandhaltungskosten</b>								
1,0 %/a der Baukosten					3.636,60 €			
4,0 %/a der Kosten für technische Installationen						26.521,46 €		
2,0 %/a der Kosten für EMSR-Technik							4.656,00 €	
<b>Summe Wartungs-/Instandhaltungskosten/a, netto</b>					<b>3.636,60 €</b>	<b>26.521,46 €</b>	<b>4.656,00 €</b>	<b>34.814,06 €</b>

**Stadtwerke Ochtrup  
Kläranlage Ochtrup**

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe

Projekt-Nr.: 485 004

Variante: 2

PAK-Dosierung

Investitionskostenannahme

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
0	<b>Baustelleneinrichtung</b> (10 % Bautechnik) (5 % Maschinenteknik)				4.108,00 €	18.960,00 €		23.068,00 €
1	<b>Abbruch besteh. PAK-/Ozonanlage</b> PAK: Silofundament O3/O2-Anlage Fundamente Rückbau O3-Anlage, Reaktionsbehälter, PAK-Silo	1,00 1,00	psch psch	2.500,00 € 1.300,00 €	2.500,00 € 1.300,00 €			3.800,00 €
				kostenneutral				
2	<b>PAK-Silo 80 m³</b> Fundament Silo Silo mit Dosiereinrichtung Pumpe Treibwasser m. Verrohr Kompressor mit Lufttrocknung	1,00 1,00 1,00 1,00	psch St psch St	8.000,00 € 130.000,00 € 8.000,00 € 8.000,00 €	8.000,00 €	130.000,00 € 8.000,00 € 8.000,00 €		154.000,00 €
3	<b>Pulveraktivkohle (Erstbefüllung)</b> Aktivkohle	18,00	Mg	1.400,00 €		25.200,00 €		25.200,00 €
4	<b>Rohrtech. Installation</b> Rohrleitung incl. Formstücke Armaturen Antriebe Armaturen Anpassung RL PW Filtration Beschichtung vorh. RL	1,00 1,00 1,00 1,00 1,00	psch psch psch psch psch	10.000,00 € 8.000,00 € 8.000,00 € 8.000,00 € 8.000,00 €		10.000,00 € 8.000,00 € 8.000,00 € 8.000,00 € 8.000,00 €		42.000,00 €
5	<b>Flockungsmitteldosierung (Me-Salze)</b> Dosierpumpen mit Dosierleit. Ertüchtigung vorh. Tank + Abfüllplatz	1,00 1,00	psch psch	15.000,00 € 5.000,00 €		15.000,00 € 5.000,00 €		20.000,00 €
6	<b>Flockungshilfsmitteldosierung</b> Bereitungsanlage mit Dosierleitungen	1,00	psch	30.000,00 €		30.000,00 €		30.000,00 €
7	<b>Rührwerke</b> Rührwerke Kontaktbehälter	2,00	St	8.000,00 €		16.000,00 €		16.000,00 €
8	<b>Erdverlegte Rohrleitungen</b> Anbindung neue Ltg an Bestand. Verbindunl. KB PE 100 SDR 17 450*26,7 Formstücke Einbindung Rohrleitung (Bohrungen usw.)	1,00 18,00 1,00 1,00	psch m psch psch	4.000,00 € 210,00 € 2.000,00 € 5.000,00 €	4.000,00 € 3.780,00 € 2.000,00 € 5.000,00 €			14.780,00 €
9	<b>Kabelschächte/Leerrohre</b>	1,00	psch	5.000,00 €	5.000,00 €			5.000,00 €
10	<b>Strassen-/Wegebau/Aussenanlagen</b>	1,00	psch	8.000,00 €	8.000,00 €			8.000,00 €
11	<b>Optimierung Flockungsfiltration</b> Austausch Filtermaterial/Filterdüsen	1,00	psch	100.000,00 €		100.000,00 €		100.000,00 €
12	<b>Inbetriebnahme/Dokumentation</b> Dokumentation Dokumentation/Inbetriebnahme	1,00 1,00	psch psch	3.000,00 € 8.000,00 €	1.500,00 €	6.000,00 €		7.500,00 €
13	<b>EMSR-Technik</b> Pauschal (40 % der MT)	1,00	psch	162.000,00 €			162.000,00 €	162.000,00 €
	<b>Summe Herstellungskosten, netto</b>				<b>45.188,00 €</b>	<b>404.160,00 €</b>	<b>162.000,00 €</b>	<b>611.348,00 €</b>
	Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)			20%	9.037,60 €	80.832,00 €	32.400,00 €	122.269,60 €
	<b>Summe Baukosten, netto</b>				<b>54.225,60 €</b>	<b>484.992,00 €</b>	<b>194.400,00 €</b>	<b>733.617,60 €</b>
	Mehrwertsteuer			19%				116.156,12 €
	<b>Summe Baukosten, brutto</b>							<b>849.773,72 €</b>

<b>Kapitalkosten</b>								
Nutzungsdauer Bautechnik in Jahren					40			
Nutzungsdauer Masch.-Technik in Jahren						20		
Nutzungsdauer EMSR-Technik in Jahren							10	
Zinssatz i					3%	3%	3%	
<b>Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (i;n)</b>								
Kapitalwiedergewinnungsfaktor Bautechnik					0,04326			
Kapitalwiedergewinnungsfaktor Masch.-Technik						0,06722		
Kapitalwiedergewinnungsfaktor EMSR-Technik							0,11723	
<b>Zwischensumme Kapitalkosten/a, netto</b>					<b>2.345,93 €</b>	<b>32.599,08 €</b>	<b>22.789,61 €</b>	<b>57.734,62 €</b>

**Stadtwerke Ochtrup**  
**Kläranlage Ochtrup**

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe

Projekt-Nr.: 485 004

Variante: 2

PAK-Dosierung

Investitionskostenannahme

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
	<b>Wartung- und Instandhaltungskosten</b>							
	1,0 %/a der Baukosten				542,26 €			
	4,0 %/a der Kosten für technische Installationen					19.399,68 €		
	2,0 %/a der Kosten für EMSR-Technik						3.888,00 €	
	<b>Summe Wartungs-/Instandhaltungskosten/a, netto</b>				<b>542,26 €</b>	<b>19.399,68 €</b>	<b>3.888,00 €</b>	<b>23.829,94 €</b>

**Stadtwerke Ochtrup  
Kläranlage Ochtrup**

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe

Projekt-Nr.: 485 004

Variante: 3

Nachgeschaltete GAK-Filtration

Investitionskostenannahme

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
0	<b>Baustelleneinrichtung</b> (10 % Bautechnik) (5 % Maschinenteknik)				37.722,60 €	19.469,60 €		57.192,20 €
1	<b>Abbruch besteh. PAK-/Ozonanlage</b> PAK: Rührbeh./Silofundament O3/O2-Anlage Fundamente Rückbau O3-Anlage, Reaktionsbehälter, PAK-Silo	1,00 1,00	psch psch	14.185,97 € 1.300,00 €	14.185,97 € 1.300,00 €			15.485,97 €
				kostenneutral				
2	<b>Filtergebäude</b> Beton+Stahlhalle, incl. Wasserhaltung Filterboden mit Düsen	1,00 50,40	psch m²	300.000,00 € 900,00 €	300.000,00 €	45.360,00 €		345.360,00 €
3	<b>Filtermaterial (Erstbefüllung)</b> Aktivkohle Stüttschicht	48,00 14,40	Mg m³	1.250,00 € 280,00 €		60.000,00 € 4.032,00 €		64.032,00 €
4	<b>Rohrtech. Installation Filter</b> Rohrleitung VA incl. Formstücke Armaturen Antriebe Armaturen	1,00 1,00 1,00	psch psch psch	40.000,00 € 35.000,00 € 42.000,00 €		40.000,00 € 35.000,00 € 42.000,00 €		117.000,00 €
5	<b>Pumpen</b> Zulaufpumpen mit Verrohrung Spülwasserpumpe mit Verrohrung	2,00 1,00	St St	18.000,00 € 15.000,00 €		36.000,00 € 15.000,00 €		51.000,00 €
6	<b>Gebläse</b> Spülluftgebläse mit Verrohrung	1,00	St	12.000,00 €		12.000,00 €		12.000,00 €
7	<b>Erdverlegte Rohrleitungen</b> Zulaufleitung PE 100 SDR 17 355*21,1 Formstücke Filtratleitung PE 100 SDR 17 355*21,1 Formstücke Anbindung Filtratleitung an Ablaufg. SW-Leitung PE 100 SDR 17 450*26,7 Formstücke Einbindung Rohrleitung (Bohrungen usw.)	33,00 1,00 33,00 1,00 1,00 12,00 1,00 1,00	m psch m psch psch m psch psch	170,00 € 2.000,00 € 170,00 € 2.000,00 € 4.000,00 € 210,00 € 2.000,00 € 10.000,00 €	5.610,00 € 2.000,00 € 5.610,00 € 2.000,00 € 4.000,00 € 2.520,00 € 2.000,00 € 10.000,00 €			33.740,00 €
8	<b>Kabelschächte/Leerrohre</b>	1,00	psch	9.000,00 €	9.000,00 €			9.000,00 €
9	<b>Hausinstallation/Entwässerung</b>	1,00	psch	8.000,00 €	8.000,00 €			8.000,00 €
10	<b>Strassen-/Wegebau/Aussenanlagen</b>	1,00	psch	8.000,00 €	8.000,00 €			8.000,00 €
11	<b>Optimierung Flockungsfiltration</b> Austausch Filtermaterial/Filterdüsen	1,00	psch	100.000,00 €		100.000,00 €		100.000,00 €
12	<b>Inbetriebnahme/Dokumentation</b> Dokumentation Dokumentation/Inbetriebnahme	1,00 1,00	psch psch	3.000,00 € 8.000,00 €	3.000,00 €	8.000,00 €		11.000,00 €
13	<b>EMSR-Technik</b> Pauschal (60 % der MT)	1,00	psch	251.000,00 €			251.000,00 €	251.000,00 €
	<b>Summe Herstellungskosten, netto</b>				<b>414.948,56 €</b>	<b>416.861,60 €</b>	<b>251.000,00 €</b>	<b>1.082.810,16 €</b>
	Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)			20%	82.989,71 €	83.372,32 €	50.200,00 €	216.562,03 €
	<b>Summe Baukosten, netto</b>				<b>497.938,27 €</b>	<b>500.233,92 €</b>	<b>301.200,00 €</b>	<b>1.299.372,19 €</b>
	Mehrwertsteuer			19%				205.733,93 €
	<b>Summe Baukosten, brutto</b>							<b>1.505.106,13 €</b>

**Stadtwerke Ochtrup**  
**Kläranlage Ochtrup**

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe

Projekt-Nr.: 485 004

Variante: 3

Nachgeschaltete GAK-Filtration

Investitionskostenannahme

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
	<b>Kapitalkosten</b>							
	Nutzungsdauer Bautechnik in Jahren	40						
	Nutzungsdauer Masch.-Technik in Jahren					20		
	Nutzungsdauer EMSR-Technik in Jahren						10	
	Zinssatz i	3%				3%	3%	
	<b>Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (i;n)</b>							
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor Bautechnik	0,04326						
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor Masch.-Technik					0,06722		
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor EMSR-Technik						0,11723	
	<b>Zwischensumme Kapitalkosten/a, netto</b>				<b>21.541,99 €</b>	<b>33.623,58 €</b>	<b>35.309,83 €</b>	<b>90.475,40 €</b>
	<b>Wartung- und Instandhaltungskosten</b>							
	1,0 %/a der Baukosten	4.979,38 €						
	4,0 %/a der Kosten für technische Installationen					20.009,36 €		
	2,0 %/a der Kosten für EMSR-Technik						6.024,00 €	
	<b>Summe Wartungs-/Instandhaltungskosten/a, netto</b>	<b>4.979,38 €</b>			<b>4.979,38 €</b>	<b>20.009,36 €</b>	<b>6.024,00 €</b>	<b>31.012,74 €</b>



**Stadtwerke Ochtrup**  
**Kläranlage Ochtrup**

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe

Projekt-Nr.: 485 004

Variante: 4

Ozonung

Investitionskostenannahme

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
	<b>Kapitalkosten</b>							
	Nutzungsdauer Bautechnik in Jahren	40						
	Nutzungsdauer Masch.-Technik in Jahren					20		
	Nutzungsdauer EMSR-Technik in Jahren						10	
	Zinssatz i	3%			3%		3%	
	<b>Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (i;n)</b>							
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor Bautechnik	0,04326						
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor Masch.-Technik				0,06722			
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor EMSR-Technik						0,11723	
	<b>Zwischensumme Kapitalkosten/a, netto</b>				<b>13.261,57 €</b>	<b>49.360,80 €</b>	<b>30.245,47 €</b>	<b>92.867,84 €</b>
	<b>Wartung- und Instandhaltungskosten</b>							
	1,0 %/a der Baukosten	3.065,38 €						
	4,0 %/a der Kosten für technische Installationen				29.374,56 €			
	2,0 %/a der Kosten für EMSR-Technik						5.160,00 €	
	<b>Summe Wartungs-/Instandhaltungskosten/a, netto</b>	<b>3.065,38 €</b>			<b>29.374,56 €</b>	<b>5.160,00 €</b>		<b>37.599,94 €</b>

**Anlage 3:  
Betriebskosten  
Varianten 1 bis 4**

## Stadtwerke Ochtrup Kläranlage Ochtrup

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe

Projekt-Nr.: 485 004

### Zusammenstellung Betriebskosten

	Text		Variante 1 PAK m. Rücklaufk.	Variante 2 PAK-Dosierung	Variante 3 GAK-Filtration	Variante 4 Ozonung
B	Betriebsgebundene Kosten	EUR	60.814,06	47.829,94	51.012,74	57.599,94
C	Verbrauchsgebundene Kosten	EUR	31.603,91	48.135,82	65.912,75	31.954,68
	<b>Summe Betriebskosten, netto</b>	<b>EUR</b>	<b>92.417,97</b>	<b>95.965,76</b>	<b>116.925,49</b>	<b>89.554,63</b>
	Mehrwertsteuer: 19%	EUR	17.559,41	18.233,49	22.215,84	17.015,38
	<b>Summe Betriebskosten, brutto</b>	<b>EUR</b>	<b>109.977,39</b>	<b>114.199,25</b>	<b>139.141,33</b>	<b>106.570,01</b>
	<b>Anteil</b>		<b>103%</b>	<b>107%</b>	<b>131%</b>	<b>100%</b>

**Stadtwerke Ochtrup  
Kläranlage Ochtrup**

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe  
 Projektnummer: 485 004  
 Laufende Kosten Varianten

Pos.	Bezeichnung		Variante 1 PAK mit Rücklaufkohle	Variante 2 PAK	Variante 3 GAK- Filtration	Variante 4 Ozonung	
<b>A</b>	<b>Kapitalgebundene Kosten</b>	<b>EUR/a</b>	<b>87.590,53</b>	<b>57.734,62</b>	<b>90.475,40</b>	<b>92.867,84</b>	
<b>B</b>	<b>Betriebsgebundene Kosten</b>	<b>EUR/a</b>	<b>60.814,06</b>	<b>47.829,94</b>	<b>51.012,74</b>	<b>57.599,94</b>	
<b>1.0</b>	<b>Personalkosten</b>	<b>EUR/a</b>	<b>26.000,00</b>	<b>24.000,00</b>	<b>20.000,00</b>	<b>20.000,00</b>	
	Menge	MA/a	0,65	0,60	0,50	0,50	
	spez. Preis	EUR/MA	40.000,00	40.000,00	40.000,00	40.000,00	
			26.000,00	24.000,00	20.000,00	20.000,00	
<b>2.0</b>	<b>Wartungs- und Instandhaltungskosten</b>	<b>EUR/a</b>	<b>34.814,06</b>	<b>23.829,94</b>	<b>31.012,74</b>	<b>37.599,94</b>	
<b>C</b>	<b>Verbrauchsgebundene Kosten</b>	<b>EUR/a</b>	<b>31.603,91</b>	<b>48.135,82</b>	<b>65.912,75</b>	<b>31.954,68</b>	
<b>1.0</b>	<b>Energiekosten</b>	<b>EUR/a</b>	<b>9.175,14</b>	<b>9.353,26</b>	<b>6.724,20</b>	<b>14.910,20</b>	
	Menge	kWh/a	61.167,59	62.355,04	44.827,99	99.401,35	
	spez. Preis	EUR/kWh	0,15	0,15	0,15	0,15	
			9.175,14	9.353,26	6.724,20	14.910,20	
<b>2.0</b>	<b>Chemikalienkosten</b>	<b>EUR/a</b>	<b>17.401,43</b>	<b>33.145,59</b>	<b>59.188,55</b>	<b>17.044,48</b>	
<b>2.1</b>	PAK/GAK	Menge spez. Preis	Mg/a EUR/Mg	11,84 1.400	23,68 1.400	47,35 1.250	
				16.572,79	33.145,59	59.188,55	
	<i>Kontrollrechnung GAK</i>	<i>Menge</i> <i>spez. Preis</i>	<i>m³/a</i> <i>EUR/m³</i>			<i>118,38</i> <i>500</i>	
						<i>59.188,55</i>	
<b>2.2</b>	Fäll-/Flockungsmittel	Menge spez. Preis	Mg/a EUR/Mg	34,31 150	34,31 150		
				Einsparung Simultanfällung			
<b>2.3</b>	Flockungshilfsmittel	Menge spez. Preis	Mg/a EUR/Mg	0,24 3.500	0,00 3.500		
				828,64	0,00		
<b>2.4</b>	Sauerstoff (flüssig) inkl. Tankmiete	Menge spez. Preis	kg/a EUR/kg				77.475 0,22
							17.044,48
<b>3.0</b>	<b>Schlammverbrennungs-/Entsorgungskosten</b>		<b>5.027,34</b>	<b>5.636,98</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	
<b>3.1</b>	zusätzlicher Schlamm d. PAK (Verbrennung) <i>Annahmen:</i> <i>1 kg PAK = 1 kg TS</i> <i>1 kg Fe-Salz = 2,5 kg TS</i>	Menge spez. Preis	Mg/a EUR/Mg	97,62 51,5	109,46 51,5		
				5.027,34	5.636,98	0,00	0,00
	<b>Summe A: Kapitalgebundene Kosten</b>	<b>EUR/a</b>	<b>87.590,53</b>	<b>57.734,62</b>	<b>90.475,40</b>	<b>92.867,84</b>	
	<b>Summe B: Betriebsgebundene Kosten</b>	<b>EUR/a</b>	<b>60.814,06</b>	<b>47.829,94</b>	<b>51.012,74</b>	<b>57.599,94</b>	
	<b>Summe C: Verbrauchsgebundene Kosten</b>	<b>EUR/a</b>	<b>31.603,91</b>	<b>48.135,82</b>	<b>65.912,75</b>	<b>31.954,68</b>	
	<b>Gesamtsumme Jahreskosten, netto</b>	<b>EUR/a</b>	<b>180.008,50</b>	<b>153.700,38</b>	<b>207.400,89</b>	<b>182.422,47</b>	
	Mehrwertsteuer	19%	34.201,62	29.203,07	39.406,17	34.660,27	
	<b>Summe Jahreskosten, brutto</b>		<b>214.210,12</b>	<b>182.903,45</b>	<b>246.807,06</b>	<b>217.082,74</b>	

**Stadtwerke Ochtrup  
Kläranlage Ochtrup**

**Projekt:** Studie 4. Reinigungsstufe  
**Projektnummer:** 485 004  
**Energiebedarf Varianten**

Pos.	Bezeichnung		Variante 1 PAK mit Rücklaufkohle	Variante 2 PAK	Variante 3 GAK- Filtration	Variante 4 Ozonung
<b>1.0</b>	<b>Pumpen</b>	<b>kWh/a</b>	<b>32.157</b>	<b>27.029</b>	<b>38.765</b>	<b>13.933</b>
1.1	Beschickungspumpen	kWh/a	4.735	4.735	37.881	4.735
1.2	Rücklaufkohlepumpe	kWh/a	4.735			
1.3	Überschussskohlepumpe	kWh/a	393			
1.4	Dosierpumpen	kWh/a	5.431	5.431		
	Flockungsmittel (Me-Salze)	kW	0,1	0,1		
	Flockungshilfsmittel	kW	0,5	0,5		
	Laufzeit	h/d	24	24		
1.5	Spülwasserpumpe	kWh/a			442	
1.6	Schlammwasserpumpe	kWh/a			442	
1.7	Treibwasser für PAK-Dosierung	kWh/a	16.863	16.863		
1.8	Kühlwasser für Ozonerzeuger	kWh/a				9.198
<b>2.0</b>	<b>Gebälse</b>	<b>kWh/a</b>			<b>144</b>	
2.1	Spülluftgebläse	kWh/a			144	
<b>3.0</b>	<b>Räumer</b>	<b>kWh/a</b>	<b>3.241</b>			
3.1	Räumer Absetzbecken	kWh/a	3.241,2			
	Antrieb	kW	0,37			
	Laufzeit	h/d	24			
<b>4.0</b>	<b>Rührwerke</b>	<b>kWh/a</b>	<b>16.959</b>	<b>16.959</b>		
4.1	Rührwerke Kontaktbecken	kWh/a	16.959	16.959		
<b>5.0</b>	<b>Doiserggerät PAK</b>	<b>kWh/a</b>	<b>2.891</b>	<b>3.373</b>		
5.1	Antrieb Dosierschnecke	kWh/a	2.891	3.373		
	Antrieb	kW	0,55	0,55		
	Auslastung		60%	70%		
	Laufzeit	h/d	24	24		
<b>6.0</b>	<b>Ozonanlage</b>	<b>kWh/a</b>				<b>79.549</b>
6.1	Ozonerzeugung					
6.2	Restozonvernichtung					

**Stadtwerke Ochtrup  
Kläranlage Ochtrup**

**Projekt:** Studie 4. Reinigungsstufe  
**Projektnummer:** 485 004  
**Energiebedarf Varianten**

Pos.	Bezeichnung	Variante 1 PAK mit Rücklaufkohle	Variante 2 PAK	Variante 3 GAK- Filtration	Variante 4 Ozonung
<b>7.0</b>	<b>Energiebedarf zusätzl. Rückspülungen Filtration</b>		<b>9.075</b>		
7.1	Rückspülung Filtration kWh/a		9.075		
	Anzahl Filter		8		
	zusätzliche Rückspülung (RS) RS/d		1		
	Energiebedarf m. Schlammw.-Förderung kWh/RS		3,1		
<b>8.0</b>	<b>Messtechnik kWh/a</b>	<b>5.919</b>	<b>5.919</b>	<b>5.919</b>	<b>5.919</b>
	pauschal 0,005 kWh/m <sup>3</sup>	5.919	5.919	5.919	5.919
	<b>Summe 1: Pumpen kWh/a</b>	<b>32.157</b>	<b>27.029</b>	<b>38.765</b>	<b>13.933</b>
	<b>Summe 2: Gebläse kWh/a</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>144</b>	<b>0</b>
	<b>Summe 3: Räumler kWh/a</b>	<b>3.241</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	<b>Summe 4: Rührwerke kWh/a</b>	<b>16.959</b>	<b>16.959</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	<b>Summe 5: Dosiergerät PAK kWh/a</b>	<b>2.891</b>	<b>3.373</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	<b>Summe 6: Ozonanlage kWh/a</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>79.549</b>
	<b>Summe 7: Zusätz. Rückspül. Filter kWh/a</b>	<b>0</b>	<b>9.075</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	<b>Summe 8: Messtechnik kWh/a</b>	<b>5.919</b>	<b>5.919</b>	<b>5.919</b>	<b>5.919</b>
	<b>Gesamtsumme kWh/a</b>	<b>61.168</b>	<b>62.355</b>	<b>44.828</b>	<b>99.401</b>

## **Anlage 4: Jahreskosten**

**Stadtwerke Ochtrup  
Kläranlage Ochtrup**

**Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe**

**Projekt-Nr.: 485 004**

**Zusammenstellung Jahreskosten**

Pos.-Nr	Text		Variante 1 PAK m. Rücklaufk.	Variante 2 PAK-Dosierung	Variante 3 GAK-Filtration	Variante 4 Ozonung
A	Kapitalgebundene Kosten	EUR	87.590,53	57.734,62	90.475,40	92.867,84
B	Betriebsgebundene Kosten	EUR	60.814,06	47.829,94	51.012,74	57.599,94
C	Verbrauchsgebundene Kosten	EUR	31.603,91	48.135,82	65.912,75	31.954,68
<b>Summe Jahreskosten, netto</b>		<b>EUR</b>	<b>180.008,50</b>	<b>153.700,38</b>	<b>207.400,89</b>	<b>182.422,47</b>
Mehrwertsteuer: 19%		EUR	34.201,62	29.203,07	39.406,17	34.660,27
<b>Summe Jahreskosten, brutto</b>		<b>EUR</b>	<b>214.210,12</b>	<b>182.903,45</b>	<b>246.807,06</b>	<b>217.082,74</b>
<b>Anteil</b>			<b>117%</b>	<b>100%</b>	<b>135%</b>	<b>119%</b>