

# Kläranlage Südlohn

## 4. Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroschadstoffen

Machbarkeitsstudie  
November 2014 | 1. Ausfertigung  
Projektnummer 0563 036



# Kläranlage Südlohn

## 4. Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroschadstoffen

Machbarkeitsstudie  
November 2014 | 1. Ausfertigung  
Projektnummer 0563 036

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

Aufgestellt:  
Bochum, im November 2014  
bie-ka

Dipl.-Ing. Norbert Biebersdorf

## Gesamtinhaltsverzeichnis

### I Textteil

- Erläuterungsbericht
- Anlagen

### II Zeichnungen

Blatt	Titel	Maßstab	Verwaltungsnummer
1	Lageplan, Variante 1 PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle (VS)	1 : 250	030 007 01 00
2	Lageplan, Variante 2 PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle (VS)	1 : 250	030 007 02 00
3	Lageplan, Variante 3 Ozonung + Filter	1 : 250	030 007 03 00

**Auftraggeber:**

Gemeinde Südlohn  
Winterswyker Str. 1  
46354 Südlohn

Telefon: 02862 582-0  
Telefax: 02862 582-58  
gemeinde@suedlohn.de

**Projektleiter:**

Herr Dipl.-Ing. Michael Niehaus

Telefon: 02862 582-65  
michael.niehaus@suedlohn.de

**Bearbeitung durch:**

TUTTAHS & MEYER Ingenieurgesellschaft mbH  
Universitätsstraße 74  
44789 Bochum

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

Herr Dr.-Ing. Jan Mauriz Kaub

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

Herr Dipl.-Ing. Norbert Biebersdorf

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

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Veranlassung und Aufgabenstellung</b> .....	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Zugrunde liegende Unterlagen</b> .....	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Belastungsdaten Hydraulik</b> .....	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>Reinigungsanforderungen</b> .....	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>Anlagenbestand</b> .....	<b>11</b>
5.1	Mechanische Reinigungsstufe.....	12
5.2	Belebungsstufe.....	12
5.3	Nachklärung .....	13
5.4	Ablaufmengenmessung und Probenahmeschacht.....	14
<b>6</b>	<b>Spurenstoffe im Wasserkreislauf</b> .....	<b>14</b>
6.1	Einleitung.....	14
6.2	Charakterisierung des Verhaltens von anthropogenen Spurenstoffen.....	15
6.3	Screening im Ablauf der Kläranlage Südlohn.....	16
<b>7</b>	<b>Verfahren zur Elimination von Spurenstoffen</b> .....	<b>17</b>
7.1	Überblick .....	17
7.2	Adsorption .....	17
7.2.1	Grundlagen.....	17
7.2.2	Einsatz Aktivkohle in der Abwassertechnik zur Spurenstoffelimination.....	23
7.2.2.1	Pulveraktivkohle .....	23
7.3	Ozonung.....	25
7.3.1	Grundlagen.....	25
7.3.1.1	Einsatz und Wirkung von Ozon .....	25
7.3.1.2	Ozonanwendung .....	26
7.3.2	Einsatz von Ozon in der Abwassertechnik zur Spurenstoffelimination.....	27
<b>8</b>	<b>Darstellung der untersuchten Verfahrenskombinationen</b> .....	<b>29</b>
8.1	Beschickungsmenge .....	29
8.2	Verfahrensfestlegung .....	32
8.3	Randbedingungen .....	33
8.4	Varianten .....	33
8.4.1	Variante 1: PAK mit Rücklaufkohle (Teilstrom) .....	33

8.4.1.1	Allgemein.....	33
8.4.1.2	Ausführung .....	34
8.4.2	Variante 2: PAK mit Rücklaufkohle (Teilstrom) .....	37
8.4.2.1	Allgemeines .....	37
8.4.2.2	Ausführung .....	38
8.4.3	Variante 3: Ozonung mit nachgeschaltetem Sandfilter .....	40
8.4.3.1	Allgemeines .....	40
8.4.3.2	Ausführung .....	41
8.5	Ergebnisübersicht Varianten .....	44
<b>9</b>	<b>Kosten .....</b>	<b>46</b>
9.1	Allgemein.....	46
9.2	Investitionskosten .....	46
9.3	Betriebskosten.....	46
9.4	Jahreskosten .....	48
9.5	Sensitivitätsanalyse .....	49
<b>10</b>	<b>Bewertung.....</b>	<b>50</b>
<b>11</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>52</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>54</b>

**Bildverzeichnis**

Bild 1:	Volumenstrom Ablauf KA Südlohn.....	10
Bild 2:	Fließschema der ZKA Südlohn (Bestand).....	11
Bild 3:	Vergleich der Spurenstoffkonzentrationen in der Kläranlage Südlohn und in anderen Kläranlagen (Ablauf) .....	17
Bild 4:	Verfahren zur Spurenstoffelimination (Kompetenzzentrum Spurenstoffe BW 2013).....	18
Bild 5:	Grundbegriffe der Adsorption.....	18
Bild 6:	Teilschritte der Adsorption (Breitbach und Bathen, 2001) .....	19
Bild 7:	Isotherme Adsorption Phenol an Aktivkohle bei unterschiedlichen NaCl-Konzentrationen (Cooney 1998).....	20
Bild 8:	Adsorptionsverhalten zweier unterschiedlicher Stoffe im Festbettadsorber (DVGW W 239) .....	21
Bild 9:	Verlagerung der Adsorptionszone über die Filterlaufzeit (Sontheimer u. a., 1985) .	22
Bild 10:	Durchbruchskurve eines Adsorptivgemisches (Worch 2004, modifiziert) .....	22
Bild 11:	Schema Ozonerzeugung (Gujer 1999, modifiziert).....	26
Bild 12:	Ergebnisse Elimination Spurenstoffe ARA Regensdorf (Abegglen u. a. 2009).....	28
Bild 13:	Wirkungsgrade bei Vollstrombehandlung (Konzentration beispielhaft).....	29
Bild 14:	Wirkungsgrade bei Teilstrombehandlung (Konzentration beispielhaft).....	29
Bild 15:	Beispielhaft grafische Darstellung Wirkungsgrade bei Teilstrombehandlung .....	30
Bild 16:	Behandelte Abwassermenge in Abhängigkeit des Bemessungszuflusses der Verfahrensstufe zur Spurenstoffelimination .....	31
Bild 17:	Behandelte Abwassermenge in Abhängigkeit des Bemessungszuflusses der Verfahrensstufe zur Spurenstoffelimination .....	31
Bild 18:	Lageplan der Kläranlage mit Baufeld für die 4. Reinigungsstufe im Westen .....	33
Bild 19:	Blockschema Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle (Teilstrom) .....	34
Bild 20:	Schnitt eines Tuchfilters, Ausführungsbeispiel (Quelle: Mecana).....	36
Bild 21:	Lageplanausschnitt Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle.....	37

Bild 22:	Systemskizze Variante 2: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle (Vollstrom) .....	38
Bild 23:	Lageplanausschnitt Variante 2: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle (Vollstrom) .....	40
Bild 24:	Blockschema Variante 3: .....	41
Bild 25:	Lageplanausschnitt Variante 2: Ozonung mit nachgeschaltetem Schönungsteich..	42
Bild 26:	Dyna-Sandfilter: links: Prinzipdarstellung, rechts: Anordnung im Betonbecken (Quelle: Nordic-Water) .....	43
Bild 27:	Anteile kapital-, betriebs- und verbrauchsgebundene Kosten an den Jahreskosten der Varianten .....	49

## **Anlagen**

Anlage 1:	Auslegung Varianten 1 bis 3
Anlage 2:	Investitionskosten Varianten 1 bis 3
Anlage 3:	Betriebskosten Varianten 1 bis 3
Anlage 4:	Jahreskosten
Anlage 5:	Screening-Ergebnisse Kläranlage Südlohn (OWL Umweltanalytik GmbH)
Anlage 6:	Auswertung Screening Kläranlage Südlohn (OWL Umweltanalytik GmbH)



## 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 sind erste Anlagen umgerüstet und eine landesweite Einführung wird vorbereitet.

Nicht zuletzt lassen die Aktivitäten im Unterausschuss des Europäischen Parlaments mit der Aufnahme von erstmals drei Pharmaka-Wirkstoffen in die „Watch-Liste“ 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 Gemeinde Südlohn hat die TUTTAHS & MEYER Ing.-GmbH beauftragt, für die Zentralkläranlage Südlohn eine solche Studie auszuarbeiten.

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

Die Machbarkeitsstudie gliedert sich in folgende Punkte auf:

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

## 2 Zugrunde liegende Unterlagen

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

- 15-Min-Werte Ablaufmessung KA Südlohn, 01.01. bis 31.12.2013;

- Entwurf für das Zentralklärwerk der Gemeinde Südlohn, TUTTAHS & MEYER Ingenieurgesellschaft mbH, Bochum, März 1985 mit Entwurfsänderungsanzeigen aus den Jahren 1987 und 1988 sowie dem Ergänzungsentwurf vom November 1988
- Vorplanung zur Erweiterung der Zentralkläranlage Südlohn, August 2012, TUTTAHS & MEYER Ingenieurgesellschaft mbH, Bochum

### 3 Belastungsdaten Hydraulik

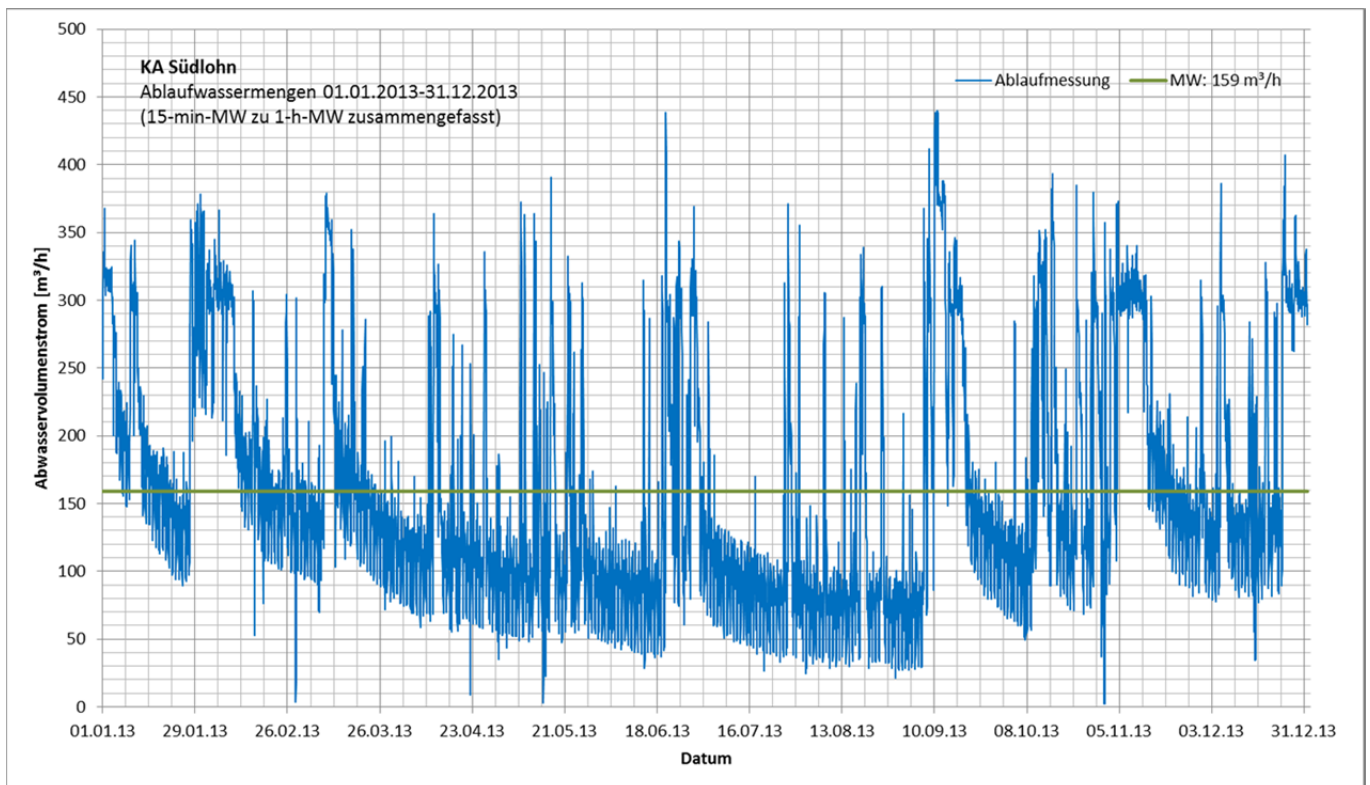
Die Bemessungswerte der Kläranlage Südlohn sind im Folgenden aufgeführt:

Trockenwetterzufluss	$Q_{T,2h,max}$	=	205 m <sup>3</sup> /h	≈	57 l/s
Mischwasserabfluss	$Q_M$	=	410 m <sup>3</sup> /h	≈	114 l/s

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

**Bild 1** stellt die Ganglinie der Abwassermengen im Ablauf der Anlage (MID) als Stundenwerte für den Zeitraum Dezember 2012 bis Dezember 2013 dar. Die Stundenwerte wurden aus 15-min-Werten generiert.

Die mittlere Ablaufmenge betrug 159 m<sup>3</sup>/h. An 100 h innerhalb des Betrachtungszeitraumes lag die Abflussmenge oberhalb von 370 m<sup>3</sup>/h.



**Bild 1: Volumenstrom Ablauf KA Südlohn**

### 4 Reinigungsanforderungen

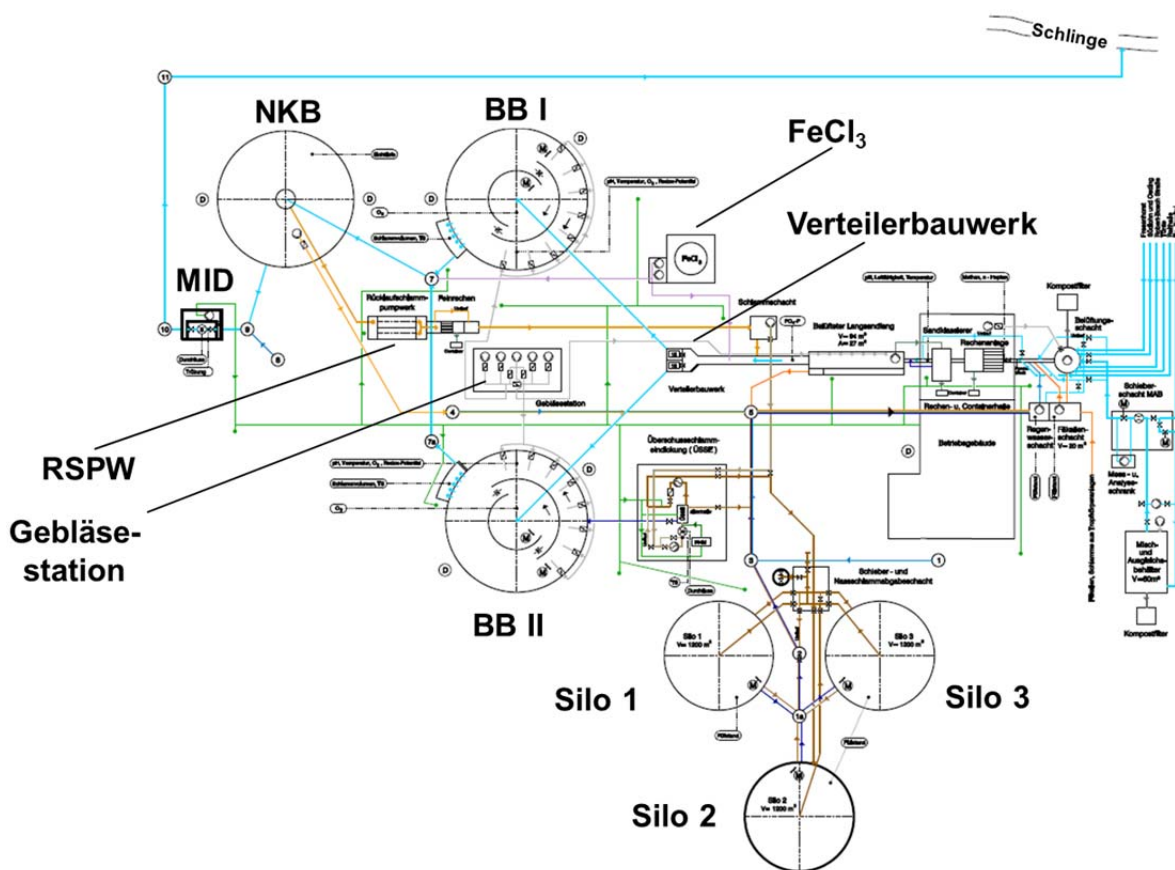
Zurzeit gilt der Erlaubnisbescheid vom 22.06.2014. Danach sind folgende Überwachungswerte einzuhalten:

Parameter	Konzentration [mg/l]
CSB	56
BSB <sub>5</sub>	10
NH <sub>4</sub> -N	5 <sup>1</sup>
N <sub>ges</sub>	16 <sup>1</sup>
P <sub>ges</sub>	1

<sup>1</sup> Der Überwachungswert gilt bei einer Abwassertemperatur größer 12 °C.

### 5 Anlagenbestand

Die bestehende Anlage ist schematisch im **Bild 3** dargestellt und wird nachfolgend näher beschrieben.



**Bild 2: Fließschema der ZKA Südlohn (Bestand)**

## 5.1 Mechanische Reinigungsstufe

### Feinrechen

FSM Frankenberger GmbH & Co. KG

Typ: Lochbandrechen

Lochweite: 6 mm

### Sandfang mit Sandklassierer und Sandsammelcontainer

Windhoff AG

Typ: Belüfteter Langsandfang

Oberfläche: 27 m<sup>2</sup>

Volumen: 94 m<sup>3</sup>

## 5.2 Belebungsstufe

### 2 Rundbecken zur aeroben Schlammstabilisierung mit vorgeschaltetem Denitrifikationsteil

$$V = 2 \cdot 2.200 = 4.400 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Deni}} / V_{\text{ges}} = 0,28$$

$$V_{\text{Deni}} = 0,28 \cdot 2.200 = 616 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Nitri}} = 0,72 \cdot 2.200 = 1.584 \text{ m}^3$$

$$t \sim 4,30 \text{ m}$$

Der Zufluss zu den Belebungsbecken erfolgt vom Verteilerbauwerk aus im freien Gefälle über das Mittelbauwerk in den Denitrifikationsteil.

Die Rezirkulation wird betrieben durch zwei Beschleuniger in den beiden Beckenteilen und gesteuert über die installierten Schlitzkappen. Im derzeitigen Betrieb sind die Schlitzkappen vollständig geöffnet, sodass sich Beckeninnen- und –außenteil maximal miteinander vermischen. Das jetzige Verfahren zur Denitrifikation kann als **intermittierende Denitrifikation** aufgefasst werden. Die Fuzzy-Regelung betreibt dazu die Belüftung in der äußeren Zone mit variablen Taktzeiten.

#### 1 Unterwasserbeschleuniger (Nitrifikationszone)

ITT Flygt Pumpen GmbH

Typ: Banana 4430-010-0735

Motorleistung: 4,3 kW

Umdrehungen: 35 1/min

#### 1 Unterwasserbeschleuniger (Denitrifikationszone)

ITT Flygt Pumpen GmbH

Typ: 4410.011-1418

Motorleistung: 0,9 kW

Umdrehungen: 18 1/min

Die Regelung und Steuerung der Gebläse erfolgt über ein Fuzzy-Logic-Regelsystem (AQUALOGIC-Regelsystem, Installation 2005). Gemäß Veröffentlichung des Büros Lodde Kläranlagenoptimierung konnte der Ablaufwert für Gesamtstickstoff durch die Installation des Regelsystems um mehr als die Hälfte gesenkt werden. Druckluft wird durch vier Gebläse erzeugt und über eine feinblasige Druckbelüftung an der Beckensohle eingetragen.

#### 4 Gebläse

RKR Gebläse und Verdichter GmbH

Aufstellung: 1988  
 Typ: K 60 R  
 zweistufig, polumschaltbar

maximaler Gebläsedruck: 0,5 bar

Gebläseleistung: 7,5/12,4 Nm<sup>3</sup>/min

Zwei Gebläse verfügen über eine Drehzahlregelung mittels Frequenzumformer.

#### Rohrbelüfter

Thoreka GmbH & Co. KG

Installation: 2009  
 Typ: Rohrbelüfter 750 mm mit Silikon Belüfterschlauch  
 BB I: 200,5 lfd. M.  
 BB II: 213,5 lfd. M.

**Fällmittelstation** mit doppelwandigem Kunststoffbehälter ( $V = 20 \text{ m}^3$ , Firma Formoplast) und FU-gesteuerten Membrandosierpumpen (Firma Jesco), Phosphatmessung (Firma WTW).

Fällmittel wird über eine Fällmittelstation zugegeben. Einschaltimpuls für die Fällmittelpumpe sind Stellwerte der Phosphatkonzentration im Zulauf.

### 5.3 Nachklärung

Die Nachklärung besteht aus einem horizontal durchströmten Rundbecken mit geneigter Beckensohle und Schildräumung.

#### 1 Rundbecken

Durchmesser:	D	=	24,0 m
Oberfläche:	A	=	440 m <sup>2</sup>
Randtiefe:	$t_R$	=	3,2 m
mittlere Tiefe:	$t_{2/3}$	=	3,53 m
Volumen:	V	=	3,53 · 440
		=	1.552 m <sup>3</sup>

Das Rücklaufschlammumpwerk ist ausgestattet mit zwei Förderschnecken, die den im freien Gefälle zufließenden Schlamm aus der Nachklärung um eine Höhendifferenz von rd. 1,3 m heben.

## 2 Rücklaufschlammschnecken

Spaans Babcock bv

Antrieb:	zweistufig, polumschaltbar
Typ:	CN 18796
Förderleistung:	28,42 / 56,50 l/s

## ÜS-Tauchmotorpumpe

ITT Flygt Pumpen GmbH

Typ:	9565
Förderleistung:	5,6 l/s

## Überschussschlammeindickung

Stutzenberger

Typ:	ST 1.5
Q <sub>zu</sub> :	4...14 m <sup>3</sup> /h
TS-Gehalt im Zulauf:	ca. 0,8 %
TS-Gehalt im Austrag:	> 6 %
Feststoffdurchsatz:	bis ca. 110 kg/h
Betriebsdauer:	7...24 h/d
Tagesleistung:	ca. 2.000 kg TS/d

## 5.4 Ablaufmengenmessung und Probenahmeschacht

Der Ablauf der Nachklärung wird in den Probenahmeschacht geführt. Über ein eingestautes MID wird hier der Anlagendurchfluss gemessen. Im freien Gefälle fließt das gereinigte Abwasser dem Vorfluter Schlinge zu.

## 6 Spurenstoffe im Wasserkreislauf

### 6.1 Einleitung

Mit Spurenstoffe werden Substanzen bezeichnet, die im Konzentrationsbereich von 10<sup>-9</sup> (ng/l) bis 10<sup>-6</sup> g/l (µg/l) in der aquatischen Umwelt zu finden sind.

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

Andere Bezeichnungen für die genannten Substanzen sind z. B. Mikroverunreinigungen und Mikroschadstoffe.

Die human- und ökotoxikologische Wirkung eines Teils dieser Stoffe ist abschließend geklärt. Hierzu werden gegenwärtig Untersuchungen durchgeführt. Eine direkte Gefährdung für den Menschen 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.

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 zwi-

schen festen, flüssigen und gasförmigen Phasen verstanden, die zu einer Anreicherung eines Stoffes führen. Bei der Absorption erfolgt die Anreicherung des Stoffes innerhalb der Phase, wie z. B. bei der Lösung von Gasen in Flüssigkeiten.

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

### 6.3 Screening im Ablauf der Kläranlage Südlohn

Die Untersuchung von Wasserproben auf ausgewählte Spurenstoffe wurde in Abstimmung mit der Bezirksregierung Münster von der OWL Umweltanalytik GmbH durchgeführt. Es wurde an drei unterschiedlichen Wochentagen eine mengenproportionale 72-Stunden-Mischprobe analysiert (**Anlage 5**). Seitens OWL wurde eine Auswertung vorgenommen, die als **Anlage 6** beiliegt. Die Ergebnisse des Screening sind in **Tabelle 1** aufgeführt.

**Tabelle 1: Untersuchungsbefund Ablauf Kläranlage Südlohn**

Bezeichnung	Parameter	Einheit	72h-Mischprobe vom 04.03. bis 07.03.2014	Orientierungswert nach "D4-Liste"	Anmerkung
a	Bezafibrat	µg/l	0,290	0,100	
b	Diclofenac	µg/l	2,600	0,100	
c	Naproxen	µg/l	0,081	0,100	
d	Phenazon	µg/l	0,130	0,110	
e	Carbamazepin	µg/l	0,340	0,500	
f	Atenolol	µg/l	0,110	0,100	
g	Bisoprolol	µg/l	0,290	0,100	
h	Metoprolol	µg/l	1,300	7,300	
i	Sotalol	µg/l	0,340	0,100	
j	Clarithromycin	µg/l	0,220	0,020	
k	Sulfamethoxazol	µg/l	0,280	0,150	
l	Oxazepam	µg/l	0,059	0,100	
m	Amidotrizesäure	µg/l	0,810	0,100	
n	Iomeprol	µg/l	<0,05	0,100	
o	Iopamidol	µg/l	7,900	0,100	
p	Iopromid	µg/l	0,780	0,100	
r	Diuron	µg/l	<0,05	0,200	
s	Isoproturon	µg/l	<0,05	0,300	
t	Terbutryn	µg/l	<0,05	0,065	
u	Benzotriazol	µg/l	3,200	10,000	
v	17-alpha-Ethinylestradiol	ng/l	<5	0,040	unterhalb Bestimmungsgrenze
w	17-beta-Estradiol	ng/l	<5	0,400	unterhalb Bestimmungsgrenze
x	Estron	ng/l	<5		unterhalb Bestimmungsgrenze

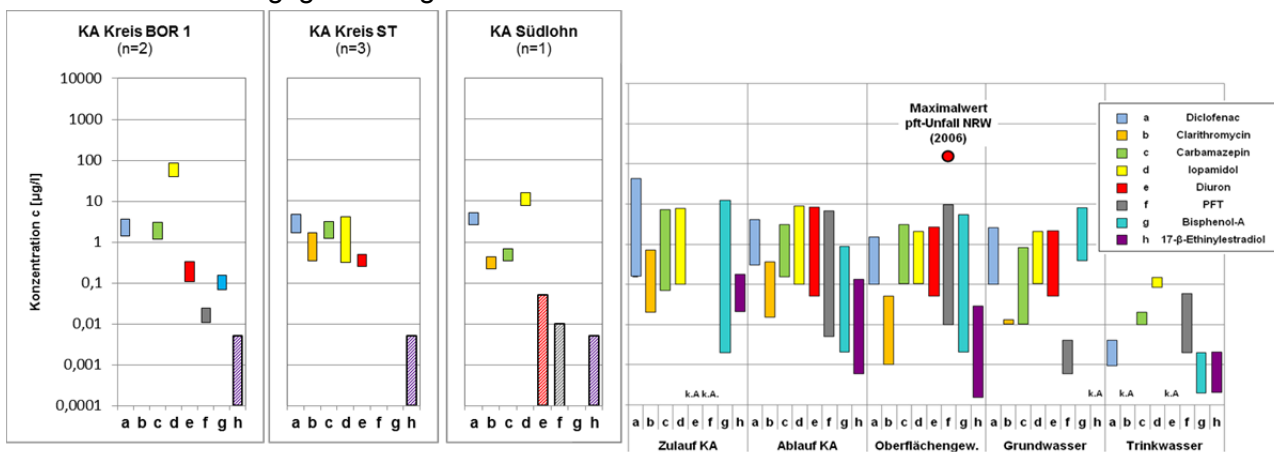
Farbe	Beurteilung	Kriterium
sehr gut	sehr gut	MW<=0,1*OW
gut	gut	0,1<MW<=OW
mäßig	mäßig	OW<MW<=2*OW
unbefriedigend	unbefriedigend	2*OW<MW<=10*OW
schlecht	schlecht	MW>10*OW
keine Aussage	keine Aussage	unter BG

BG Bestimmungsgrenze  
 OW Orientierungswert  
 MW Messwert



Die Orientierungswerte wurden der sogenannten „D4-Liste“ (www.flussgebiete.nrw.de, Stand: April 2014) entnommen. Bei den Parametern Diclofenac, Clarithromycin sowie dem Röntgenkontrastmittel Iopamidol wurde der Orientierungswert um mehr als das zehnfache überschritten. Die genannten Orientierungswerte sind nicht mit einer gesetzlichen Regelung gleichzusetzen.

**Bild 2** zeigt ein Diagramm mit den gemessenen Spurenstoffkonzentrationen auf der KA Südlohn im Vergleich zu anderen Kläranlagen und den entsprechenden Literaturwerten. Es lässt sich gut erkennen, dass beispielsweise die Diclofenac-, Clarithromycin- und Carbamazepin-Konzentrationen im Ablauf im Vergleich zu anderen Kläranlagen auf einem ähnlichen Niveau liegen. Die Konzentration des Röntgenkontrastmittels Iopamidol ist im Ablauf der Kläranlage Südlohn des Wertebereiches für Kläranlagenabläufe nach den Literaturwerten, jedoch unterhalb von Messungen einer anderen Kläranlage im Kreis Borken. Bei den schraffierten Balken handelt es sich um Konzentrationen die unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen.



**Bild 3: Vergleich der Spurenstoffkonzentrationen in der Kläranlage Südlohn und in anderen Kläranlagen (Ablauf)**

## 7 Verfahren zur Elimination von Spurenstoffen

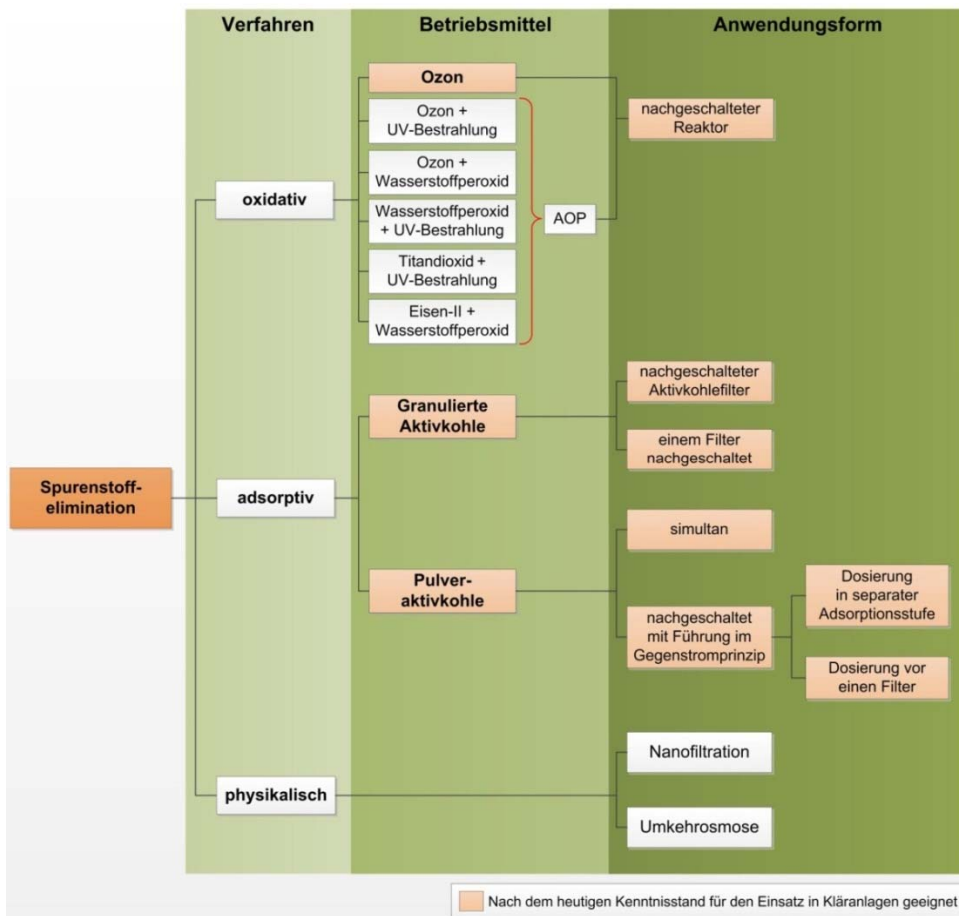
### 7.1 Überblick

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

### 7.2 Adsorption

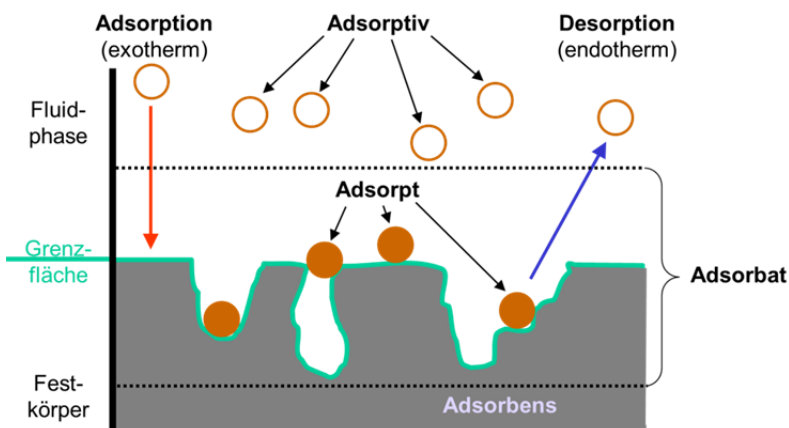
#### 7.2.1 Grundlagen

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



**Bild 4: Verfahren zur Spurenstoffelimination (Kompetenzzentrum Spurenstoffe BW 2013)**

Die adsorptionsaktive Phase, an der die Anreicherung erfolgt, wird als Adsorbens bezeichnet. An dieser lagern sich das Adsorptiv, also die Teilchen des zu adsorbierenden Stoffes an. Desorption bezeichnet die Remobilisierung bereits fixierter Teilchen. Im **Bild 4** sind schematisch die Zusammenhänge dargestellt.

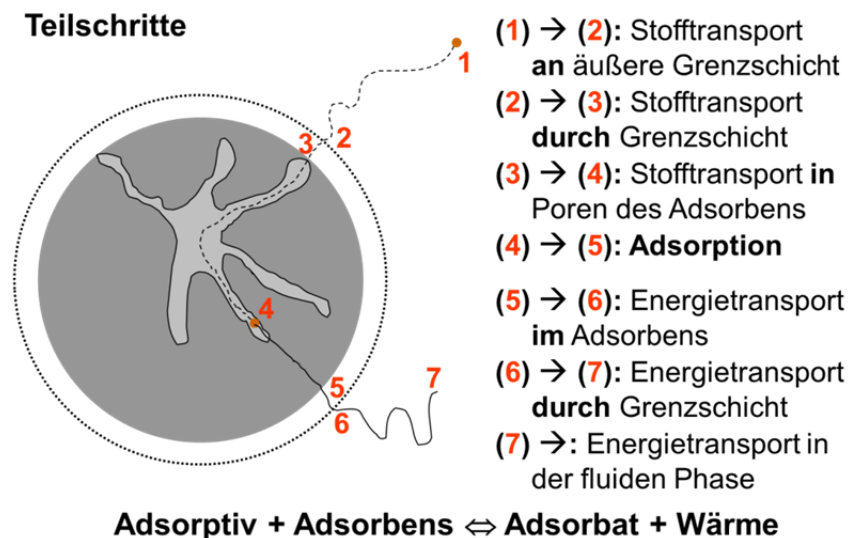


**Bild 5: Grundbegriffe der Adsorption**

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

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

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



**Bild 6: Teilschritte der Adsorption (Breitbach und Bathen, 2001)**

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

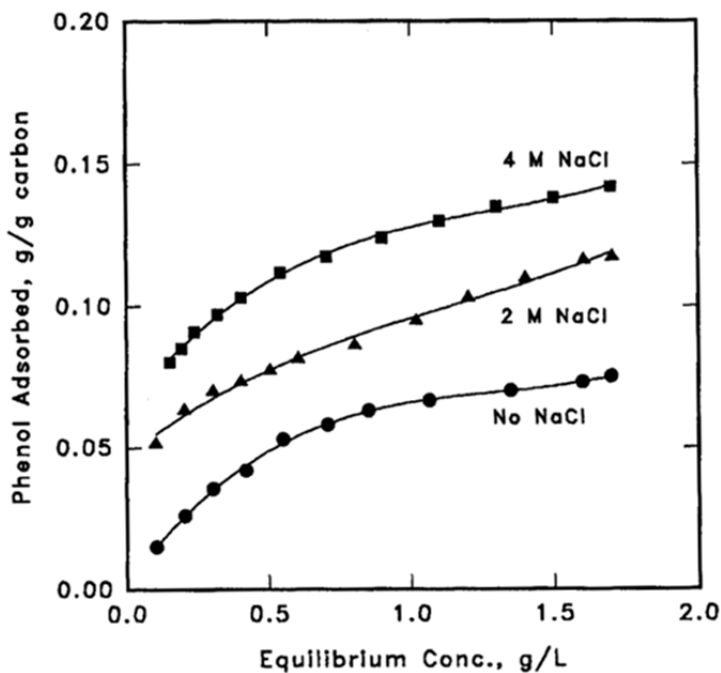
- Steigende Unpolarität/Hydrophilität erhöht die Adsorbierbarkeit
- Funktionelle Gruppen
  - Hydroxyl-Gruppen (R-OH) senken die Adsorbierbarkeit
  - Amino-Gruppen (R-NH<sub>2</sub>) senken die Adsorbierbarkeit sehr stark
  - Sulfonsäure-Gruppen (R-SO<sub>3</sub>H) senken meistens die Adsorbierbarkeit
  - Nitro-Gruppen (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 zu einer höheren Beladung des Adsorbens (Aktivkohle). In der nachfolgenden Grafik, **Bild 7**, 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 7: Isotherme Adsorption Phenol an Aktivkohle bei unterschiedlichen NaCl-Konzentrationen (Cooney 1998)**

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

Zur Entfernung organischer Spurenstoffe wird in der Wassertechnik Aktivkohle eingesetzt, die aus Holz, Kohlen und ähnlichen Stoffen durch Aktivierung bei hohen Temperaturen und Luftabschluss, zum Teil unter Einsatz von Säuren (chemische Aktivierung), hergestellt werden. Durch die Aktivierung erhalten die Kohlen eine innere Oberfläche von  $800 \dots 1.200 \text{ m}^2/\text{g} \approx 1 \text{ km}^2/\text{kg}$ , an der die Adsorption erfolgt. Die äußere Oberfläche wird durch den Partikeldurchmesser bestimmt.

Hinsichtlich der Korngröße werden die Kohlen in zwei Gruppen eingeteilt:

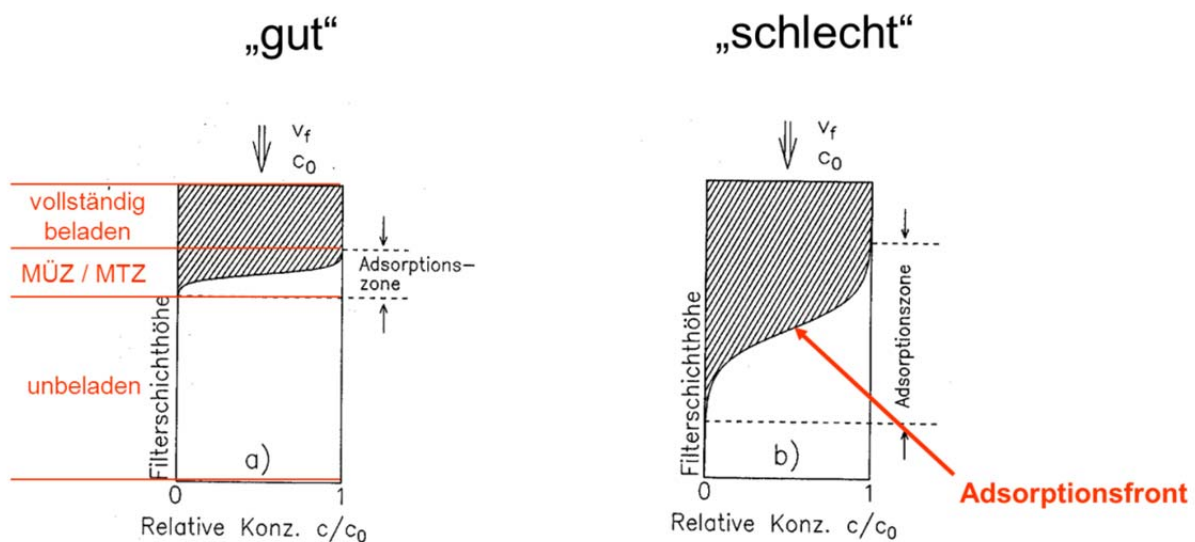
- Pulverkohlen (PAC = powdered activated carbon) weisen einen Durchmesser von weniger als 0,05 mm auf;
- Kornkohlen (GAC = granulated activated carbon) liegen im Durchmesser zwischen 0,5 und 4 mm.

Des Weiteren wird noch Formkohle angeboten. Diese weist eine zylindrische Form auf und liegt im gleichen Größenbereich wie die Kornkohlen.

Die beiden beschriebenen Kohlenarten werden in verschiedenen Reaktortypen eingesetzt – die Pulverkohle in einem Rührreaktor und die Kornkohle in einem Festbettreaktor (Filter).

Dadurch ergibt sich eine andere Kinetik. Beim Rührreaktor stellt sich eine Gleichgewichtsbeladung zwischen der Konzentration des Adsorptivs im Fluid und am Adsorbens ein. Über die Zeit nähert sich diese der maximalen Gleichgewichtsbeladung an.

Beim Einsatz der Kornkohle im Filter erfolgt die Adsorption über die Betttiefe in der sogenannten Adsorptionszone. Im **Bild 8** ist dies für zwei unterschiedlich adsorbierbare Stoffe dargestellt.



MÜZ = Massenübergangszone

MTZ = Mass Transfer Zone

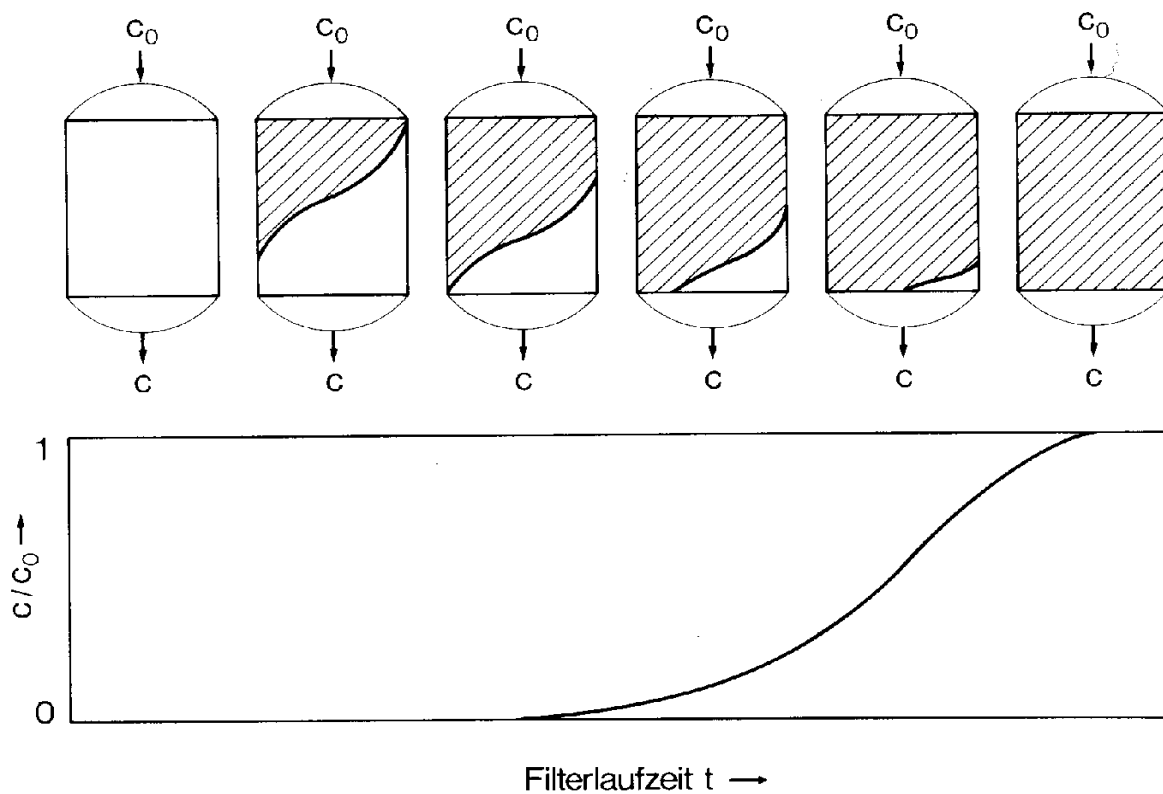
**Bild 8: Adsorptionsverhalten zweier unterschiedlicher Stoffe im Festbettadsorber (DVGW W 239)**

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

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

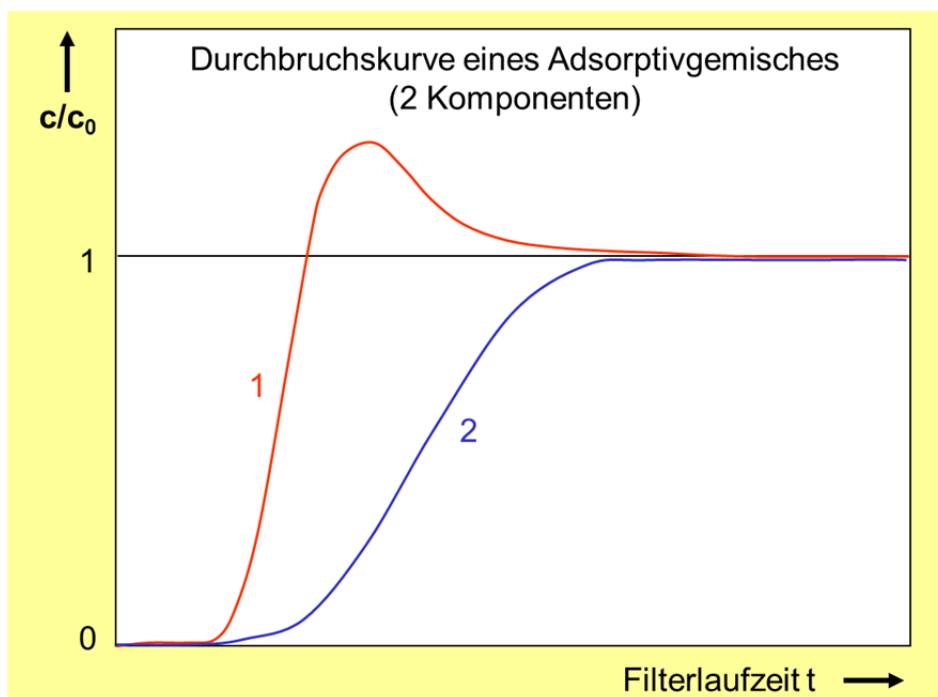
Bei der Adsorption von Mehrstoffgemischen konkurrieren, wie erwähnt, verschiedene Adsorptive um die Adsorptionsplätze auf dem Adsorbens. Dies kann dazu führen, dass ein schlecht adsorbierbarer Stoff, der rasch im Filterbett die Adsorptionsplätze belegt hat, von einem guten adsorbierbaren Stoff verdrängt wird.

Infolgedessen kann die Konzentration des schlecht adsorbierbaren Stoffes im Ablauf des Filters größer sein als die Zulaufkonzentration. Im **Bild 9** ist der Zusammenhang dargestellt. Dieses Verhalten wird „Chromatografie-Effekt“ genannt.



**Bild 9: Verlagerung der Adsorptionszone über die Filterlaufzeit (Sontheimer u. a., 1985)**

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



**Bild 10: Durchbruchskurve eines Adsorptivgemisches (Worch 2004, modifiziert)**

## 7.2.2 Einsatz von Aktivkohle in der Abwassertechnik zur Spurenstoffelimination

### 7.2.2.1 Pulveraktivkohle

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

#### 1. Pulveraktivkohle in den Filterüberstau

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

Dieses Verfahren wurde von Meyer (2008) vorgeschlagen. Auf dem Klärwerk Wuppertal-Buchenhofen wurde für einen großtechnischen Versuch eine Filterkammer ( $A = 60 \text{ m}^2$ ) umgerüstet. Innerhalb eines Forschungsprojektes wurde der Betrieb dieser Kammer mit Pulveraktivkohledosierung über 1,5 a begleitet.

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

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

#### 2. Pulveraktivkohle mit Rückführung

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

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

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

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

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

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



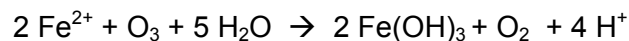
## 7.3 Ozonung

### 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  $\text{OH}$ -Radikale reagieren sehr schnell, jedoch auch sehr unspezifisch. Zudem können sie durch sogenannte Radikalfänger (Scavenger) reduziert werden. Als Fänger können Karbonationen (Härtebildner), Huminstoffe aber auch Ortho-Phosphat wirken. Die Radikale reagieren jedoch auch mit Wasserinhaltsstoffen, die allein mit dem Ozon nicht reagiert hätten.

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

Insgesamt oxidiert Ozon die meisten organischen Wasserinhaltsstoffe nicht bis zum  $\text{CO}_2$ , sondern bewirkt eine Teiloxidation. Die Molekülgröße der Stoffe wird verringert. Ozon wirkt weiterhin bevorzugt auf Doppelbindungen in den Molekülen.

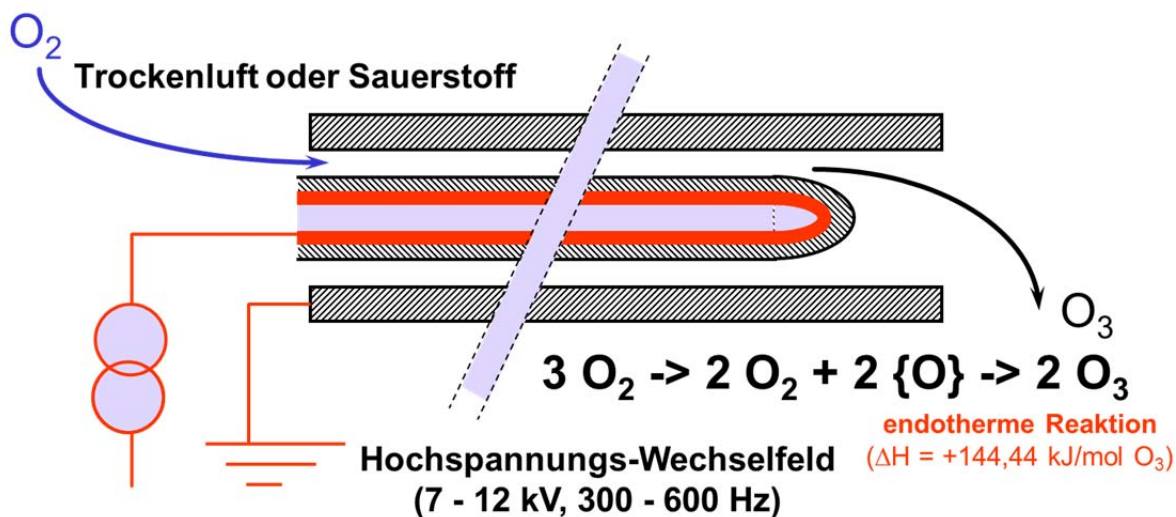
Dies bedeutet, dass durch die Ozonbehandlung Zwischenprodukte gebildet werden, die beispielsweise wieder biologisch verfügbar sind. Der Ozonbehandlung in der Trinkwasseraufbereitung wird zumeist standardmäßig eine biologisch arbeitende Stufe nachgeschaltet (z. B. biologisch aktivierter Aktivkohlefilter), um die neu gebildeten Stoffe abbauen 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 11: 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 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. Einbauten in den Behältern, mit Ausnahme einer Tauchwand im Abflussbereich, ergeben keine Verbesserungen (Herbst u. a., 2011). Der Ablauf aus dem Behälter wird, wie schon erwähnt, der Restozonbehandlung zugeführt.

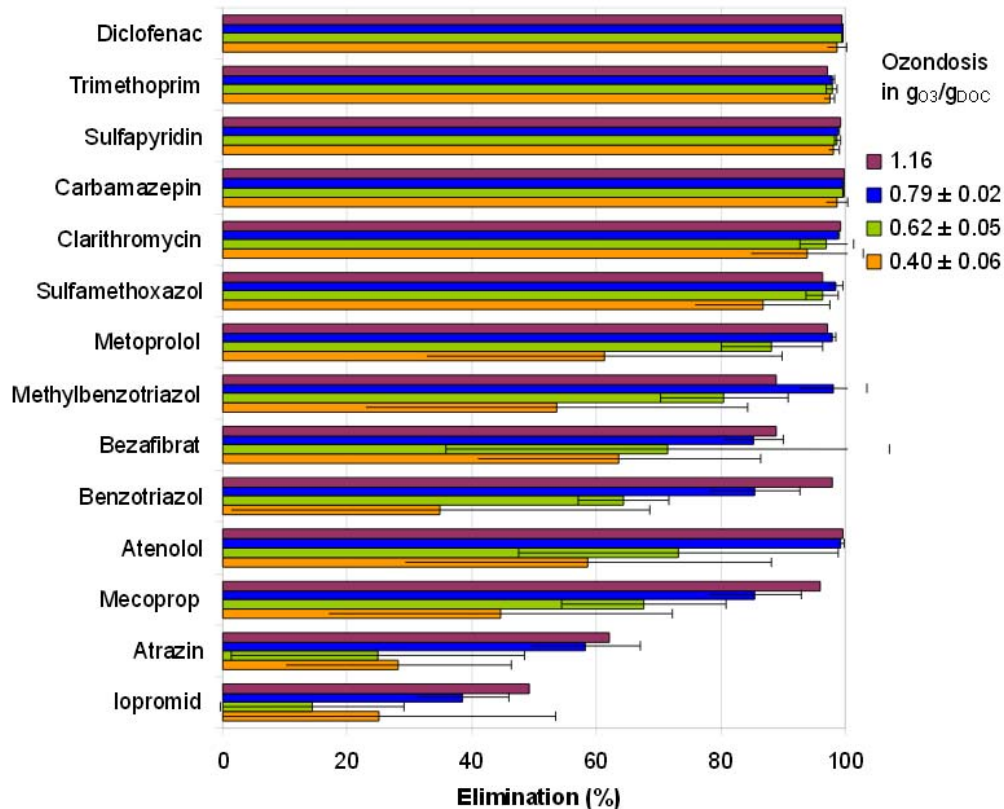
### 7.3.2 Einsatz von Ozon in der Abwassertechnik zur Spurenstoffelimination

Zum Einsatz von Ozon in der 4. Reinigungsstufe gibt es verschiedene Untersuchungen auch im großtechnischen Maßstab.

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

Auf der Kläranlage Regensdorf (30.000 EW) in der Schweiz wurden im technischen Maßstab Untersuchungen durchgeführt (Abegglen u. a. 2009). Der Ablauf aus der Nachklärung der Anlage wurde mit Ozon behandelt. Dem Ozon nachgeschaltet war die (bestehende) Filtrationsanlage. Der DOC im Ablauf der Nachklärung lag mit ca. 5 mg/l auf einem niedrigen Niveau. In der Grafik, **Bild 12**, sind die erzielten Eliminationsgrade dargestellt.

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



**Bild 12: Ergebnisse Elimination Spurenstoffe ARA Regensburg (Abegglen u. a. 2009)**

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

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

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

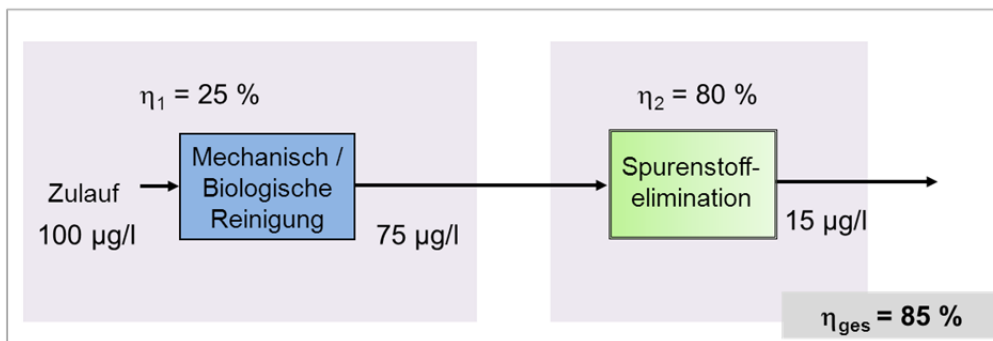
## 8 Darstellung der untersuchten Verfahrenskombinationen

### 8.1 Beschickungsmenge

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

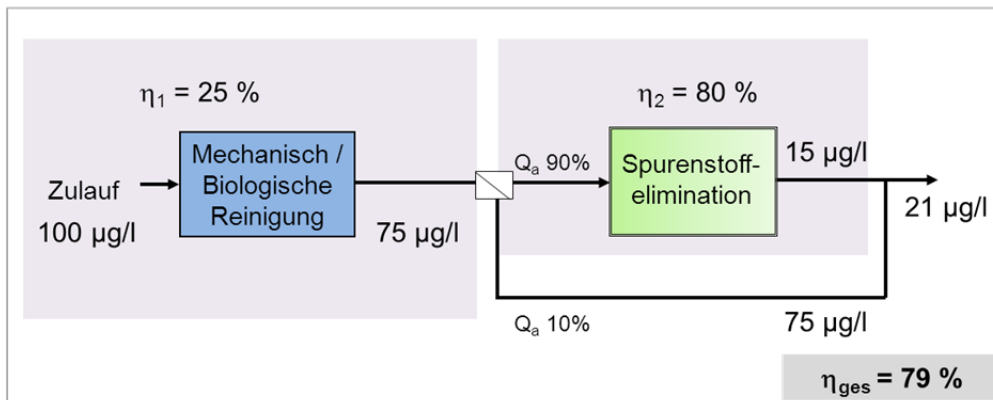
Im Folgenden wird dies am Beispiel des Arzneimittels Diclofenac dargestellt. Für diesen Stoff kann in der bestehenden mechanisch/biologischen Reinigungsstufe ein Eliminationsgrad von 25 % angesetzt werden (**Siegrist 2013, Bsp. Diclofenac**). In der weitergehenden Abwasserreinigung wird von einer zusätzlichen Eliminationsrate von 80 % in dieser Reinigungsstufe ausgegangen. Unter diesen Rahmenbedingungen kann bei einer Vollstrombehandlung ein Gesamtwirkungsgrad von 85 % erreicht werden. Bei einer Teilstrombehandlung von 90 % der gesamten Abwassermenge können Eliminationsarten von 79 % erzielt werden. Schematische Darstellungen dazu siehe **Bild 13** und **Bild 14**. Stellt man den Zusammenhang zwischen den Anteilen Teilstrombehandlung und Eliminationsgrad unter den oben genannten Annahmen grafisch dar, so ergibt sich der in **Bild 15** gezeigte Zusammenhang.

#### Beispiel Vollstrombehandlung



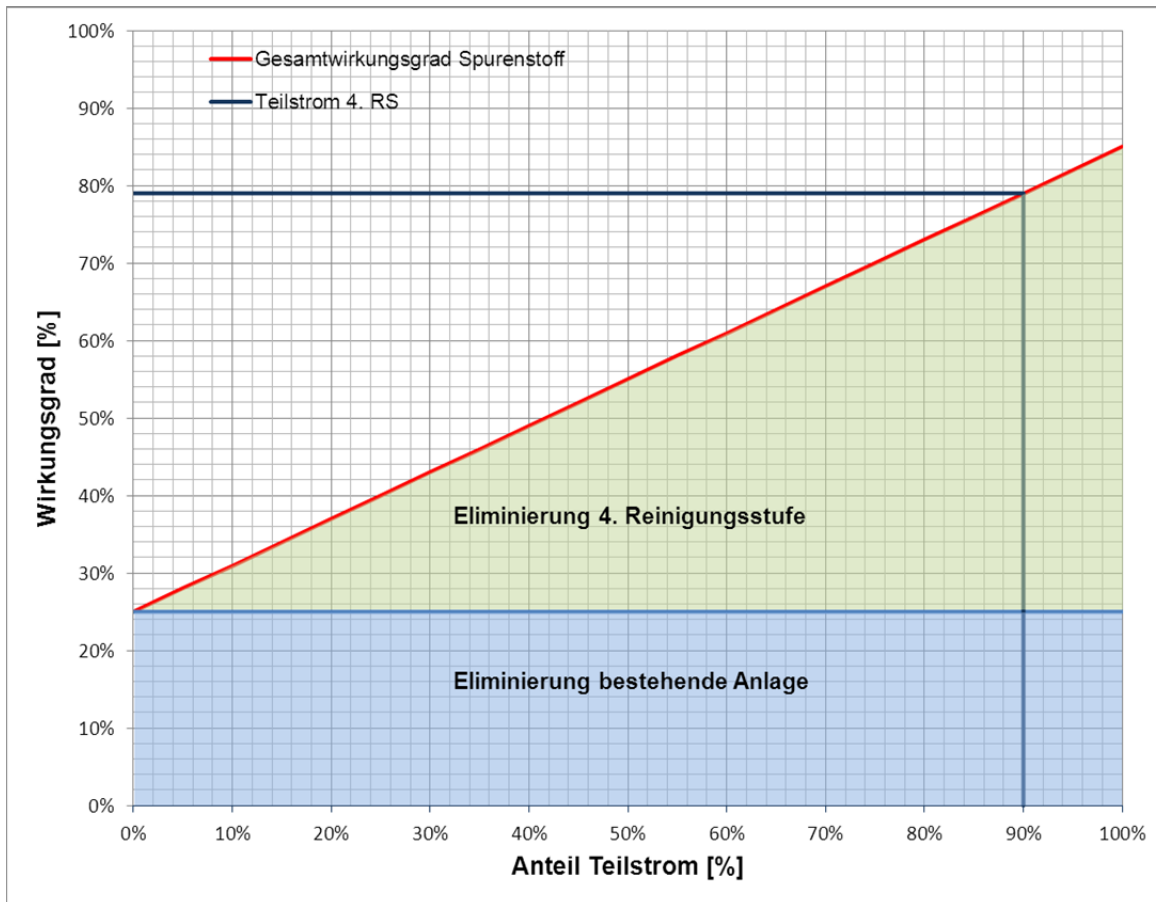
**Bild 13:** Wirkungsgrade bei Vollstrombehandlung (Konzentration beispielhaft)

#### Beispiel Teilstrombehandlung



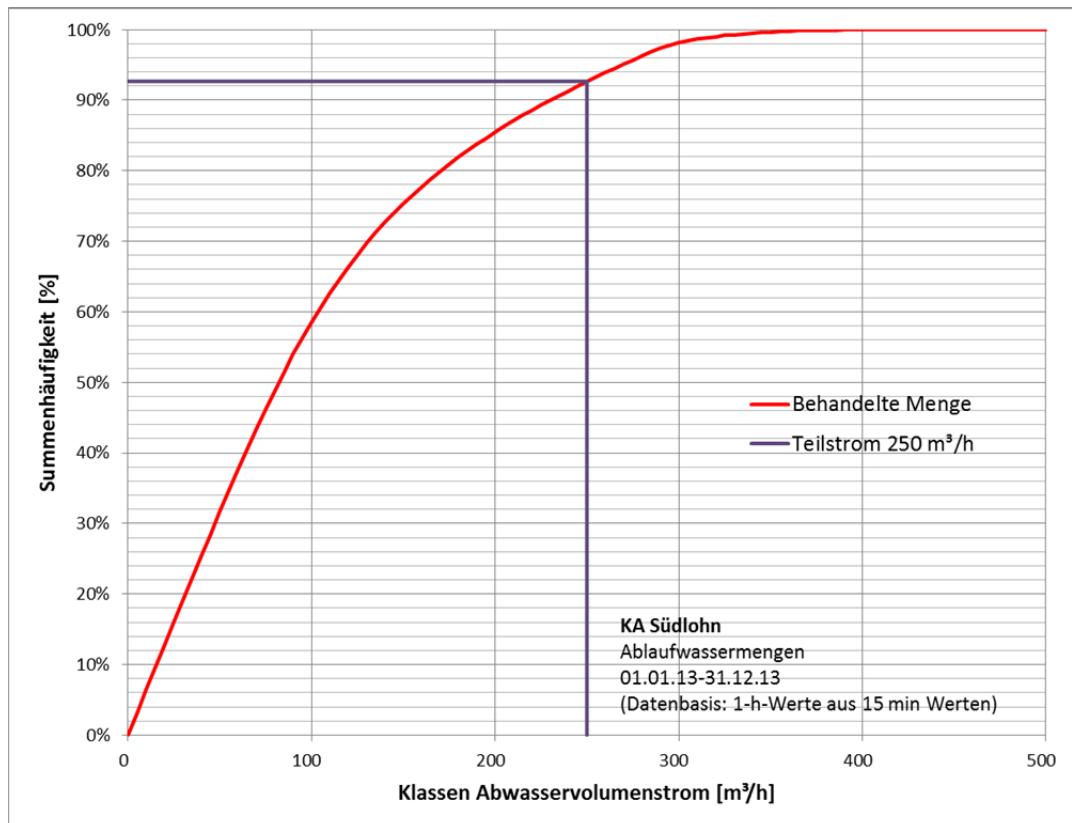
**Bild 14:** Wirkungsgrade bei Teilstrombehandlung (Konzentration beispielhaft)

Die Bemessung der 4. Reinigungsstufe erfolgt auf Basis der Ablaufwerte der Kläranlage Südlohn für den Zeitraum 1. Januar 2013 bis 31. Dezember 2013 (**Kapitel 3**). Für eine Vollstrombehandlung müsste auf der Kläranlage eine Kapazität zur Behandlung von 410 m<sup>3</sup>/h vorgehalten werden.

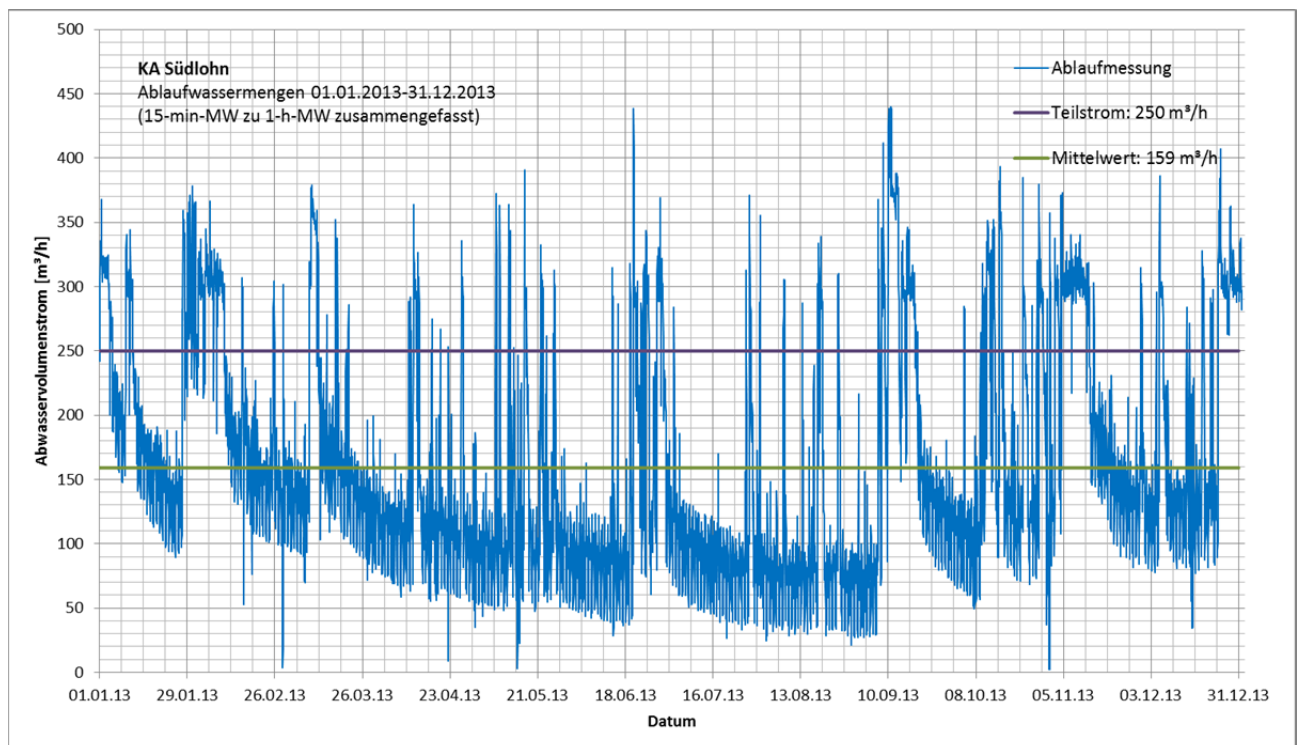


**Bild 15: Beispielhaft grafische Darstellung Wirkungsgrade bei Teilstrombehandlung**

**Bild 16** stellt die Summenhäufigkeit der einzelnen Teilstrommengen dar. Die berechnete Gesamtabwassermenge nach dieser Auswertung beträgt **1.369.660 m<sup>3</sup>/a** (Vollstrom). Wenn die Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination auf 250 m<sup>3</sup>/h ausgelegt wird, werden 92,7 % der gesamten Jahresabwassermenge behandelt, dies entspricht **1.269.240 m<sup>3</sup>/a**. Unter den gewählten Ansätzen kann somit eine Elimination von 81 % erreicht werden. Die Verfahrensstufe kann so bei einer Behandlung von 92,7 % der Jahresabwassermenge im Vergleich zur Vollstrombehandlung um ca. 39 % kleiner ausgeführt werden.



**Bild 16: Summenhäufigkeit des Abwasservolumenstroms**



**Bild 17: Behandelte Abwassermenge in Abhängigkeit des Bemessungszuflusses der Verfahrensstufe zur Spurenstoffelimination**

## 8.2 Verfahrensfestlegung

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie werden die folgenden drei Verfahrenskombinationen untersucht:

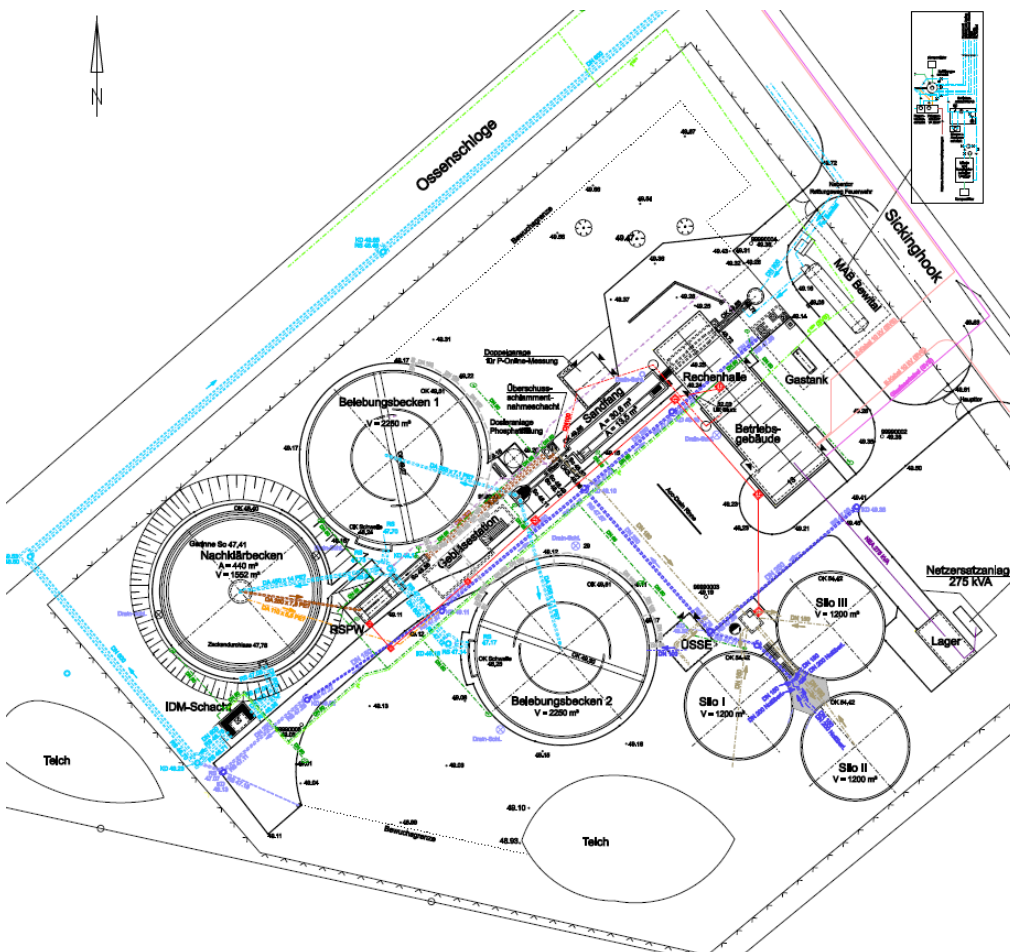
1. **Pulverkohle mit Rücklaufkohleführung (Teilstrom).** Abtrennung der PAK in einem Absetzbecken und in einem nachgeschalteten Tuchfilter. Auslegung der Stufe für einen Teilstrom von 250 m<sup>3</sup>/h.
2. **Pulverkohle mit Rücklaufkohleführung (Vollstrom).** Abtrennung der PAK in einem Absetzbecken und in einem nachgeschalteten Tuchfilter. Auslegung der Stufe für den maximalen Anlagendurchfluss von 410 m<sup>3</sup>/h (Vollstrom). Das Absetzbecken kann alternativ auch als Nachklärbecken genutzt werden.
3. **Ozonung mit nachgeschaltetem Sandfilter (Teilstrom).** Ablauf der Nachklärung wird mit Ozon behandelt und anschließend über einen Sandfilter geführt.



## 8.3 Randbedingungen

Als Standort für die 4. Reinigungsstufe wurde der Bereich westlich der Kläranlage festgelegt. Das Gelände gehört noch zur Anlage, liegt jedoch außerhalb der Einzäunung. Derzeit befindet sich hier ein Teich, der jedoch trockenliegt. Von diesem Baufeld ist ein direkter Zugang zur Ablaufleitung der Kläranlage zum Vorfluter Schlinge möglich.

Die Zuwegung wird bei der zeichnerischen Darstellung der Varianten mitbetrachtet.



**Bild 18:** Lageplan der Kläranlage mit Baufeld für die 4. Reinigungsstufe im Westen

## 8.4 Varianten

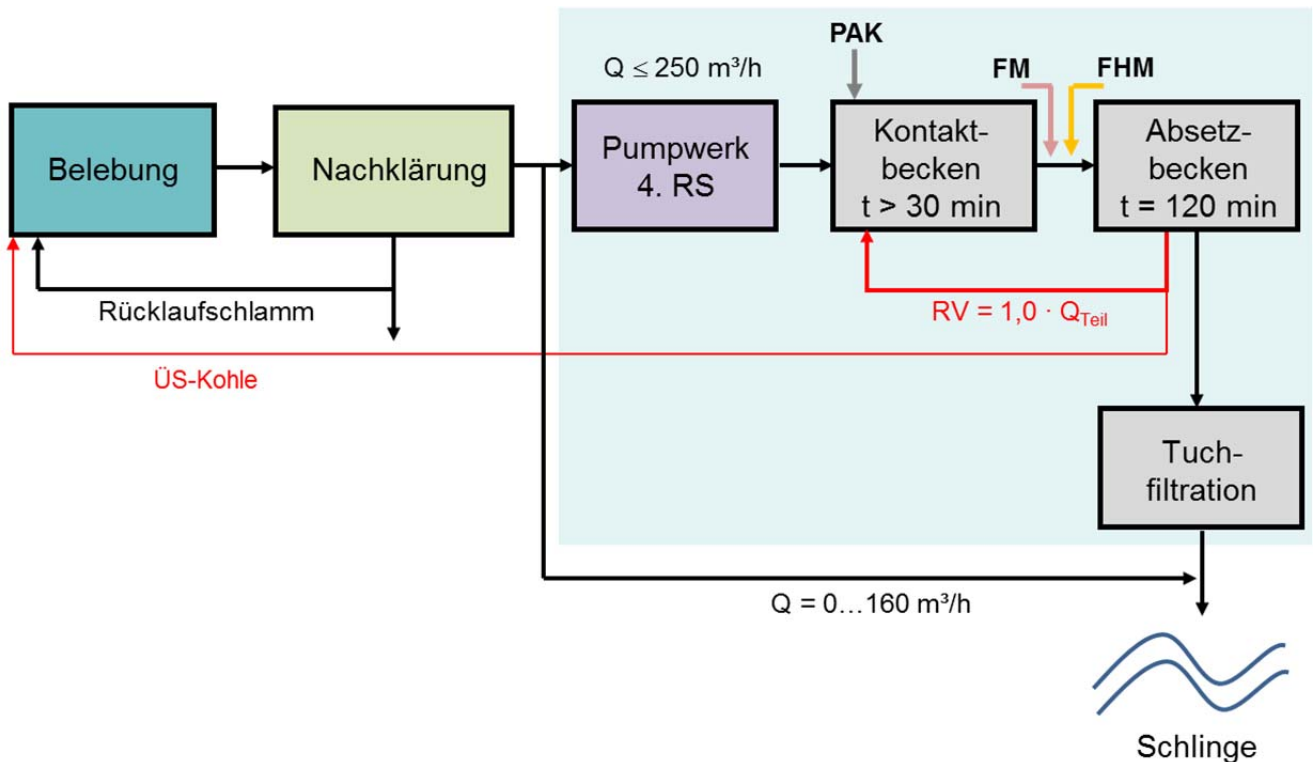
### 8.4.1 Variante 1: PAK mit Rücklaufkohle (Teilstrom)

#### 8.4.1.1 Allgemein

Dieses Verfahren wurde, wie schon im Kapitel 7.2.2.1 beschrieben, an einigen Standorten in Baden-Württemberg umgesetzt. Für die Rückführung der Kohle ist ein Absetzbecken notwendig. Die Rücklaufkohle wird zusammen mit der Frischkohle in den Zulauf des Kontaktbeckens dem Ablauf der Nachklärung zugegeben. In dem Absetzbecken vorgeschalteten Kontaktbecken erfolgt der eigentliche Adsorptionsvorgang. Der im Absetzbecken zurückgehaltene Kohleschlamm wird über eine Pumpe als Rücklaufkohle wieder in den Zulauf des Kontaktbeckens zurückgeführt.

Entsprechend der Frischkohledosierung wird ein Teil der rückgeführten Kohle als Überschussskohle aus dem System entnommen. Besonderer Vorteil dieses Verfahrens ist, dass die Pulverkohle mehrfach mit dem Abwasser in Kontakt kommt, um die Beladungskapazität möglichst gut ausnutzen zu können.

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



**Bild 19: Blockschema Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle (Teilstrom)**

Diese Variante hat neben der Elimination der Spurenstoffe auch einen großen Einfluss auf die Parameter CSB,  $P_{\text{ges}}$  und abfiltrierbaren Stoffe im Teilstrom. Insgesamt ist davon auszugehen, dass auch bei diesen Parametern deutlich geringere Ablaufwerte zu erwarten sind. Zu beachten ist, dass jeweils immer nur ein Teilstrom von maximal  $250 \text{ m}^3/\text{h}$  behandelt wird.

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

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

#### 8.4.1.2 Ausführung

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

Die gesamte Stufe wird in einem Bauwerk integriert.

#### **Pumpwerk 4. Reinigungsstufe**

Die Beschickung der PAK-Stufe erfolgt über das Pumpwerk 4. Reinigungsstufe. Insgesamt stehen drei Pumpen mit einem Volumenstrom von je 125 m<sup>3</sup>/h zur Verfügung.

Der Teilstrom wird über einen Schacht aus der bestehenden Ablaufleitung der Kläranlage entnommen.

#### **Kontaktbecken**

Es werden zwei Kontaktbecken vorgesehen. Jedes Kontaktbecken ist als quadratisches Becken mit einer Wasserspiegelhöhe von 4,10 m ausgeführt. Bei einer Innenkantenlänge von 3,95 m ergibt sich ein Volumen von 64 m<sup>3</sup> je Kontaktbecken. In der Summe beträgt die Aufenthaltszeit bei maximalem Zufluss 30 min. Jedes Kontaktbecken ist mit einem Vertikalrührwerk ausgestattet.

#### **Absetzbecken**

Das rechteckige Absetzbecken ist längsdurchströmt. Die Beckenbreite beträgt 6 m und die Länge 25 m. Die Randwassertiefe liegt bei 3,6 m. Es ergibt sich ein Gesamtvolumen von 525 m<sup>3</sup>. Die Aufenthaltszeit ergibt sich damit zu 2,1 h. Dies entspricht den Bemessungsempfehlungen aus Baden-Württemberg.

Für die Räumung des anfallenden Schlammes in den Abzugstrichter wird ein Bandräumer vorgesehen. Der in den Abzugstrichtern gesammelte Schlamm wird mittels einer Pumpe wieder in den Zulauf der Kontaktbecken zurückgeführt. Die Rücklaufkohleförderung wird auf ein Rückführverhältnis (RV) von 1 ausgelegt. Die Überschussskohle wird ebenfalls aus diesem Schacht entnommen und der Beladung zur weiteren Beladung zugeführt. Der Zulauf von den Kontaktbecken zum Absetzbecken wird jeweils über ein Gerinne realisiert.

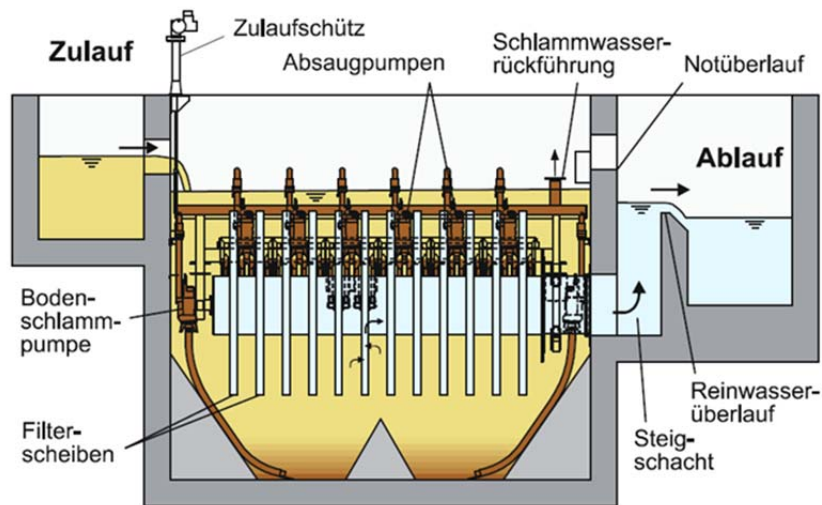
#### **Tuchfiltration**

Dem Absetzbecken wird die Tuchfiltration zur Suspensa-Restentfernung nachgeschaltet.

Es wird hier eine zweistraßige Tuchfiltration mit je 4 Scheiben à 5 m<sup>2</sup> vorgesehen. Je Straße ergibt sich eine Filterfläche von 20 m<sup>2</sup>. Durch die zweistraßige Ausführung ist es möglich, eine Straße bei Wartungsarbeiten außer Betrieb zu nehmen und die 4. Reinigungsstufe temporärer noch mit vollem Durchsatz zu betreiben.

Die Tuchfiltration wurde in Bezug auf die Abtrennung von Aktivkohle in verschiedenen Forschungsprojekten untersucht. Derzeit wird auf der Kläranlage Lahr die erste Anlage im technischen Maßstab umgesetzt. Vorteile der Tuchfiltration sind der geringe Platzbedarf und die geringen Energiekosten im Betrieb (Rückspülung und hydraulische Verluste) gegenüber Raumfiltern. Zu beachten ist, dass die Filtertücher in regelmäßigen Abständen (ca. 5 a) erneuert und jährlich einer Intensiv-Reinigung unterzogen werden müssen.

Die nachfolgende Abbildung zeigt einen Tuchfilter im Schnitt.



**Bild 20: Schnitt eines Tuchfilters, Ausführungsbeispiel (Quelle: Mecana)**

Der Ablauf der Tuchfilter wird über einen Schacht wieder in die Ablaufleitung der Kläranlage zurückgeführt.

#### **Ablaufmengenmess- und Probenahmeschacht**

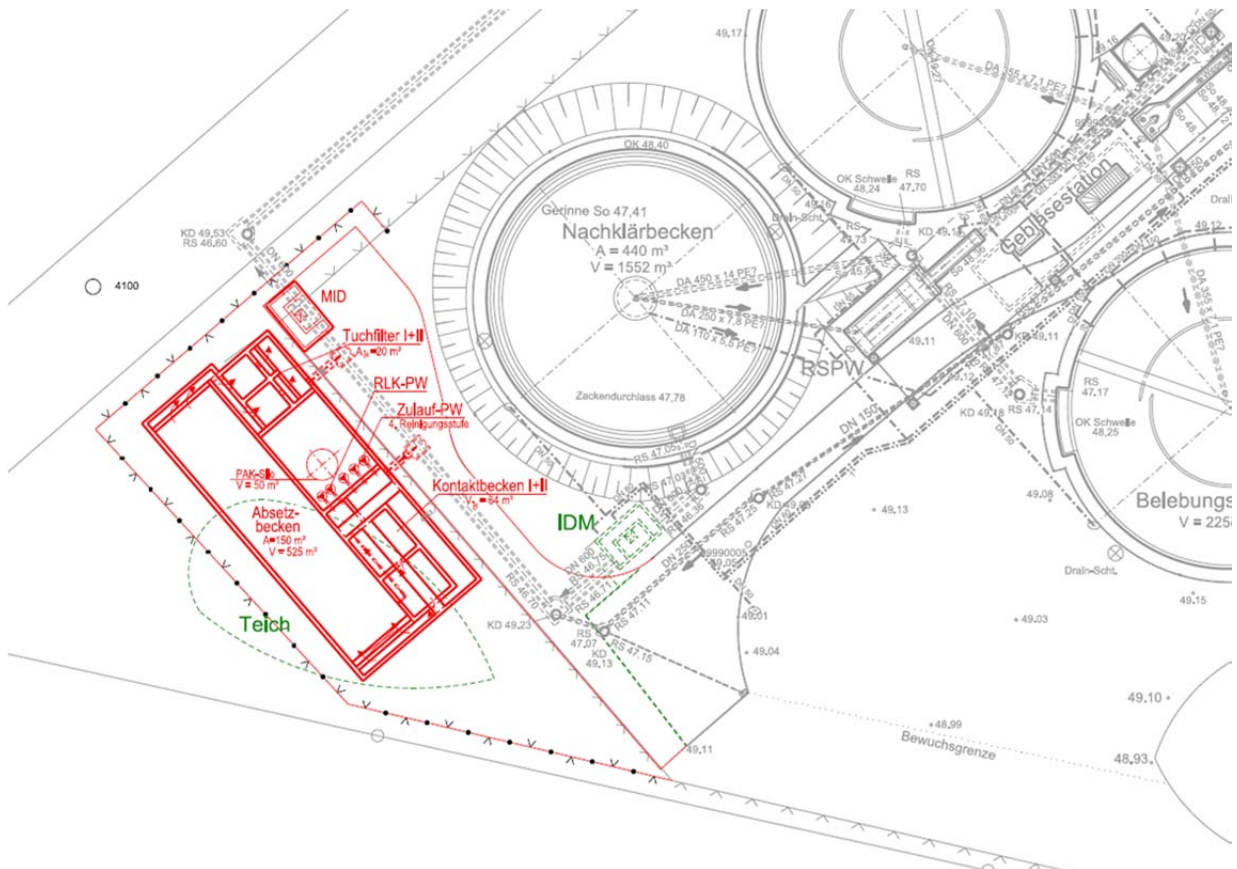
Die Anordnung der 4. Reinigungsstufe macht eine Verlegung des Schachtes für die amtliche Ablaufmessung und die Mengemessung notwendig. Der bestehende Schacht wird aufgegeben.

#### **PAK-Silo**

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

#### **Flockungs- und Flockungshilfsmittel**

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



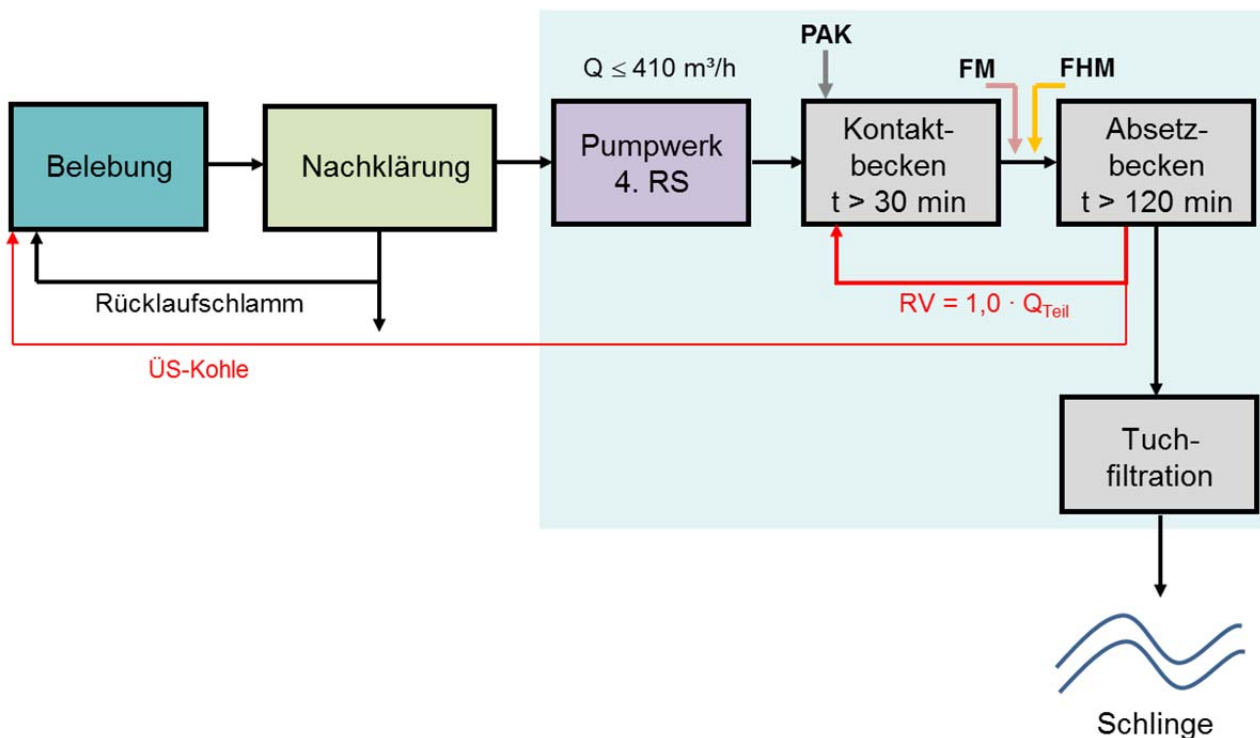
**Bild 21: Lageplanausschnitt Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle**

## 8.4.2 Variante 2: PAK mit Rücklaufkohle (Teilstrom)

### 8.4.2.1 Allgemeines

Diese Variante gleicht in ihrem grundsätzlichen Aufbau der Variante 1. Verfahrenstechnisch wird das gleiche Verfahren angewendet. Im Gegensatz zur Variante 1 wird die Stufe jedoch auf den vollen Anlagendurchfluss von 410 m<sup>3</sup>/h ausgelegt.

Des Weiteren kann, dass Absetzbecken auch als Nachklärbecken in den Abwasserreinigungsprozess eingebunden werden. So kann z.B. das bestehende Becken für Wartungsarbeiten außer Betrieb genommen werden.



**Bild 22:** Systemskizze Variante 2: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle (Vollstrom)

### 8.4.2.2 Ausführung

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

#### Pumpwerk 4. Reinigungsstufe

Die Beschickung erfolgt – wie auch bei Variante 1 – über das Pumpwerk 4. Reinigungsstufe, jedoch ist die Förderleistung bedingt durch den Vollstrombetrieb höher. Insgesamt stehen vier Pumpen mit einem Volumenstrom von je 150 m<sup>3</sup>/h zur Verfügung.

Bei Nutzung des Absetzbeckens als Nachklärbecken wird das Pumpwerk genutzt, um das mit Belebtschlamm versetzte Abwasser aus den Belebungsbecken auf das Absetzbecken zu heben. Weiterhin wird noch eine Pumpe des Rücklaufkohlepumpwerks hinzugeschaltet.

#### Kontaktbecken

Es werden drei Kontaktbecken vorgesehen. Jedes Kontaktbecken ist als quadratisches Becken mit einer Wasserspiegelhöhe von 4,10 m ausgeführt. Bei einer Innenkantenlänge von 4,10 m ergibt sich ein Volumen von 69 m<sup>3</sup> je Kontaktbecken. In der Summe beträgt die Aufenthaltszeit bei maximalem Zufluss 30 min. Jedes Kontaktbecken ist mit einem Vertikalrührwerk ausgestattet.

#### Absetzbecken

Das Absetzbecken wird in dieser Variante als horizontal durchströmtes Rundbecken geplant. Der Durchmesser beträgt 24 m. Die Beckentiefe am 2/3-Punkt liegt bei 3,5 m.

Es ergibt sich ein Gesamtvolumen von 1.548 m<sup>3</sup>. Die Aufenthaltszeit ergibt sich damit zu 3,8 h. Dieser Wert liegt deutlich über den Bemessungsempfehlungen. Die gewählte Größe ergibt sich aus der alternativen Nutzung als Nachklärbecken.

Ein Rundräumer unterstützt den Transport des abgesetzten Schlammes in Schlammtrichter in Beckenmitte. Der gesammelte Schlamm wird mittels des Rücklaufkohlepumpwerks wieder in den Zulauf der Kontaktbecken zurückgeführt. Die Rücklaufkohleförderung wird auf ein Rückführverhältnis (RV) von 1 ausgelegt. Die Überschussskohle wird aus der Vorlage der Rücklaufkohlepumpen entnommen und der Belebung zur weiteren Beladung zugeführt. Der Zulauf von den Kontaktbecken zum Absetzbecken wird jeweils über ein Gerinne realisiert.

Bei Nutzung als Nachklärbecken wird der Rücklaufschlamm über eine weitere Leitung aus dem Schlammtrichter des Beckens zum bestehenden Rücklaufschlammumpwerk geleitet.

### **Tuchfiltration**

Dem Absetzbecken wird, wie bei Variante 1, ie Tuchfiltration zur Suspensa-Restentfernung nachgeschaltet. Diesmal jedoch ausgelegt auf den Gesamtstrom der Anlage.

Es wird wieder eine zweistrassige Tuchfiltration mit jetzt jedoch 6 Scheiben à 5 m<sup>2</sup> vorgesehen. Je Straße ergibt sich eine Filterfläche von 30 m<sup>2</sup>.

Der Ablauf der Tuchfilter wird über einen Schacht wieder in die Ablaufleitung der Kläranlage zurückgeführt.

### **Ablaufmengenmess- und Probenahmeschacht**

Die Anordnung der 4. Reinigungsstufe macht, analog zu Variante 1, eine Verlegung des Schachtes für die amtliche Ablaufmessung und die Mengenummessung notwendig. Der bestehende Schacht wird aufgegeben.

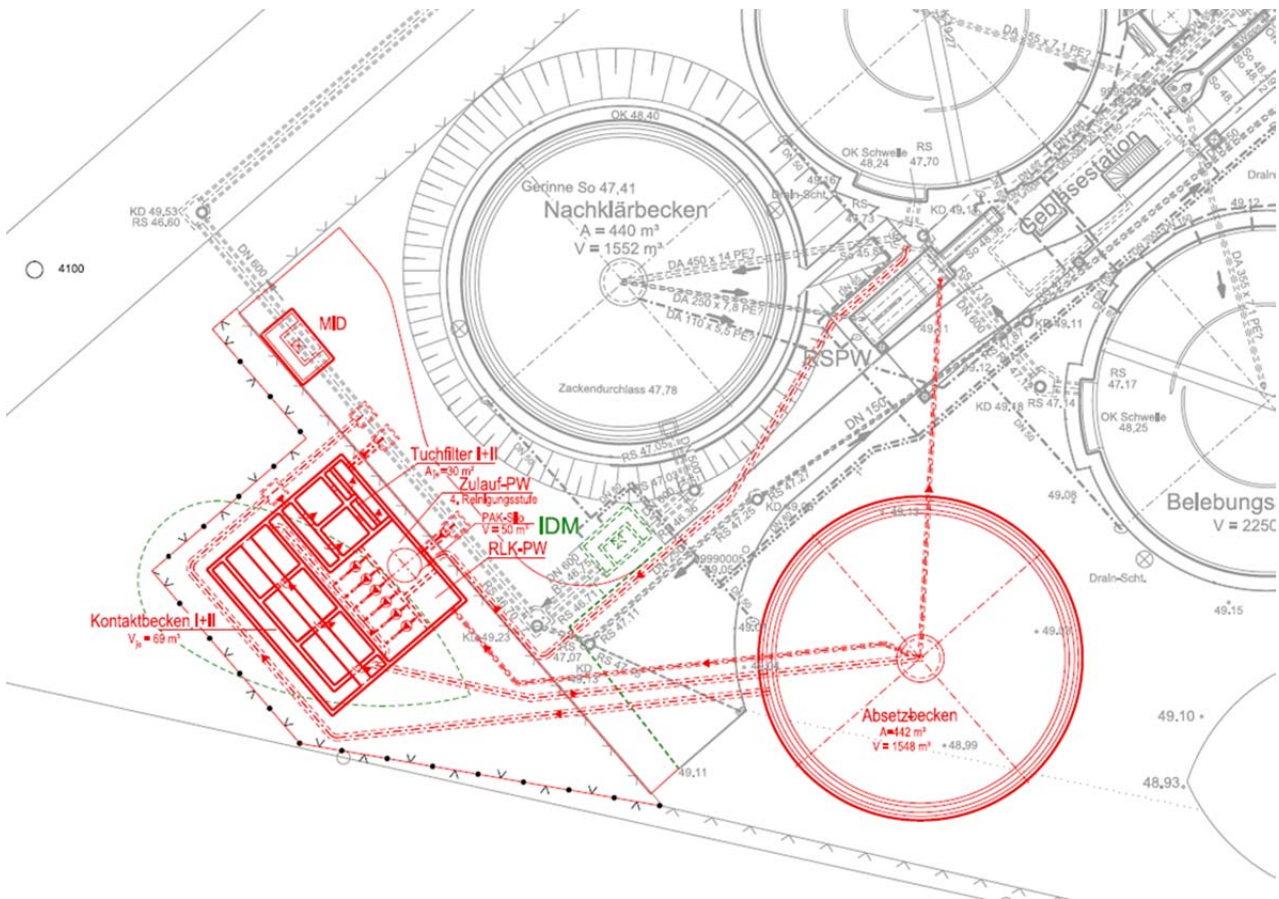
### **PAK-Silo**

Zur Lagerung der Aktivkohle ist ein Silo mit einem Inhalt von 80 m<sup>3</sup> vorgesehen, wie bei Variante 1.

### **Flockungs- und Flockungshilfsmittel**

Siehe hierzu Variante 1.





**Bild 23:** Lageplanausschnitt Variante 2: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle (Vollstrom)

### 8.4.3 Variante 3: Ozonung mit nachgeschaltetem Sandfilter

#### 8.4.3.1 Allgemeines

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

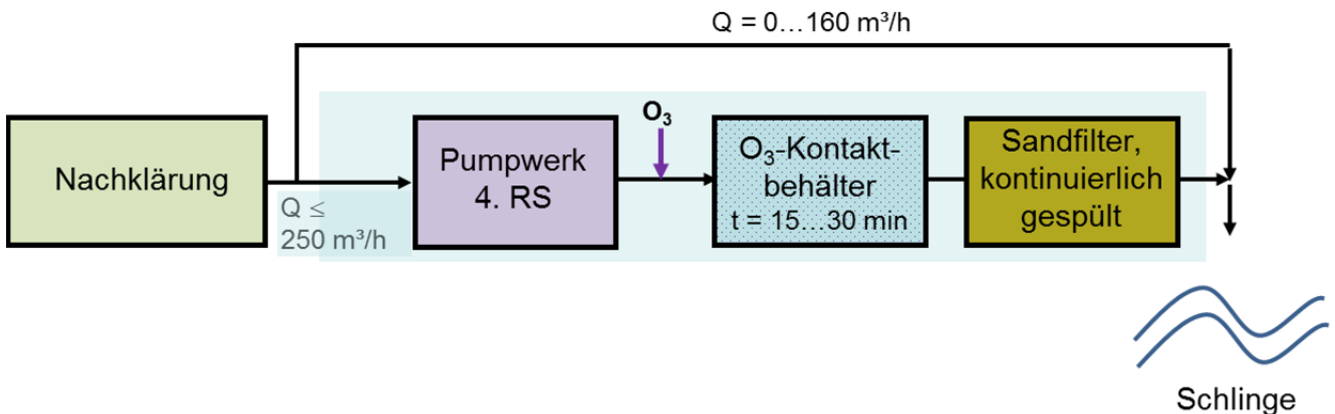
Zu berücksichtigen ist, dass durch den Einsatz von Ozon Oxidationsprodukte gebildet werden können, die toxisch sind. Daher wird empfohlen, eine biologisch arbeitende Stufe der Ozonung nachzuschalten. Dies kann eine Filtration sein, wie Abbeglen u. a. (2009) in einem großtechnischen Versuch auf der ARA Regensdorf nachweisen konnte. In diesem Fall erfolgt der Abbau eventuell toxisch bedenklicher Stoffe im Schönungsteich auf biologischem Wege.

Die Ozonung wird anhand folgender Bemessungsparameter ausgelegt:

Ozondosis: 2...10 g/m<sup>3</sup>

Kontaktzeit im Reaktionsbehälter: 10...30 min





**Bild 24: Blockschema Variante 3:**

Folgende Werte wurden gewählt:

Anzahl Kontaktbehälter: 2 Stück

Wassertiefe Kontaktbehälter: 6 m

Es wurde eine mittlere Ozondosis angenommen von:

$$c_{O_3,a} = 6,00 \text{ mg O}_3/\text{l}$$

### 8.4.3.2 Ausführung

Den Lageplan der Variante stellt **Blatt 3** der Planunterlagen dar.

Die Ozonung mit Ozonerzeuger und Kontaktbecken ist zweistraßig ausgeführt. Bei geringem Durchfluss (z. B. in der Nacht) kann eine Straße außer Betrieb genommen werden.

Die Variante ist, wie Variante 1, für die Teilstrombehandlung von 250 m³/h ausgelegt.

#### Pumpwerk 4. Reinigungsstufe

Die Beschickung der Ozonung erfolgt – wie auch bei den Varianten 1 und 2 – über das Pumpwerk 4. Reinigungsstufe. Insgesamt stehen drei Pumpen mit einem Volumenstrom von je 125 m³/h zur Verfügung.

#### Kontaktbehälter

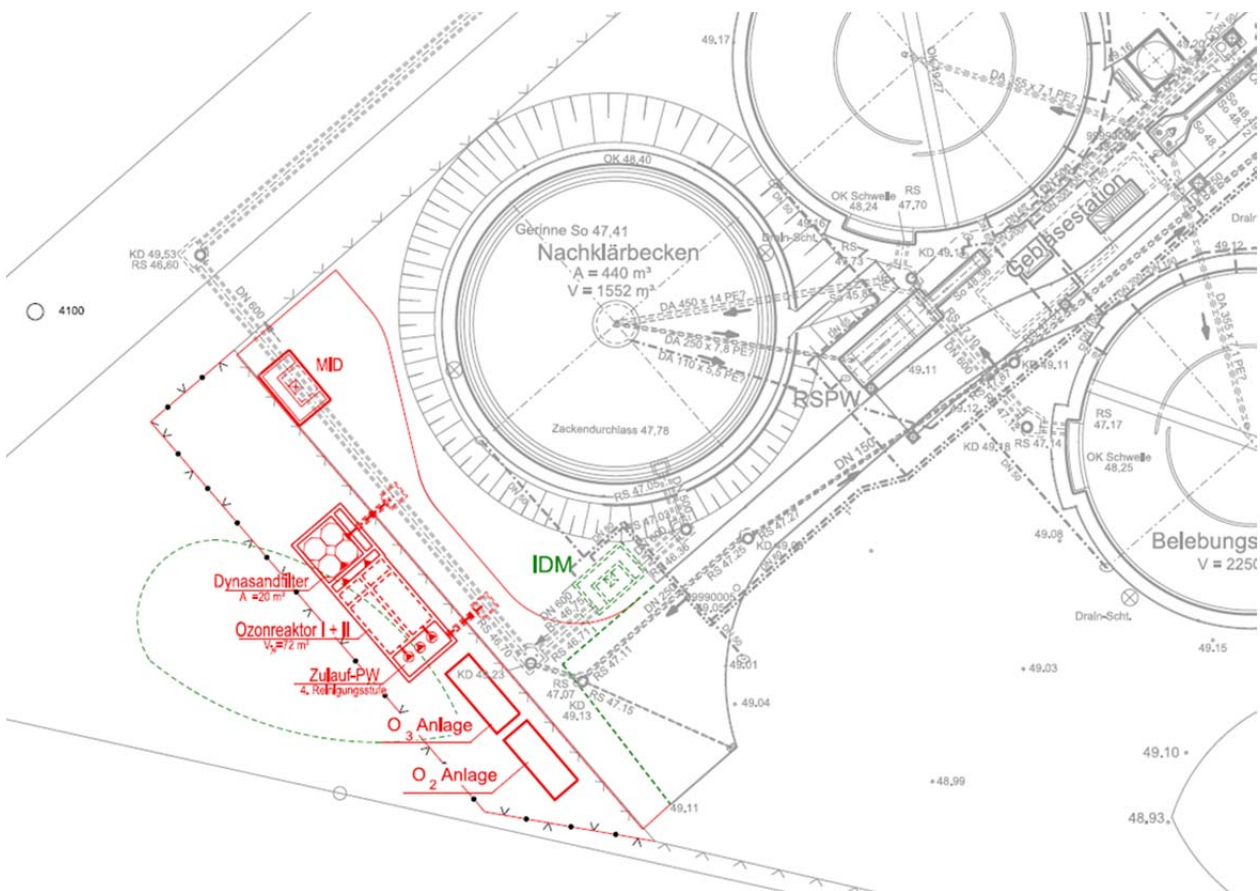
Die beiden Kontaktbehälterstraßen werden als Betonbauwerk ausgeführt. Die Behälter verfügen über keine Einbauten, außer einer unterströmten Tauchwand im letzten Drittel des Behälters. Dieser Bereich dient als Entspannungszone.

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). Der Ablauf der Ozonbehandlung wird anschließend über eine Rohrleitung in den nachgeschalteten Sandfilter geführt.

### Ozonerzeugung

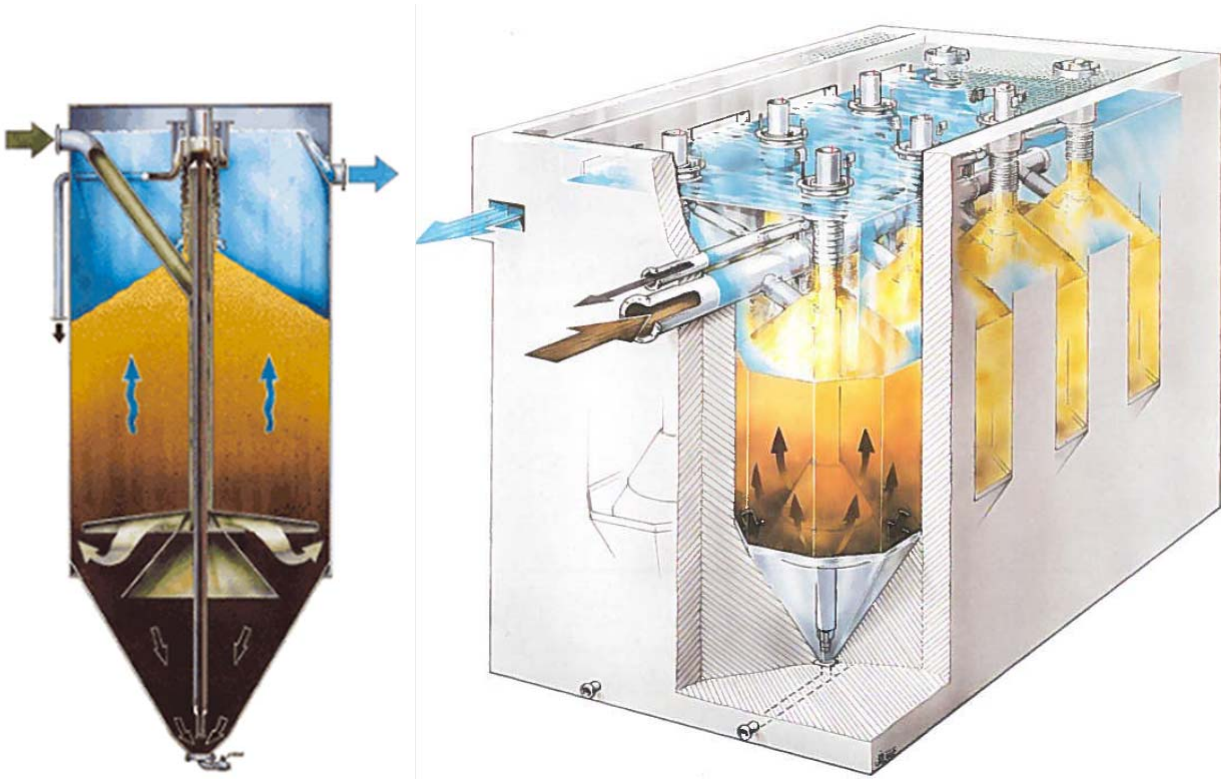
Die Ozonerzeuger weisen eine Leistung von  $2 \times 1.250 \text{ g/h}$  auf. Als Prozessgas ist Flüssigsauerstoff vorgesehen. Die Kühlung erfolgt über einen Nass/Nass-Wärmeübertrager, der ebenfalls im Container untergebracht ist. Das benötigte Kühlwasser im Sekundärkreislauf wird über zwei Pumpen (eine Reserve) bereitgestellt. Die Erzeuger werden mit der zugehörigen Schaltanlage in Containern untergebracht.



**Bild 25:** Lageplanausschnitt Variante 2: Ozonung mit nachgeschaltetem Schöpfungsteich Sandfilter (kontinuierlich gespült)

Als Nachreaktor wird ein kontinuierlich arbeitender Sandfilter (Dyna-Sandfilter) eingesetzt. Das Sandbett im Filter wird von unten nach oben durchströmt. Die im Abwasser enthaltenen Suspensa werden im Sand zurückgehalten. Über eine Mammutpumpe wird der verunreinigte Sand aus dem Filterbett von unten nach oben transportiert. In einem Sandwäscher wird dieser Sand mit Filtrat gereinigt. Der gereinigte Sand fällt auf das Filterbett zurück. Das anfallende Schlammwasser aus dem Sandwäscher fließt über den Waschwasserablauf ab. Für den Betrieb der Mammutpumpe ist eine Druckluftversorgung (Kompressor) notwendig. Rückspülpumpen werden nicht benötigt. Siehe **Bild 25**.

Es sind insgesamt 4 Filter aufgeteilt auf zwei Straßen vorgesehen. Jeder Filter weist eine Filterfläche von 5 m<sup>2</sup> auf, sodass sich eine GesamtfILTERfläche von 20 m<sup>2</sup> ergibt.



**Bild 26:** Dyna-Sandfilter: links: Prinzipdarstellung, rechts: Anordnung im Betonbecken  
(Quelle: Nordic-Water)

### 8.5 Ergebnisübersicht Varianten

	Variante 1 Pulverkohle mit Rücklaufkohle (Teilstrom)	Variante 2 Pulverkohle mit Rücklaufkohle (Vollstrom)	Variante 3 Ozonon + Sandfilter (Teilstrom)
<b>Anlagenkomponenten</b>			
	<p><b>Kontaktbecken:</b>  <math>t_A = 30 \text{ min}</math>, <math>V_{\text{ges}} = 125 \text{ m}^3</math></p> <p><b>Absetzbecken:</b>  <math>L = 25 \text{ m}</math>, <math>b = 6 \text{ m}</math>  <math>A_{\text{ges}} = 150 \text{ m}^2</math>, <math>V = 525 \text{ m}^3</math></p> <p><b>Tuchfiltration (2-strassig):</b>                  Je Straße: 4 Scheiben mit je <math>5 \text{ m}^2</math>; <math>A_F = 20 \text{ m}^2</math>  <math>A_{F,\text{ges}} = 40 \text{ m}^2</math></p> <p><b>PAK-Silo:</b>  <math>V = 80 \text{ m}^3</math></p>	<p><b>Kontaktbecken:</b>  <math>t_A = 30 \text{ min}</math>, <math>V_{\text{ges}} = 190 \text{ m}^3</math></p> <p><b>Absetzbecken:</b>  <math>L = 25 \text{ m}</math>, <math>b = 7 \text{ m}</math>  <math>A_{\text{ges}} = 175 \text{ m}^2</math>, <math>V = 630 \text{ m}^3</math></p> <p><b>Tuchfiltration (2-strassig):</b>                  Je Straße: 6 Scheiben mit je <math>5 \text{ m}^2</math>; <math>A_F = 30 \text{ m}^2</math>  <math>A_{F,\text{ges}} = 60 \text{ m}^2</math></p> <p><b>PAK-Silo:</b>  <math>V = 80 \text{ m}^3</math></p>	<p><b>Flüssigsauerstoff:</b>                  Tankanlage und Verdampfer</p> <p><b>Ozonerzeuger:</b>                  2 x <math>1,25 \text{ kg O}_3/\text{h}</math></p> <p><b>Reaktionsbehälter:</b>                  2 Straßen,                  je <math>L = 5,0 \text{ m}</math>; <math>B = 2,0 \text{ m}</math>;  <math>V_{\text{ges}} = 120 \text{ m}^3</math></p> <p><b>Sand-Filtration (kont. gespült):</b>                  2 Straßen                  je 4 Filter mit <math>A_F = 5 \text{ m}^2</math>  <math>A_{F,\text{ges}} = 20 \text{ m}^2</math></p>

	<b>Variante 1</b> <b>Pulverkohle mit Rücklaufkohle (Teilstrom)</b>	<b>Variante 2</b> <b>Pulverkohle mit Rücklaufkohle (Vollstrom)</b>	<b>Variante 3</b> <b>Ozonung + Sandfilter (Teilstrom)</b>
<b>Vorteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Bildung von Reaktionsprodukten</li> <li>Wirkungsweise der Stoffelimination eindeutig</li> <li>sehr guter Suspensarückhalt im AB und durch Filtration</li> <li>sehr gute Reduzierung <math>P_{ges}</math> und CSB</li> <li>Mehrfachbeladung der PAK</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Bildung von Reaktionsprodukten</li> <li>Wirkungsweise der Stoffelimination eindeutig</li> <li>sehr guter Suspensarückhalt im AB und durch Filtration für den gesamten Anlagendurchfluß</li> <li>sehr gute Reduzierung <math>P_{ges}</math> und CSB</li> <li>Mehrfachbeladung der PAK</li> <li>Kompletter Anlagendurchfluss wird behandelt.</li> <li>Nutzung des AB als Nachklärbecken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>geringer Platzbedarf</li> <li>Filtration: Reduktion von abfiltrierbaren Stoffen und Pges (begrenzt)</li> </ul>
<b>Nachteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>höhere Schlammanfall als bei den anderen Varianten</li> <li>betreuungsintensiv, da Dosierung von PAK, FHM und FM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>höhere Schlammanfall als bei den anderen Varianten</li> <li>betreuungsintensiv, da Dosierung von PAK, FHM und FM</li> <li>Nutzung als NKB: Kein vollwertiger Ersatz für ein 2. Nachklärbecken</li> <li>Bei Nutzung als NKB → kein Betrieb PAK mit RLK möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>höherer Energiebedarf</li> <li>hohe Sicherheitsanforderungen an den Arbeitsschutz, da Ozon toxisch und als Reizstoff wirkt</li> </ul>

## 9 Kosten

### 9.1 Allgemein

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

### 9.2 Investitionskosten

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

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

Als Baunebenkosten wurden 20 % der Netto-Investitionssumme angesetzt.

In nachfolgender Tabelle sind die Kosten zusammengestellt:

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

Pos.-Nr	Text		Variante 1 PAK m. RLK (TS)	Variante 2 PAK m. RLK (VS)	Variante 3 Ozon + SF
1	Bautechnik	EUR	734.051,50	886.510,40	545.037,50
2	Maschinenteknik	EUR	701.568,00	899.448,90	732.900,00
3	EMSR-Technik	EUR	231.000,00	280.000,00	340.000,00
<b>Summe Herstellungskosten, netto</b>		<b>EUR</b>	<b>1.666.619,50</b>	<b>2.065.959,30</b>	<b>1.617.937,50</b>
Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)		EUR	333.323,90	413.191,86	323.587,50
<b>Summe Baukosten, netto</b>		<b>EUR</b>	<b>1.999.943,40</b>	<b>2.479.151,16</b>	<b>1.941.525,00</b>
Mehrwertsteuer		EUR	379.989,25	471.038,72	368.889,75
<b>Summe Baukosten, brutto</b>		<b>EUR</b>	<b>2.379.932,65</b>	<b>2.950.189,88</b>	<b>2.310.414,75</b>
<b>Anteil</b>			<b>103%</b>	<b>128%</b>	<b>100%</b>

Am teuersten ist Variante 2. Die Variante 1 und 3 liegen auf einem vergleichbaren Niveau.

### 9.3 Betriebskosten

Für die Berechnung der Betriebskosten wurden folgende Werte nach Abstimmung mit der Gemeinde Südlohn angenommen:

Strombezugskosten 0,187 EUR/kWh, netto

Entwässerung + Verbrennung Schlamm  
96,60 EUR/Mg Nassschlamm, netto

*Entwässerungsergebnis* 22 %

439 EUR/Mg TS, netto

Weitere Werte wurden wie folgt angenommen:

Personal	40.000 EUR/(MA·a), netto
Pulveraktivkohle	1.500 EUR/Mg, netto
Flockungshilfsmittel	3.500 EUR/kg WS, netto
Sauerstoff inkl. Tankmiete	0,25 EUR/kg, netto

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

Für die Varianten 1 und 2 ist die Dosierung von Flockungs- bzw. Fällmitteln (Me-Salzen) notwendig. In der Summe ist jedoch keine zusätzliche Menge notwendig, da die Dosierung der Fällmittel von der Belegung (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 für die Betriebskostenermittlung folgender Ansatz gewählt. Der Schlamm setzt sich zu einem Drittel aus der PAK und zu 2/3 aus Organika (CSB, AFS) und Fällprodukten zusammen.

Neben den Entsorgungskosten des Schlammes fallen im Rahmen der Schlammbehandlung noch die Entwässerungskosten und Schlammmentsorgungskosten an. Diese wurden mit 439 EUR/Mg TS, netto berücksichtigt. Bei den Varianten 1 und 2 ist in jedem Fall der Einsatz von Flockungshilfsmitteln notwendig. Es wurden spezifische Kosten von 3.500 EUR/Mg Wirkstoff angesetzt. Weitere Werte sind der Betriebskostenberechnung in **Anlage 3** zu entnehmen.

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

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

Die ermittelten Betriebskosten sind in **Tabelle 3** zusammengefasst. Die betriebsgebundenen Kosten beinhalten Personal- und Wartungs-/Instandhaltungskosten. Die verbrauchsgebundenen Kosten setzen sich aus den Energie-, den Chemikalien- und den Schlammmentwässerungs- sowie Schlammmentsorgungskosten zusammen.

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

			<b>Variante 1</b>	<b>Variante 2</b>	<b>Variante 3</b>
		<b>Text</b>	PAK m. RLK (TS)	PAK mit RLK (VS)	Ozonung + SF
B	Betriebsgebundene Kosten	EUR/a	72.027,88	84.531,67	65.879,65
C	Verbrauchsgebundene Kosten	EUR/a	53.145,13	63.672,56	48.015,56
<b>Summe Betriebskosten, netto</b>		<b>EUR/a</b>	<b>125.173,01</b>	<b>148.204,23</b>	<b>113.895,21</b>
Mehrwertsteuer: 19%		EUR/a	23.782,87	28.158,80	21.640,09
<b>Summe Betriebskosten, brutto</b>		<b>EUR/a</b>	<b>148.955,89</b>	<b>176.363,04</b>	<b>135.535,29</b>
<b>Anteil</b>			<b>110%</b>	<b>130%</b>	<b>100%</b>

Die Betriebskosten sind für die Variante 3 (Ozon) am günstigsten, darauf folgt Variante 1 (PAK). Die Variante 2, die im Vollstrom die gesamte Jahresabwassermenge der KA Südlohn behandelt, liegt bei den Betriebskosten erwartungsgemäß auf dem letzten Rang.

#### 9.4 Jahreskosten

Die Jahreskosten wurden anhand folgender Vorgaben berechnet:

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

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

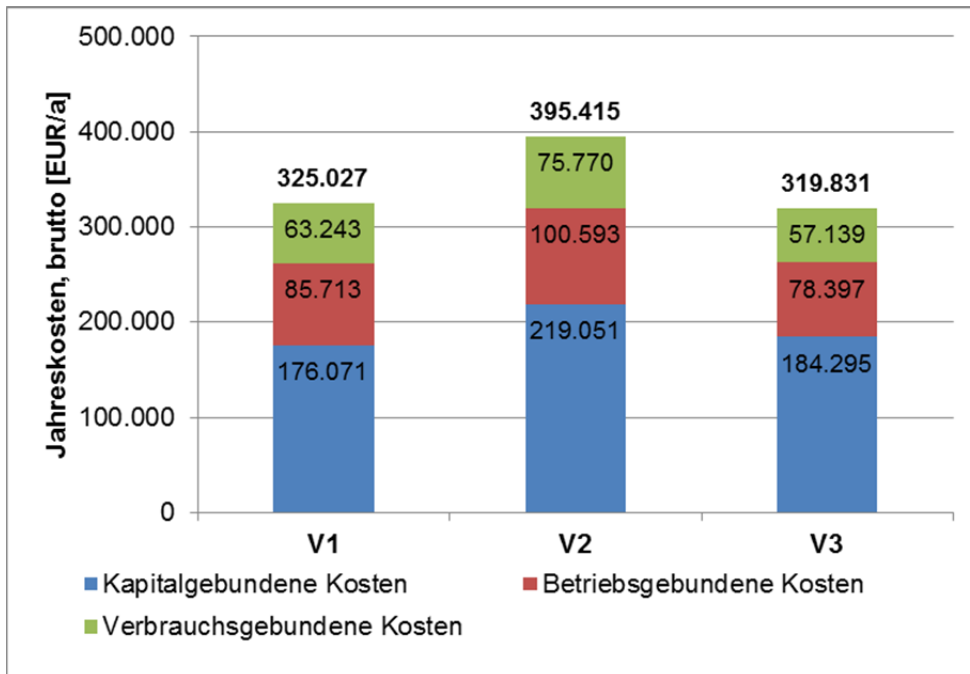
**Tabelle 4: Jahreskosten und spezifische Kosten für die Varianten 1 bis 3**

<b>Pos.-Nr</b>	<b>Text</b>		<b>Variante 1</b>	<b>Variante 2</b>	<b>Variante 3</b>
			PAK m. RLK (TS)	PAK mit RLK (VS)	Ozonung + SF
A	Kapitalgebundene Kosten	EUR/a	147.958,76	184.076,89	154.869,97
B	Betriebsgebundene Kosten	EUR/a	72.027,88	84.531,67	65.879,65
C	Verbrauchsgebundene Kosten	EUR/a	53.145,13	63.672,56	48.015,56
<b>Summe Jahresskosten, netto</b>		<b>EUR/a</b>	<b>273.131,77</b>	<b>332.281,12</b>	<b>268.765,18</b>
Mehrwertsteuer: 19%		EUR/a	51.895,04	63.133,41	51.065,38
<b>Summe Jahreskosten, brutto</b>		<b>EUR/a</b>	<b>325.026,81</b>	<b>395.414,53</b>	<b>319.830,56</b>
<b>Anteil</b>			<b>102%</b>	<b>124%</b>	<b>100%</b>
Behandelte Jahresmenge		m <sup>3</sup> /a	1.269.240	1.369.660	1.269.240
spez. Kosten, netto		EUR/m <sup>3</sup>	0,21519	0,24260	0,21175
<b>spez. Kosten, brutto</b>		<b>EUR/m<sup>3</sup></b>	<b>0,25608</b>	<b>0,28870</b>	<b>0,25199</b>

Die spezifischen Kosten (EUR/m<sup>3</sup>) beziehen sich auf die in der 4. Reinigungsstufe behandelte Abwassermenge. Sie sind nicht mit der Abwassergebühr vergleichbar.



Die Jahreskosten der Teilstromvarianten 3 (Ozonung + Filtration) und 1 (PAK) liegen mit 320.000 bzw. 325.000 EUR/a, brutto auf einem vergleichbaren Niveau. Die Vollstromvariante 2 (PAK) liegt mit Jahreskosten von 395.000 EUR, brutto ca. 20% darüber.



**Bild 27: Anteile kapital-, betriebs- und verbrauchsgebundene Kosten an den Jahreskosten der Varianten**

Aus der im **Bild 27** dargestellten Aufteilung der Jahreskosten ist erkennbar, dass die Vollstromvariante 2 in allen drei Kostenarten die höchsten Beträge aufweist.

## 9.5 Sensitivitätsanalyse

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

- Steigerung der Energiekosten (elektrisch) um 20 % auf 0,224 EUR/kWh, netto (0,267 EUR/kWh, brutto),
- Steigerung Bezugskosten für Aktivkohle (PAK) und Flüssigsauerstoff um 10 %,
- Reduzierung Dosierung Pulverkohle und Ozon um 20 %.

In **Tabelle 5** sind die prozentualen Steigerungen bzw. Reduzierungen der Jahreskosten dargestellt. Die Steigerung des Bezugspreises für elektrische Energie um 20 % führt auch bei der energieintensiven Variante 3 (Ozonung) zu einer Steigerung der Jahreskosten von rund 2,0 % bzw. 6.600 EUR/a, brutto. Bei der Variante 1 (PAK im Teilstrom) ist die Kostensteigerung mit 3.960 EUR/a, brutto am geringsten, dies entspricht einer Steigerung von 1,2 %. Auffällig ist, dass die Preissteigerung bei Anwendung von PAK im Vollstrom (V2) geringer ist als Anwendung von Ozon im Teilstrom (V3).

Die Steigerung der Bezugskosten um 10 % für die Aktivkohle und den Flüssigsauerstoff steigert die Jahreskosten bei allen drei Varianten um rund 0,62...0,70 %.

Die Reduzierung der Dosiermengen um etwa 20 % hat größere Einflüsse auf die Jahreskosten. Bei Variante 1 (PAK) würden durch die Reduzierung der Aktivkohlemenge die Betriebskosten um ca. 8.300 EUR/a, brutto (-2,6 %) sinken. Bei der Variante 3 (Ozonung + Sandfilter) würde sich eine Einsparung von rund 7.200 EUR/a, brutto (-2,3 %) ergeben. Bei der Vollstromvariante sind die Einsparungen mit 8.900 EUR/a, brutto (-2,3 %) am größten.

Zu beachten ist, dass die genauen Einsatzmengen nicht exakt vorausgesagt werden können. Sie sind abhängig vom Reinigungsziel, aber auch beispielsweise von den CSB- und Suspensa-Gehalte im Ablauf der Nachklärung.

**Tabelle 5: Prozentuale Veränderungen der Jahreskosten bei Variation der Energie- und Bezugskosten (Aktivkohle, Sauerstoff) sowie Einsatzmenge.**

	Variante 1 PAK m. Rücklaufk. (TS)	Variante 2 PAK m. Rücklaufk. (VS)	Variante 3 Ozonung + Sandfiltration
Energiekosten (+20%)	1,203%	1,447%	2,040%
Bezugskosten (+10%)	0,697%	0,618%	0,662%
Einsatzmenge (-20%)	-2,624%	-2,327%	-2,310%

## 10 Bewertung

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

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

Kriterium	Wichtung	Wertung					
		Variante 1		Variante 2		Variante 3	
		PAK m. Rücklaufk. (TS) Punkte	gewichtet	PAK m. Rücklaufk. (VS) Punkte	gewichtet	Ozonung + Sandfilt. Punkte	gewichtet
Jahreskosten	0,38	5	1,9	3	1,14	5	1,9
Reinigungsleistung Spurenstoffe	0,18	4	0,72	5	0,9	4	0,72
Reinigungsleistung P <sub>ges</sub> /CSB (zusätz. Reduk.)	0,12	4	0,48	5	0,6	3	0,36
Bildung Nebenprodukte	0,04	5	0,2	5	0,2	4	0,16
Erfahrungen/Referenzen	0,08	5	0,4	5	0,4	5	0,4
Betriebssicherheit	0,08	4	0,32	4	0,32	4	0,32
Sensitivität Kostensteigerungen	0,08	5	0,4	4	0,32	3	0,24
CO <sub>2</sub> -Bilanz	0,04	4	0,16	4	0,16	4	0,16
<b>Summe</b>	<b>1,00</b>	<b>36</b>	<b>4,58</b>	<b>35</b>	<b>4,04</b>	<b>32</b>	<b>4,26</b>

Wertung nach Punkten  
(steigende Punkte → bessere Wertung)

1 = ungenügend  
5 = sehr gut

Die **Jahreskosten** werden mit einer Wichtung von 38 % eingestuft. Wie schon im **Kapitel 9.4** dargestellt, sind die Jahreskosten bei Variante 1 und 3 am geringsten. Diese werden mit fünf Punkten bewertet. Die Vollstromvariante (V2) weist die höchsten Jahreskosten auf. Hier werden drei Punkte vergeben.

Die **Reinigungsleistung Spurenstoffe** wird mit 18 % gewichtet. Sehr gute Ergebnisse hat die Variante 2 (PAK mit RLK im Vollstrom). Daher wird die Vollstromvariante mit fünf Punkten bewertet. Die Teilstromvarianten erhalten jeweils 4 Punkte.

Die **Reinigungsleistung  $P_{ges}$  und CSB** wurde mit 12 % gewichtet. Sehr gute Ergebnisse hat die Variante 1 (PAK mit RLK) in Sindelfingen für  $P_{ges}$  und CSB erzielt. Dies wird mit fünf Punkten für die Vollstromvariante bewertet. Die Teilstromvariante (V1) erhält vier Punkte. Bei der Ozonung (Variante 3) sind nur geringe zusätzliche Effekte zu erwarten, daher werden hier 3 Punkte vergeben.

Die **Bildung von Nebenprodukten** 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 Ozonvariante (V3) erhält hier drei Punkte. Die Aktivkohlevarianten, wo keine Abbauprodukte entstehen können, 5 Punkte.

Für die vorgestellten Varianten ist die Situation hinsichtlich **Erfahrungen und Referenzen** unterschiedlich. Für die Variante 1 (PAK mit Rücklaufkohle), die bislang in Baden-Württemberg bevorzugt umgesetzt wurde, liegen derzeit schon sehr gute Erfahrungen vor. Derzeit sind Anlagen bis 1.000 l/s in Betrieb. Größere sind in Planung. Daher werden hier fünf Punkte vergeben. Auch für die Ozonung liegen schon einige Erfahrungen aus Referenzanlagen vor (z. B. Duisburg-Vierlinden, Bad Sassen-dorf und Neugut). Damit erhalten alle Varianten hier fünf Punkte.

Beim Punkt **Betriebssicherheit** wird das Verhalten des Verfahrens beim Ausfall eines Aggregates bewertet, auch inwieweit durch redundante Anlagenteile ein Weiterbetrieb und die Einhaltung der Reinigungsziele möglich sind. Die Auswirkungen auf weitere Anlagenteile werden in die Beurteilung einbezogen. Aufgrund der verschiedenen Aggregate und Pumpen, die für die Dosierung von PAK, Me-Salzen und Flockungshilfsmitteln sowie die Rücklaufkohleförderungen erforderlich sind, wird die Betriebssicherheit mit vier Punkten bewertet. Die Variante 3 (Ozonung) wird ebenfalls mit vier Punkten bewertet.

Die **Sensitivität** gegenüber **Kostensteigerungen** bei den Betriebsmitteln ist über die Laufzeit der Anlage zu betrachten, wie schon im **Kapitel 9.5** dargestellt. Hier zeigt die Variante 1 (PAK mit Rückführung im Teilstrom) die geringsten Einflüsse auf Kostensteigerungen. Sie wird daher mit 5 Punkten bewertet. Die Vollstromvariante (V2) folgt mit vier Punkten, Die Variante 3 (Ozon) folgt und erhält 3 Punkte.

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

In der **Summe** schneidet Variante 1 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung im Teilstrom) mit 4,58 Punkten am besten ab. Gefolgt von Variante 3 (Ozonung + Sandfiltration im Teilstrom) mit 4,26 Punkten. Die Variante 2 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung im Vollstrom) hat mit 4,04 Punkten die niedrigste Bewertung.

## 11 Zusammenfassung

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

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

**Variante 1:** Pulverkohledosierung mit Rücklaufkohle im Teilstrom,

**Variante 2:** Pulverkohledosierung mit Rücklaufkohle im Vollstrom,

**Variante 3:** Ozonung mit nachgeschalteter Sandfiltration im Teilstrom.

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

Die höchste Punktzahl erreicht Variante 1 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle im Teilstrom) mit 4,58 Punkten; die Ozonung mit nachgeschalteter Sandfiltration (Variante 3) kommt auf den zweiten Platz, mit 4,26 Punkten. Die Varianten 2 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle im Vollstrom) liegt mit 4,04 Punkten auf dem dritten Platz.

Bei den Jahreskosten liegt Variante 3 (Ozonung + Schönungsteich) mit 320.000 EUR/a, brutto vorn. Aufgrund der geringen verbrauchsgebundenen Kosten folgt Variante 1 (PAK mit RLK im Teilstrom) mit 325.000 EUR/a, brutto. Die Variante 2 (PAK mit RLK im Vollstrom) liegt mit 395.000 EUR/a, brutto auf dem dritten Platz.

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

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

Gegenüber den anderen Verfahren ist der Einfluss hier höher zu bewerten.

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

Die Variante 2 entspricht verfahrenstechnisch der Variante 1 jedoch ist die Stufe so ausgebaut, dass der komplette Anlagendurchfluss behandelt werden kann. Des Weiteren kann das Absetzbecken der PAK-Stufe auch als Nachklärbecken für die Belebungsstufe genutzt werden. In diesem Fall steht es nicht mehr für die 4. Reinigungsstufe zur Verfügung. Es ist daher kein vollwertiger Ersatz für ein zweites Nachklärbecken. Die Vollstromvariante erreichte in der Bewertungsmatrix den dritten Rang.

Die Ozonung mit nachgeschaltetem Schönungsteich (Variante 2) lag in der Bewertungsmatrix auf dem zweiten Platz. Die Jahreskosten dieses Verfahrens sind stark von der angewandten Ozondosis abhängig. Die weiteren Forschungsergebnisse hinsichtlich der Bildung von Transferprodukten sollten in die Entscheidungsfindung einfließen. Der Einsatz von Ozon bedingt einen hohen Energiebedarf auf der Kläranlage für die Erzeugung des Ozons. Damit reagieren die Ozonvarianten generell sensibler auf Kostensteigerungen beim Strombezug.

Die TUTTAHS & MEYER Ing.-GmbH empfiehlt Variante 1 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung im Teilstrom) und 3 (Ozonung mit nachgeschalteter Sandfiltration) für weitere Untersuchungen auf der Kläranlage Südlohn zu berücksichtigen.

## Literaturverzeichnis

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

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

### **ATV-A 203**

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

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

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

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

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

### **Cooney 1998**

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

### **DVGW W 239**

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

### **DWA 2008**

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

### **Grünebaum u. a. 2012**

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

### **Gujer 1999**

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

**Herbst u. a. 2011**

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

**Joss u. a. 2005**

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

**Kompetenzzentrum Spurenstoffe BW 2013**

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

**Kümmel u. Worch 1990**

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

**Meyer 1979**

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

**Meyer 2008**

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

**MUNLV 2004**

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

**Nahrstedt u. a. 2011**

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

**Palmowski u. a. 2011**

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

**Pinnekamp u. a. 2010**

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

**Schröder und Grömping 2013**

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

**Schwentner u. a. 2013a**

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

**Schwentner u. a. 2013b**

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

**Siegrist 2013**

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

**Sontheimer u. a. 1985**

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

**Ternes u. a. 2003**

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

**Worch 1997**

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

**Worch 2004**

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



## **Anlagen**

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

## Gemeinde Südlohn Kläranlage Südlohn

**Projekt:** Studie 4. Reinigungsstufe  
**Projektnummer** 0563 036  
**Variante:** Eingangsdaten

### Auslegungsdaten Hydraulik

<i>Gesamtzulauf Kläranlage</i>				
Max. TW-Zufluss (mit Fremdwasser)	Q_t	57 l/s		
		205 m³/h		
Maximaler Wasserzufluss	Q_m	114 l/s		
		410 m³/h		
<i>Teilstrombehandlung 4. Reinigungsstufe</i>				
Min. Volumenstrom für Teilstrombehandlung	Q_Teil,min	30 m³/h		Daten 2013
Max. Volumenstrom für Teilstrombehandlung	Q_Teil,max	250 m³/h		Festlegung Projektteam
		69 l/s		
Behandelte Abwassermenge im Teilstrom	Q_Teil,a	1.269.240 m³/a		Auswert. Daten 13
Behandelte Teilstrommenge pro Tag	Q_Teil,d	3.477 m³/d		
<i>Vollstromstrombehandlung 4. Reinigungsstufe</i>				
Min. Volumenstrom für Vollstrombehandlung	Q_Teil,min	30 m³/h		Daten 2013
Max. Volumenstrom für Vollstrombehandlung	Q_Teil,max	410 m³/h		Q_m
		114 l/s		
Behandelte Abwassermenge im Vollstrom	Q_Teil,a	1.369.660 m³/a		Auswert. Daten 13
Behandelte Vollstrommenge pro Tag	Q_Teil,d	3.752 m³/d		

Eingabefelder

Berechnungsfelder

## Gemeinde Südlohn Kläranlage Südlohn

**Projekt:** Studie 4. Reinigungsstufe  
**Projektnummer** 0563 036  
**Variante:** 1  
**PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung**

### Auslegungsdaten Hydraulik

### Teilstrombehandlung

<i>Gesamtzulauf Kläranlage</i>		
Max. TW-Zufluss (mit Fremdwasser)	Q <sub>t</sub>	57,00 l/s 205 m <sup>3</sup> /h
Maximaler Wasserzufluss (Trennsystem)	Q <sub>m</sub>	114,00 l/s 410 m <sup>3</sup> /h
<i>Teilstrombehandlung (4. Reinigungsstufe)</i>		
Min. Volumenstrom für Teilstrombehandlung	Q <sub>Teil,min</sub>	30 m <sup>3</sup> /h
Max. Volumenstrom für Teilstrombehandlung	Q <sub>Teil,max</sub>	250 m <sup>3</sup> /h 69 l/s
Behandelte Abwassermenge im Teilstrom	Q <sub>Teil,a</sub>	1.269.240 m <sup>3</sup> /a
Behandelte Teilstrommenge pro Tag	Q <sub>Teil,d</sub>	3.477 m <sup>3</sup> /d

Auswert. Daten 2013

### Auslegung Zwischenhebewerk

<i>Vorgaben</i>		
Volumenstrom, gesamt	Q <sub>Teil,max</sub>	250 m <sup>3</sup> /h
Anzahl Straßen	n <sub>Str</sub>	1
Volumenstrom, je Straße	Q <sub>Teil,max,Str</sub>	250 m <sup>3</sup> /h
Förderhöhe, abgeschätzt, <b>zusätzlich</b>	h <sub>gesch</sub>	3,0 m
spez. Energiebedarf		7 Wh/(m <sup>3</sup> ·m)
<i>Bemessung</i>		
Energiebedarf		26.654 kWh/a

Regelung Pumpen 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>
Anzahl Becken	n <sub>KB,ist</sub>	2
Kantenlänge Becken	l <sub>KB,ist</sub>	3,95 m
Höhe Wasserspiegel	h <sub>WS,KB,ist</sub>	4,10 m
Volumen eines KB	V <sub>KB,ist,n</sub>	64 m <sup>3</sup>
Gesamtvolumen KB	V <sub>KB,ist,ges</sub>	128 m <sup>3</sup>
<i>Nachweise bezogen auf Q<sub>Teil,max</sub></i>		
Aufenthaltszeit (ohne Berücksichtigung RLK)	t <sub>a,ist</sub>	30,72 min

## Gemeinde Südlohn Kläranlage Südlohn

**Projekt:** Studie 4. Reinigungsstufe  
**Projektnummer** 0563 036  
**Variante:** 1  
**PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung**

### Auslegung Rührwerk Kontaktbecken

<i>Vorgaben</i>		
Energieeintrag		8,00 W/m <sup>3</sup>
Anzahl Rührwerke, insgesamt	n_RW	2
Laufzeit, anteilig		24 h/d
<i>Bemessung</i>		
Leistungsbedarf	P_RW,KB	0,51 kW
Energiebedarf Rührwerke		25 kWh/d
		8.970 kWh/a

### Auslegung Absetzbecken

siehe gesondertes Blatt

### Auslegung Rücklaufkohlepumpwerk

<i>Vorgaben</i>		
Rückführverhältnis	RV	1,00
Förderhöhe, abgeschätzt	h_gesch	0,8 m
spez. Energiebedarf		8 Wh/(m <sup>3</sup> ·m)
<i>Bemessung</i>		
Volumenstrom Rücklaufkohle	Q_RLK	250 m <sup>3</sup> /h
Energiebedarf		8.123 kWh/a

Regelung Pumpwerk über FU

### Auslegung Überschussskohleentnahme

<i>Vorgaben</i>		
TS-Gehalt Schlamm		8,00 kg/m <sup>3</sup>
Tagesschlammmenge	V_ÜS	14,43 m <sup>3</sup> /d
angenommene Laufzeit		5,00 h/d
Förderhöhe, abgeschätzt	h_gesch	5,00 m
spez. Energiebedarf		8 Wh/(m <sup>3</sup> ·m)
<i>Bemessung</i>		
berechnete Fördermenge	Q_ber	2,89 m <sup>3</sup> /h
Gewählte Fördermenge	Q_gew	4,00 m <sup>3</sup> /h
Energiebedarf		211 kWh/a

Kreiselpumpe, gehärtetes Laufzeug  
 Steuerung über Zeit-Pausen-Schaltung

## Gemeinde Südlohn Kläranlage Südlohn

Projekt:

Studie 4. Reinigungsstufe

Projektnummer

0563 036

Variante:

1

PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung

### Pulverkohledosierung

Vorgaben		
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
gewählte Dosiersysteme		
1 Dosiergerät, (Ger. 1)	m <sub>Dos,Ger_1</sub>	5,0 kg/h
1 Dosiergerät, (Ger. 2)	m <sub>Dos,Ger_2</sub>	0,0 kg/h
Regelbereich je Dosiergerät		1/10
min. c_PAK bei Q_Str,min (Ger. 1)		17 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)		0 g/m <sup>3</sup>
max c_PAK bei Q_Str,max (Ger. 2)		0 g/m <sup>3</sup>
PAK-Bedarf		
mittlere PAK-Dosierkonzentration im Jahr	c_PAK,a	10,0 g/m <sup>3</sup>
Tagesbedarf	m_PAK,d	35 kg/d
Jahresbedarf	m_PAK,a	13 Mg/a
PAK-Silo		
gewähltes Silo-Volumen	V_Silo	50 m <sup>3</sup>
Nutzvolumen	V_Silo,Nutz	17 m <sup>3</sup>
Lagerungsdichte PAK	rho_B,PAK	400 kg/m <sup>3</sup>
Masse PAK, nutzbar	m_PAK,nutz	7 Mg
Intervall Nachfüllung Silo		0,5 a 196 d

### Pumpen Treibwasser für PAK-Dosierung

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

## Gemeinde Südlohn Kläranlage Südlohn

**Projekt:** **Studie 4. Reinigungsstufe**  
**Projektnummer** **0563 036**  
**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 im FM		0,138 kg Fe/kg FM
Dichte FM	rho_FM	1.430 kg/m <sup>3</sup>
<i>FM-Bedarf</i>		
Tagesbedarf	m_FM,d	101 kg/d
Jahresbedarf	m_FM,a	37 Mg/a
Jahresbedarf (Wirksubstanz: Me)	m_FM,Me,a	5,1 Mg Me/a
Jahresbedarf (Volumen)	V_FM,a	25,73 m <sup>3</sup> FM/a

### 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	0,7 kg/d
Jahresbedarf	m_FM,a	0,25 Mg/a

## Gemeinde Südlohn Kläranlage Südlohn

**Projekt:** **Studie 4. Reinigungsstufe**  
**Projektnummer** **0563 036**  
**Variante:** **1**  
**PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung**

### Auslegung Tuchfiltration

<b>Vorgaben</b>		
Filtergeschwindigkeit, maximal	v_F,max	8 m/h
Feststoffflächenbelastung	BA,max	0,250 kg/(m <sup>2</sup> ·h)
max. xTS-Konzentration im Zulauf	xTS,max,zu	35 mg/l
<b>Bemessung</b>		
erforderliche Filterfläche, gesamt nach V_F,max	A_F,erf,ges,vF	31 m <sup>3</sup>
erforderliche Filterfläche, gesamt nach BA,max	A_F,erf,ges,BA	35 m <sup>3</sup>
Anzahl Filterstraßen	n_Filt,ist	2
<i>gewählter Filtertyp (Beispielfabrikat)</i>		
Anzahl Scheiben je Filter	n_Scheiben	4
Filterfläche je Filter	A_F,ist,Str	20 m <sup>2</sup>
Filterfläche, gesamt	A_F,ist,ges	40 m <sup>2</sup>
<b>Nachweise bezogen auf Q_Teil,max</b>		
Filtergeschwindigkeit, maximal	v_F,ist,max	6,25 m/h
Feststoffflächenbelastung, maximal	BA,ist,max	0,219 kg/(m <sup>2</sup> ·h)
<b>Spülwasseranfall und -förderung</b>		
spez. Spülwasseranfall bezogen auf Filtratmenge		2%
Schlammwasseranfall pro Tag	V_Schlammwas,d	70 m <sup>3</sup> /d
Schlammwasseranfall pro Jahr	V_Schlammwas,a	25.385 m <sup>3</sup> /a
Förderhöhe, abgeschätzt (incl. Verluste)	h_gesch	10 m
spez. Energiebedarf		7 Wh/(m <sup>3</sup> ·m)
Energiebedarf		5 kWh/d
		1.777 kWh/a

Optimierung Rückspülregime in weiterer Planung und Betrieb

Eingabefelder

Berechnungsfelder



## Gemeinde Südlohn Kläranlage Südlohn

**Projekt:** Studie 4. Reinigungsstufe  
**Projektnummer:** 0563 036  
**Variante:** 1  
**PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung**  
**Bemessung Absetzbecken**

Beckentyp		Rechteckbecken
Schlammräumung (Schildräumung/Saugräumung)		Schildräumung
Durchströmung (vertikal/horizontal)		horizontal
Anzahl der Becken	n	1 Stück
wirksame Beckenlänge	l	25,00 m
Beckenbreite	b	6,00 m
Oberfläche	A	150 m <sup>2</sup>
Mind. Randbeckentiefe	$h_{\text{Rand,min}}$	3,00 m
Beckenrandtiefe	$h_{\text{Rand,ist}}$	3,50 m
Beckenvolumen	$V_{\text{Sed}}$	525 m <sup>3</sup>

### Festlegung der Bemessungsdaten

Max. Zulauf je Becken	$Q_{\text{max}}$	250 m <sup>3</sup> /h
		69 l/s
Rücklaufverhältnis	RV	1,00
Min. Aufenthaltszeit Sedimentation	$t_{\text{v,Sed, min}}$	2,00 h
max. Oberflächenbeschickung	$q_{\text{a,max}}$	1,8 m/h
Schlammvolumen	ISV	100,0 ml/g
TS-Gehalt im Kontaktbecken	TS	4,0 g/l

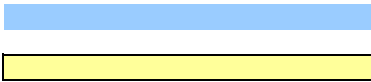
Diss. Metzger

### Nachweis Flächenbeschickung und Aufenthaltszeit

Flächenbeschickung	$q_A$	$Q_{\text{max}}/A =$	1,7 m/h
Aufenthaltszeit	$t_{\text{v,sed}}$	$V_{\text{Sed}}/Q_{\text{max}} =$	2,10 h

Bedingung erfüllt  
 Bedingung erfüllt

### Legende



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

## Gemeinde Südlohn Kläranlage Südlohn

**Projekt:** **Studie 4. Reinigungsstufe**  
**Projektnummer** **0563 036**  
**Variante:** **2**  
**PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung**

### Auslegungsdaten Hydraulik

### Vollstrombehandlung

<i>Gesamtzulauf Kläranlage</i>		
Max. TW-Zufluss (mit Fremdwasser)	Q <sub>t</sub>	57,00 l/s 205 m <sup>3</sup> /h
Maximaler Wasserzufluss	Q <sub>m</sub>	114,00 l/s 410 m <sup>3</sup> /h
<i>Vollstrombehandlung (4. Reinigungsstufe)</i>		
Min. Volumenstrom für Vollstrombehandlung	Q <sub>Voll,min</sub>	30 m <sup>3</sup> /h
Max. Volumenstrom für Vollstrombehandlung	Q <sub>Voll,max</sub>	410 m <sup>3</sup> /h
		114 l/s
Behandelte Abwassermenge im Vollstrom	Q <sub>Voll,a</sub>	1.369.660 m <sup>3</sup> /a
Behandelte Teilstrommenge pro Tag	Q <sub>Voll,d</sub>	3.752 m <sup>3</sup> /d

### Auslegung Zwischenhebewerk

<i>Vorgaben</i>		
Volumenstrom, gesamt	Q <sub>Voll,max</sub>	410 m <sup>3</sup> /h
Anzahl Straßen	n <sub>Str</sub>	1
Volumenstrom, je Straße	Q <sub>Voll,max,Str</sub>	410 m <sup>3</sup> /h
Förderhöhe, abgeschätzt, <b>zusätzlich</b>	h <sub>gesch</sub>	3,0 m
spez. Energiebedarf		7 Wh/(m <sup>3</sup> ·m)
<i>Bemessung</i>		
Energiebedarf		28.763 kWh/a

Neubau Pumpwerk

Regelung Pumpen 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>	205 m <sup>3</sup>
Anzahl Becken	n <sub>KB,ist</sub>	3
Kantenlänge Becken	l <sub>KB,ist</sub>	4,10 m
Höhe Wasserspiegel	h <sub>WS,KB,ist</sub>	4,10 m
Volumen eines KB	V <sub>KB,ist,n</sub>	69 m <sup>3</sup>
Gesamtvolumen KB	V <sub>KB,ist,ges</sub>	207 m <sup>3</sup>
<i>Nachweise bezogen auf Q<sub>max</sub></i>		
Aufenthaltszeit (ohne Berücksichtigung RLK)	t <sub>a,ist</sub>	30,26 min

## Gemeinde Südlohn Kläranlage Südlohn

**Projekt:** Studie 4. Reinigungsstufe  
**Projektnummer** 0563 036  
**Variante:** 2  
**PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung**

### Auslegung Rührwerk Kontaktbecken

<i>Vorgaben</i>		
Energieeintrag		8,00 W/m <sup>3</sup>
Anzahl Rührwerke, insgesamt	n_RW	3
Laufzeit, anteilig		24 h/d
<i>Bemessung</i>		
Leistungsbedarf	P_RW,KB	1,66 kW
Energiebedarf Rührwerke		119 kWh/d 43.520 kWh/a

### Auslegung Absetzbecken

siehe gesondertes Blatt

### Auslegung Rücklaufkohlepumpwerk

<i>Vorgaben</i>		
Rückführverhältnis	RV	1,00
Förderhöhe, abgeschätzt	h_gesch	0,8 m
spez. Energiebedarf		8 Wh/(m <sup>3</sup> ·m)
<i>Bemessung</i>		
Volumenstrom Rücklaufkohle	Q_RLK	410 m <sup>3</sup> /h
Energiebedarf		8.766 kWh/a

Regelung Pumpen über FU

## Gemeinde Südlohn Kläranlage Südlohn

<b>Projekt:</b>	<b>Studie 4. Reinigungsstufe</b>
<b>Projektnummer</b>	<b>0563 036</b>
<b>Variante:</b>	<b>2</b>
	<b>PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung</b>

### Auslegung Überschussskohleentnahme

<i>Vorgaben</i>		
TS-Gehalt Schlamm		8,00 kg/m <sup>3</sup>
Tagesschlammmenge	V_ÜS	15,57 m <sup>3</sup> /d
angenommene Laufzeit		5,00 h/d
Förderhöhe, abgeschätzt	h_gesch	5,00 m
spez. Energiebedarf		8 Wh/(m <sup>3</sup> ·m)
<i>Bemessung</i>		
berechnete Fördermenge	Q_ber	3,11 m <sup>3</sup> /h
Gewählte Fördermenge	Q_gew	4,00 m <sup>3</sup> /h
Energiebedarf		227 kWh/a

Kreiselpumpe, gehärtetes Laufzeug  
Steuerung über Zeit-Pausen-Schaltung

### 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		8,2 kg/h
<i>gewählte Dosiersysteme</i>		
1 Dosiergerät, (Ger. 1)	m▪_Dos,Ger_1	8,2 kg/h
1 Dosiergerät, (Ger. 2)	m▪_Dos,Ger_2	4,1 kg/h
Regelbereich je Dosiergerät		1/10
min. c_PAK bei Q_Str,min (Ger. 1)		27 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)		14 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	38 kg/d
Jahresbedarf	m_PAK.a	14 Mg/a
<i>PAK-Silo</i>		
gewähltes Silo-Volumen	V_Silo	50 m <sup>3</sup>
Nutzvolumen	V_Silo,Nutz	17 m <sup>3</sup>
Lagerungsdichte PAK	rho_B,PAK	400 kg/m <sup>3</sup>
Masse PAK, nutzbar	m_PAK,nutz	7 Mg
Intervall Nachfüllung Silo		0,5 a
		181 d

## Gemeinde Südlohn Kläranlage Südlohn

**Projekt:** Studie 4. Reinigungsstufe  
**Projektnummer** 0563 036  
**Variante:** 2  
**PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung**

### Pumpen Treibwasser für PAK-Dosierung

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

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

<i>Vorgaben</i>		
min. Dosierkonzentration	c_Me,min	2,0 g/m <sup>3</sup>
max. Dosierkonzentration	c_Me,max	8,0 g/m <sup>3</sup>
mittlere Dosierkonzentration im Jahr	c_Me,a	4,0 g/m <sup>3</sup>
WS-Gehalt im FM		0,138 kg Fe/kg FM
Dichte FM	rho_FM	1.430 kg/m <sup>3</sup>
<i>FM-Bedarf</i>		
Tagesbedarf	m_FM,d	109 kg/d
Jahresbedarf	m_FM,a	40 Mg/a
Jahresbedarf (Wirksubstanz: Me)	m_FM,Me,a	5,5 Mg Me/a
Jahresbedarf (Volumen)	V_FM,a	27,76 m <sup>3</sup> FM/a

### 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	0,8 kg/d
Jahresbedarf	m_FM,a	0,27 Mg/a

## Gemeinde Südlohn Kläranlage Südlohn

**Projekt:** Studie 4. Reinigungsstufe  
**Projektnummer** 0563 036  
**Variante:** 2  
**PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung**

### Auslegung Tuchfiltration

<b>Vorgaben</b>			
Filtergeschwindigkeit, maximal	v_F,max	8	m/h
Feststoffflächenbelastung	BA,max	0,250	kg/(m <sup>2</sup> ·h)
max. xTS-Konzentration im Zulauf	xTS.max,zu	35	mg/l
<b>Bemessung</b>			
erforderliche Filterfläche, gesamt nach V_F,max	A_F,erf,ges,vF	51	m <sup>2</sup>
erforderliche Filterfläche, gesamt nach BA,max	A_F,erf,ges,BA	57	m <sup>2</sup>
Anzahl Filterstraßen	n_Filt,ist	2	
<i>gewählter Filtertyp (Beispielfabrikat)</i>		Meccana SF 6/30	
Anzahl Scheiben je Filter	n_Scheiben	6	
Filterfläche je Filter	A_F,ist,Str	30	m <sup>2</sup>
Filterfläche, gesamt	A_F,ist,ges	60	m <sup>2</sup>
<b>Nachweise bezogen auf Q_Teil,max</b>			
Filtergeschwindigkeit, maximal	v_F,ist,max	6,84	m/h
Feststoffflächenbelastung, maximal	BA,ist,max	0,239	kg/(m <sup>2</sup> ·h)
<b>Spülwasseranfall und -förderung</b>			
spez. Spülwasseranfall bezogen auf Filtratmenge		2%	
Schlammwasseranfall pro Tag	V_Schlammwas,d	75	m <sup>3</sup> /d
Schlammwasseranfall pro Jahr	V_Schlammwas,a	27.393	m <sup>3</sup> /a
Förderhöhe, abgeschätzt (incl. Verluste)	h_gesch	10	m
spez. Energiebedarf		7	Wh/(m <sup>3</sup> ·m)
Energiebedarf		5	kWh/d
		1.918	kWh/a

Optimierung Rückspülregime in weiterer Planung und Betrieb

Eingabefelder

Berechnungsfelder

## Gemeinde Südlohn Kläranlage Südlohn

**Projekt:** Studie 4. Reinigungsstufe  
**Projektnummer** 0563 036  
**Variante:** 2  
**PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung**  
**Bemessung Absetzbecken**

Beckentyp		Rundbecken
Schlammräumung (Schildräumung/Saugräumung)		Schildräumung
Durchströmung (vertikal/horizontal)		horizontal
Anzahl der Becken	n	1 Stück
Innendurchmesser Becken	$D_i$	24,00 m
Außendurchmesser Becken	$D_A$	24,70 m
Außendurchmesser Königstuhl	$D_{KS,a}$	3,60 m
Oberfläche	A	442 m <sup>2</sup>
Beckentiefe im 2/3-Punkt	$h_{2/3} = h_{ges}$	3,50 m
Beckenrandtiefe	$h_{Rand}$	3,23 m
Neigung der Sohle	$l_s$	0,07
Beckenvolumen	V <sub>Sed</sub>	1.548 m <sup>3</sup>

### Festlegung der Bemessungsdaten

Max. Zulauf	$Q_{max}$	410 m <sup>3</sup> /h
		114 l/s
Rücklaufverhältnis	RV	1,00
Min. Aufenthaltszeit Sedimentation	$t_{v,Sed}$ , min	2,00 h
max. Oberflächenbeschickung	$q_{a,max}$	1,8 m/h
Schlammvolumen	ISV	100,0 ml/g
TS-Gehalt im Kontaktbecken	TS	4,0 g/l

### Nachweis Flächenbeschickung und Aufenthaltszeit

Flächenbeschickung	$q_A$	$Q_{max}/A =$	0,90 m/h
Aufenthaltszeit	$t_{v, sed}$	$V_{Sed}/Q_{max} =$	3,77 h

### Legende

Eingabefelder
Berechnungsfelder

## Gemeinde Südlohn Kläranlage Südlohn

**Projekt:** Studie 4. Reinigungsstufe  
**Projektnummer** 0563 036  
**Variante:** 3  
**Ozon mit nachgeschaltetem Filter** (kontinuierlich gespült)

### Auslegungsdaten Hydraulik

### Teilstrombehandlung

<i>Gesamtzulauf Kläranlage</i>		
Max. TW-Zufluss (mit Fremdwasser)	Q <sub>t</sub>	57,00 l/s 205 m <sup>3</sup> /h
Maximaler Wasserzufluss (Trennsystem)	Q <sub>m</sub>	114,00 l/s 410 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
Behandelte Abwassermenge im Teilstrom	Q <sub>Teil,a</sub>	1.269.240 m <sup>3</sup> /a
Behandelte Teilstrommenge pro Tag	Q <sub>Teil,d</sub>	3.477 m <sup>3</sup> /d

Auswert. Daten 2013

### Auslegung Zwischenhebewerk

<i>Vorgaben</i>		
Volumenstrom, gesamt	Q <sub>Teil,max</sub>	250 m <sup>3</sup> /h
Anzahl Straßen	n <sub>Str</sub>	2
Volumenstrom, je Straße	Q <sub>Teil,max,Str</sub>	125 m <sup>3</sup> /h
Förderhöhe, abgeschätzt, <b>zusätzlich</b>	h <sub>gesch</sub>	4,00 m
spez. Energiebedarf		7 Wh/(m <sup>3</sup> ·m)
<i>Bemessung</i>		
Energiebedarf		35.539 kWh/a

Neubau Pumpwerk in bestehenden Spitzenausgleichsbecken

→ Auslegung Pumpwerk für zweistrassigen Betrieb

Regelung Pumpe über FU



## Gemeinde Südlohn Kläranlage Südlohn

**Projekt:** Studie 4. Reinigungsstufe  
**Projektnummer** 0563 036  
**Variante:** 3  
**Ozon mit nachgeschaltetem Filter** (kontinuierlich gespült)

### Auslegung Kontaktreaktor Ozon

<i>Vorgaben</i>		
Kontaktzeit (Bereich)	t_KR	10...30 min
Kontaktzeit, gewählt	t_KR,ges,gew	25 min
davon im Kontaktreaktor		20 min
in der Ausgasungszone		5 min
Straßen	n_Str	2
<i>Bemessung Reaktor</i>		
erforderliches Volumen	V_KR,ges	104 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_Str	2
Wasserspiegelhöhe	h_WS	6,00 m
Länge (innen)	l_KR,gew	5,00 m
Breite (innen), Straße	b_KR,gew	2,00 m
Volumen,ist,Str	V_KR,ist,Str	60 m <sup>3</sup>
Volumen,ist,ges	V_KR,ist,ges	120 m <sup>3</sup>
<i>Nachweise bezogen auf Q_Teil,max</i>		
tatsächliche Kontaktzeit im Reaktor	t_KR,ist	28,80 min
Kontaktzeit bei (n-1 ) Straßen	t_KR,ist,n-1	14,40 min

### Auslegung Ozonerzeuger

<i>Vorgaben</i>		
min. Dosis	c_O3,min	2,0 g/m <sup>3</sup>
max. Dosis	c_O3,max	10,0 g/m <sup>3</sup>
mittlere Dosis im Jahr	c_O3,a	6,0 g/m <sup>3</sup>
Prozessgas für Ozonerzeugung	Sauerstoff	
spez. O3-Konzentration bez. auf Prozessgas		0,143 kgO3/Nm <sup>3</sup> O2
Dichte O2 bei Standardbedingungen	rho_O2,Norm	1,337 kgO2/m <sup>3</sup>
spez. Energiebedarf O3-Erzeugung mit Restvernicht.		9,4 kWh/kgO3
<i>Bemessung</i>		
O3-Bedarf bei max. O3-Dosis und Q_Teil,max		2,50 kg O3/h
gewählte Anlage		2,50 kg O3/h
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,d		21 kg O3/d
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,a		7.615 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		195 kg O2/d
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,a		71.202 kg O2/a
<i>Energiebedarf</i>		
Bedarf bei max. Dosierung und Q_Teil,max		24 kWh
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,d		196 kWh/d
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,a		71.585 kWh/a

## Gemeinde Südlohn Kläranlage Südlohn

**Projekt:** Studie 4. Reinigungsstufe  
**Projektnummer** 0563 036  
**Variante:** 3  
**Ozon mit nachgeschaltetem Filter** (kontinuierlich gespült)

### Pumpen Kühlwasser Ozonerzeuger

<i>Vorgaben</i>			
Volumenstrom	Q_Kühl	10	m³/h
Förderhöhe, abgeschätzt (incl. Verluste)	h_gesch	30	m
spez. Energiebedarf		7	Wh/(m³·m)
Laufzeit, anteilig		24	h/d
<i>Bemessung</i>			
Energiebedarf		18.396	kWh/a

### Auslegung Filtration (kontinuierlich gespülter Sandfilter)

<i>Vorgaben</i>				
AFS im Zulauf	xTS_AN	< 20	mg/l	Vorgabe
Oberflächenbelastung		12,5	m/h	Ang. Nordic Water
Filterfläche, gesamt	A_F,ges	20,0	m²	Ang. Nordic Water
Anzahl Filter	n_Filter	4		Ang. Nordic Water
Filterfläche je Filter, gewählt	A_F,n	5,0	m²	Ang. Nordic Water
Spülwassermenge	Q_Spül,max	20,0	m³/h	Ang. Nordic Water
Spülwassermenge im Mittel		2...3 %	des Zulaufs	Ang. Nordic Water
Spülwassermenge im Mittel gewählt		3%		
Förderhöhe Schlammwasser, abgeschätzt	h_SW	10,0	m	
spez. Energiebedarf Schlammwasserförder.		7	Wh/(m³·m)	
Luftbedarf maximal	Q_Luft,max	48	m³/h	Ang. Nordic Water
Luftbedarf normal	Q_Luft,normal	12	m³/h i. N.	Ang. Nordic Water
Luftbedarf, mittel, gew		12	m³/h i. N.	Abgeschätzt
Energiebedarf Druckluft		0,13	kWh/m³	Annahme
<i>Bemessung</i>				
Spülwasseranfall im Mittel pro Tag	Q_Spül,mittel,d	104	m³/d	
Spülwasseranfall im Mittel pro Jahr	Q_Spül,mittel,a	38.077	m³/a	
Druckluftbedarf pro Tag (mittlerer Bedarf)		288	m³/d	
Druckluftbedarf pro Jahr (mittlerer Bedarf)		105.120	m³/a	
<i>Energiebedarf</i>				
Druckluftherzeugung (ohne Adsorptionstrockner)		37	kWh/d	
Druckluftherzeugung (ohne Adsorptionstrockner)		13.666	kWh/a	
Schlammwasserförderung		2.665	kWh/a	

Eingabefelder

Berechnungsfelder

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

**Gemeinde Südlohn  
Kläranlage Südlohn**

**Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe  
Projektum 0563 036**

**Zusammenstellung Investitionskosten**

Pos.-Nr	Text		Variante 1 PAK m. RLK (TS)	Variante 2 PAK m. RLK (VS)	Variante 3 Ozon + SF
1	Bautechnik	EUR	734.051,50	886.510,40	545.037,50
2	Maschinenteknik	EUR	701.568,00	899.448,90	732.900,00
3	EMSR-Technik	EUR	231.000,00	280.000,00	340.000,00
<b>Summe Herstellungskosten, netto</b>		<b>EUR</b>	<b>1.666.619,50</b>	<b>2.065.959,30</b>	<b>1.617.937,50</b>
Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)		EUR	333.323,90	413.191,86	323.587,50
<b>Summe Baukosten, netto</b>		<b>EUR</b>	<b>1.999.943,40</b>	<b>2.479.151,16</b>	<b>1.941.525,00</b>
Mehrwertsteuer		EUR	379.989,25	471.038,72	368.889,75
<b>Summe Baukosten, brutto</b>		<b>EUR</b>	<b>2.379.932,65</b>	<b>2.950.189,88</b>	<b>2.310.414,75</b>
<b>Anteil</b>			<b>103%</b>	<b>128%</b>	<b>100%</b>

**Gemeinde Südlohn**  
**Kläranlage Südlohn**

Projekt: **Studie 4. Reinigungsstufe**

Projektum **0563 036**

Variante: **1**

**PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle**

Investitionskostenannahme

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
<b>0</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b> (10 % Bautechnik) (5 % Maschinentechnik)				66.186,50 €	33.408,00 €		99.594,50 €
<b>1</b>	<b>Vorbereitende Arbeiten</b> Räumung Baufeld Wasserhaltung	1,00 1,00	psch psch	6.000,00 € 25.000,00 €	6.000,00 € 25.000,00 €			31.000,00 €
<b>2</b>	<b>PW 4. Reinig.-stufe im Kombi-BW</b> Pumpenvorlage (umbauter Raum) Einhausung NS-Verteilung Schacht Anbindung bestehende RL Schlosserarbeiten (Gitterrost/Geländer)	180,00 1,00 1,00 1,00	m³ psch psch psch	300,00 € 30.000,00 € 25.000,00 € 30.000,00 €	54.000,00 € 30.000,00 € 25.000,00 € 30.000,00 €			139.000,00 €
<b>3</b>	<b>Kontaktbecken im Kombi-BW</b> Kontaktbecken (2 Stück) Rührwerke Absenkschieber Zu-/Ablauf Schlosserarb. Gerinne Umfahrung	128,00 2,00 4,00 1,00 24,00	m³ St St psch m³	300,00 € 10.000,00 € 4.000,00 € 2.000,00 € 500,00 €	38.400,00 €   2.000,00 € 12.000,00 €	20.000,00 € 16.000,00 €		76.400,00 €
<b>4</b>	<b>Absetzbecken im Kombi-BW</b> Absetzbecken mit Erdarbeiten Schlosserarb. Räumer Schürze Einlauf Ablaufrinne VA Gerinne Umfahrung Absenkschieber Zulauf mit Antrieb	525,00 1,00 1,00 1,00 18,00 7,00 1,00	m³ psch St St m m³ St	250,00 € 60.000,00 € 55.000,00 € 15.000,00 € 800,00 € 500,00 € 9.000,00 €	131.250,00 € 60.000,00 €    3.500,00 € 9.000,00 €	55.000,00 € 15.000,00 € 14.400,00 €		288.150,00 €
<b>4</b>	<b>Tuchfiltration</b> Becken Tuchfilter I + II Anbindung Ein- und Ablauf (Gerinne) Schlosserarbeiten (Bediengang + Treppe) Absenkschieber mit E-Antrieb Absenkschieber Ablaufleitung Steuerung + VOST Tuchfilter Tuchfilter Montage + IBN Filter	65,00 1,00 1,00 2,00 2,00 1,00 2,00 1,00	m³ psch psch St St psch St psch	550,00 € 13.000,00 € 12.000,00 € 9.000,00 € 6.000,00 € 15.000,00 € 70.000,00 € 14.000,00 €	35.750,00 € 13.000,00 € 12.000,00 €     14.000,00 €	18.000,00 € 12.000,00 €	15.000,00 €	259.750,00 €
<b>5</b>	<b>PAK-Silo 80 m³</b> Silo mit Dosiereinrichtung Pumpe Treibwasser m. Verrohr Kompressor mit Lufttrocknung Steuerung	1,00 1,00 1,00 1,00	St psch St St	110.000,00 € 8.000,00 € 8.000,00 € 30.000,00 €		110.000,00 € 8.000,00 € 8.000,00 €	30.000,00 €	156.000,00 €
<b>6</b>	<b>Rohrtech. Installation</b> <i>Rücklaufkohleleitung</i> 1 Leitung DN 300 VA Formstücke, Flansche, Einbindung etc. Armaturen (sonstige)	8,00 1,00 1,00	m psch psch	320,00 € 2.000,00 € 3.000,00 €		2.560,00 € 2.000,00 € 3.000,00 €		7.560,00 €
<b>7</b>	<b>Flockungsmitteldosierung (Me-Salze)</b> Erneuerung Dosieranlage Dosierleitungen (Schutzrohr + Schlauch)	1,00 90,00	psch m	70.000,00 € 100,00 €		70.000,00 € 9.000,00 €		79.000,00 €
<b>8</b>	<b>Flockungshilfsmitteldosierung</b> Bereitungsanlage mit Dosierleitungen Dosierleitungen	1,00 20,00	psch m	30.000,00 € 60,00 €		30.000,00 € 1.200,00 €		31.200,00 €

**Gemeinde Südlohn**  
**Kläranlage Südlohn**

Projekt: **Studie 4. Reinigungsstufe**

Projektum **0563 036**

Variante: **1**

**PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle**

Investitionskostenannahme

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
<b>9</b>	<b>Pumpen</b>							88.000,00 €
	RLK-Pumpe mit Arm. + Verrohrung	2,00	St	15.000,00 €		30.000,00 €		
	ÜS-Kohlepumpe mit Verrohrung	1,00	St	8.000,00 €		8.000,00 €		
	Schlammwasserpumpe mit Verrohrung	1,00	St	8.000,00 €		8.000,00 €		
	Zulaufpumpen mit Arm. + Verrohr.	3,00	St	14.000,00 €		42.000,00 €		
<b>10</b>	<b>Erdverlegte Rohrleitungen</b>							52.680,00 €
	Zulauf. PE 100 SDR 17 400*23,7	7,00	m	220,00 €	1.540,00 €			
	Formstücke	1,00	psch	1.000,00 €	1.000,00 €			
	Leitung TF-> Abl. PE 100 SDR 17 400*23,7	7,00	m	220,00 €	1.540,00 €			
	Formstücke	1,00	psch	1.000,00 €	1.000,00 €			
	Anbindung neue Ltg (Abl.) an Bestand.	1,00	psch	15.000,00 €	15.000,00 €			
	ÜS-Kohle KB PE 100 SDR 17 63*3,8	135,00	m	100,00 €	13.500,00 €			
	Formstücke	1,00	psch	800,00 €	800,00 €			
	Schlammwasser TF PE 100 SDR 17 63*3,8	135,00	m	100,00 €	13.500,00 €			
	Formstücke	1,00	psch	800,00 €	800,00 €			
	Einbindung Rohrleitung (Bohrungen usw.)	1,00	psch	4.000,00 €	4.000,00 €			
<b>11</b>	<b>Ablaufmessung</b>							69.000,00 €
	Schacht Ablaufmessung	1,00	psch	40.000,00 €	40.000,00 €			
	Rohrtech. Inst	1,00	psch	15.000,00 €		15.000,00 €		
	Einbindung in Bestand RL	1,00	psch	4.000,00 €	4.000,00 €			
	Messtechnik	1,00	psch	8.000,00 €			10.000,00 €	
<b>12</b>	<b>Einzäunung</b>							9.285,00 €
	Rückbau bestehender Zaun	1,00	psch	1.000,00 €	1.000,00 €			
	Zauntür	1,00	St	2.500,00 €	2.500,00 €			
	Doppelstab-Mattenzaun	89,00	m	65,00 €	5.785,00 €			
<b>13</b>	<b>Kabelschächte/Leerrohre</b>	1,00	St	9.000,00 €	9.000,00 €			9.000,00 €
<b>14</b>	<b>Hausinstallation/Entwässerung</b>	1,00	psch	12.000,00 €	12.000,00 €			12.000,00 €
<b>15</b>	<b>Strassen-/Wegebau/Aussenanlagen</b>	1,00	psch	60.000,00 €	60.000,00 €			60.000,00 €
<b>16</b>	<b>Inbetriebnahme/Dokumentation</b>							11.000,00 €
	Dokumentation	1,00	psch	3.000,00 €	3.000,00 €			
	Dokumentation/Inbetriebnahme	1,00	psch	8.000,00 €		8.000,00 €		
<b>17</b>	<b>EMSR-Technik</b>							176.000,00 €
	Pauschal (25 % der MT)	1,00	psch	176.000,00 €			176.000,00 €	
	<b>Summe Herstellungskosten, netto</b>				<b>734.051,50 €</b>	<b>701.568,00 €</b>	<b>231.000,00 €</b>	<b>1.666.619,50 €</b>
	Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)			20%	<b>146.810,30 €</b>	<b>140.313,60 €</b>	<b>46.200,00 €</b>	<b>333.323,90 €</b>
	<b>Summe Baukosten, netto</b>				<b>880.861,80 €</b>	<b>841.881,60 €</b>	<b>277.200,00 €</b>	<b>1.999.943,40 €</b>
	Mehrwertsteuer			19%				<b>379.989,25 €</b>
	<b>Summe Baukosten, brutto</b>							<b>2.379.932,65 €</b>

<b>Kapitalkosten</b>				
Nutzungsdauer Bautechnik in Jahren	30			
Nutzungsdauer Masch.-Technik in Jahren		15		
Nutzungsdauer EMSR-Technik in Jahren			10	
Zinssatz i	3%	3%	3%	
<b>Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (i;n)</b>				
Kapitalwiedergewinnungsfaktor Bautechnik	0,05102			
Kapitalwiedergewinnungsfaktor Masch.-Technik		0,08377		
Kapitalwiedergewinnungsfaktor EMSR-Technik			0,11723	
<b>Summe Kapitalkosten/a, netto</b>	<b>44.940,92 €</b>	<b>70.521,54 €</b>	<b>32.496,30 €</b>	<b>147.958,76 €</b>

<b>Wartung- und Instandhaltungskosten</b>				
1,0 %/a der Baukosten	8.808,62 €			
4,0 %/a der Kosten für technische Installationen		33.675,26 €		
2,0 %/a der Kosten für EMSR-Technik			5.544,00 €	
<b>Summe Wartungs-/Instandhaltungskosten/a, netto</b>	<b>8.808,62 €</b>	<b>33.675,26 €</b>	<b>5.544,00 €</b>	<b>48.027,88 €</b>

**Gemeinde Südlohn  
Kläranlage Südlohn**
**Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe**
**Projektum 0563 036**
**Variante: 2**
**PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle (Vollstrom)**
**Investitionskostenannahme**

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
<b>0</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b> (10 % Bautechnik) (5 % Maschinentechnik)				80.046,40 €		42.830,90 €	122.877,30 €
<b>1</b>	<b>Vorbereitende Arbeiten</b> Räumung Baufeld Wasserhaltung	1,00 1,00	psch psch	6.000,00 € 25.000,00 €	6.000,00 € 25.000,00 €			31.000,00 €
<b>2</b>	<b>PW 4. Reini.-stufe im Kombi-BW</b> Pumpenvorlage (umbauter Raum) Einhausung NS-Verteilung Schlosserarbeiten (Gitterrost/Geländer)	168,00 1,00 1,00	m³ psch psch	300,00 € 30.000,00 € 30.000,00 €	50.400,00 € 30.000,00 € 30.000,00 €			110.400,00 €
<b>3</b>	<b>Kontaktbecken im Kombi-BW</b> Kontaktbecken (3 Stück) Rührwerke Absenkschieber Zu-/Ablauf Schlosserarb. Gerinne Umfahrung	207,00 3,00 6,00 1,00 18,00	m³ St St psch m³	300,00 € 10.000,00 € 4.000,00 € 4.000,00 € 500,00 €	62.100,00 €   4.000,00 € 9.000,00 €	30.000,00 € 24.000,00 €		120.100,00 €
<b>4</b>	<b>Tuchfiltration</b> Becken Tuchfilter I + II Anbindung Ein- und Ablauf (Gerinne) Schlosserarbeiten (Bediengang + Treppe) Absenkschieber mit E-Antrieb Absenkschieber Ablaufleitung Steuerung + VOST Tuchfilter Tuchfilter Montage + IBN Filter	72,00 1,00 1,00 2,00 2,00 1,00 2,00 1,00	m³ psch psch St St psch St psch	550,00 € 13.000,00 € 12.000,00 € 9.000,00 € 6.000,00 € 15.000,00 € 90.000,00 € 14.000,00 €	39.600,00 € 13.000,00 € 12.000,00 €    180.000,00 € 14.000,00 €	18.000,00 € 12.000,00 €	15.000,00 €	303.600,00 €
<b>5</b>	<b>Absetzbecken als Rundbecken</b> Erdarbeiten Absetzbecken Schlosserarb. Räumer Schürze Einlauf Ablaufrinne VA	1,00 1.548,00 1,00 1,00 1,00 75,40	psch m³ psch St St m	100.000,00 € 18,00 € 60.000,00 € 57.000,00 € 19.000,00 € 770,00 €	100.000,00 € 27.864,00 € 60.000,00 €	57.000,00 € 19.000,00 € 58.058,00 €		321.922,00 €
<b>6</b>	<b>PAK-Silo 80 m³</b> Silo mit Dosiereinrichtung Pumpe Treibwasser m. Verrohr Kompressor mit Lufttrocknung Steuerung	1,00 1,00 1,00 1,00	St psch St St	130.000,00 € 8.000,00 € 8.000,00 € 30.000,00 €		130.000,00 € 8.000,00 € 8.000,00 €	30.000,00 €	176.000,00 €
<b>7</b>	<b>Pulveraktivkohle (Erstbefüllung)</b> Aktivkohle	18,00	Mg	1.500,00 €		27.000,00 €		27.000,00 €
<b>8</b>	<b>Rohrtech. Installation</b> <i>Pumpensammler</i> 1 Leitung DN 500 VA Formstücke, Flansche, Einbindung etc. Armaturen (sonstige) <i>Rücklaufschlamm NK</i> 1 Teleskopschieber m. E-Antrieb	12,00 1,00 1,00 1,00 1,00	m psch psch psch St	530,00 € 4.000,00 € 7.000,00 € 9.000,00 €		6.360,00 € 4.000,00 € 7.000,00 € 9.000,00 €		17.360,00 €
<b>9</b>	<b>Flockungsmitteldosierung (Me-Salze)</b> Erneuerung Dosieranlage Dosierleitungen (Schutzrohr + Schlauch)	1,00 90,00	psch m	70.000,00 € 100,00 €		70.000,00 € 9.000,00 €		79.000,00 €
<b>10</b>	<b>Flockungshilfsmitteldosierung</b> Bereitungsanlage mit Dosierleitungen Dosierleitungen	1,00 20,00	psch m	30.000,00 € 60,00 €		30.000,00 € 1.200,00 €		31.200,00 €
<b>11</b>	<b>Pumpen</b> RLK-Pumpe mit Arm. + Verrohrung ÜS-Kohlepumpe mit Verrohrung Schlammwasserpumpe mit Verrohrung Zulaufpumpen mit Arm. + Verrohr.	2,00 1,00 1,00 4,00	St St St St	17.000,00 € 8.000,00 € 8.000,00 € 15.000,00 €		34.000,00 € 8.000,00 € 8.000,00 € 60.000,00 €		110.000,00 €

**Gemeinde Südlohn  
Kläranlage Südlohn**

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe

Projektnum 0563 036

Variante: 2

PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle (Vollstrom)

Investitionskostenannahme

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
12	<b>Erdverlegte Rohrleitungen</b>							200.320,00 €
	Schacht Anbindung Abl. BB m. Arma.	1,00	psch	30.000,00 €	30.000,00 €			
	Zulauf. Aus BB PE 100 SDR 17 630*37,4	55,00	m	370,00 €	20.350,00 €			
	Formstücke	1,00	psch	2.500,00 €	2.500,00 €			
	Zulauf. PE 100 SDR 17 630*34,4	47,00	m	370,00 €	17.390,00 €			
	Formstücke	1,00	psch	2.000,00 €	2.000,00 €			
	Leitung AB-> Abl. PE 100 SDR 17 630*37,4	70,00	m	220,00 €	15.400,00 €			
	Formstücke	1,00	psch	4.000,00 €	4.000,00 €			
	Anbindung neue Ltg (Abl.) an Bestand.	1,00	psch	15.000,00 €	15.000,00 €			
	Schächte Leitung Anbindung Abl. AB	2,00	St	16.000,00 €	32.000,00 €			
	ÜS-Kohle KB PE 100 SDR 17 63*3,8	70,00	m	100,00 €	7.000,00 €			
	Formstücke	1,00	psch	800,00 €	800,00 €			
	Schlammwasser TF PE 100 SDR 17 63*3,8	70,00	m	100,00 €	7.000,00 €			
	Formstücke	1,00	psch	800,00 €	800,00 €			
	Einbindung Rohrleitung (Bohrungen usw.)	1,00	psch	4.000,00 €	4.000,00 €			
	Schacht Anbindung TF->Abl.	1,00	psch	15.000,00 €	15.000,00 €			
	Ablauf. aus TF PE 100 SDR 17 630*37,4	4,00	m	370,00 €	1.480,00 €			
	Formstücke	1,00	psch	1.000,00 €	1.000,00 €			
	Schacht Anbindung TF->Abl.	1,00	psch	20.000,00 €	20.000,00 €			
	Zulauf. aus Abl. KA PE 100 SDR 17 630*37,4	4,00	m	370,00 €	1.480,00 €			
	Formstücke	1,00	psch	1.000,00 €	1.000,00 €			
	Rücklaufkohle. KA PE 100 SDR 17 560*17,4	4,00	m	280,00 €	1.120,00 €			
	Formstücke	1,00	psch	1.000,00 €	1.000,00 €			
13	<b>Ablaufmessung</b>							69.000,00 €
	Schacht Ablaufmessung	1,00	psch	40.000,00 €	40.000,00 €			
	Rohrtech. Inst	1,00	psch	15.000,00 €		15.000,00 €		
	Einbindung in Bestand RL	1,00	psch	4.000,00 €	4.000,00 €			
	Messtechnik	1,00	psch	8.000,00 €			10.000,00 €	
14	<b>Einzäunung</b>							8.180,00 €
	Rückbau bestehender Zaun	1,00	psch	1.000,00 €	1.000,00 €			
	Zauntür	1,00	St	2.500,00 €	2.500,00 €			
	Doppelstab-Mattenzaun	72,00	m	65,00 €	4.680,00 €			
15	<b>Kabelschächte/Leerrohre</b>	2,00	St	9.000,00 €	18.000,00 €			18.000,00 €
16	<b>Hausinstallation/Entwässerung</b>	1,00	psch	12.000,00 €	12.000,00 €			12.000,00 €
17	<b>Strassen-/Wegebau/Aussenanlagen</b>	1,00	psch	50.000,00 €	50.000,00 €			50.000,00 €
18	<b>Inbetriebnahme/Dokumentation</b>							15.000,00 €
	Dokumentation	1,00	psch	3.000,00 €	5.000,00 €			
	Dokumentation/Inbetriebnahme	1,00	psch	8.000,00 €		10.000,00 €		
19	<b>EMSR-Technik</b>							225.000,00 €
	Pauschal (25 % der MT)	1,00	psch	225.000,00 €			225.000,00 €	
	<b>Summe Herstellungskosten, netto</b>				<b>886.510,40 €</b>	<b>899.448,90 €</b>	<b>280.000,00 €</b>	<b>2.065.959,30 €</b>
	Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)			20%	177.302,08 €	179.889,78 €	56.000,00 €	413.191,86 €
	<b>Summe Baukosten, netto</b>				<b>1.063.812,48 €</b>	<b>1.079.338,68 €</b>	<b>336.000,00 €</b>	<b>2.479.151,16 €</b>
	Mehrwertsteuer			19%				471.038,72 €
	<b>Summe Baukosten, brutto</b>							<b>2.950.189,88 €</b>

Kapitalkosten				
Nutzungsdauer Bautechnik in Jahren		30		
Nutzungsdauer Masch.-Technik in Jahren			15	
Nutzungsdauer EMSR-Technik in Jahren				10
Zinssatz i		3%	3%	3%
<b>Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (i;n)</b>				
Kapitalwiedergewinnungsfaktor Bautechnik		0,05102		
Kapitalwiedergewinnungsfaktor Masch.-Technik			0,08377	
Kapitalwiedergewinnungsfaktor EMSR-Technik				0,11723
<b>Summe Kapitalkosten/a, netto</b>		<b>54.274,92 €</b>	<b>90.412,51 €</b>	<b>39.389,45 €</b>
				<b>184.076,89 €</b>

Wartung- und Instandhaltungskosten				
1,0 %/a der Baukosten		10.638,12 €		
4,0 %/a der Kosten für technische Installationen			43.173,55 €	
2,0 %/a der Kosten für EMSR-Technik				6.720,00 €
<b>Summe Wartungs-/Instandhaltungskosten/a, netto</b>		<b>10.638,12 €</b>	<b>43.173,55 €</b>	<b>6.720,00 €</b>
				<b>60.531,67 €</b>



**Gemeinde Südlohn  
 Kläranlage Südlohn**
**Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe**
**Projektum 0563 036**
**Variante: 3**
**Ozonung mit nachgeschaltetem Sandfilter**

Investitionskostenannahme

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
0	<b>Baustelleneinrichtung</b> (10 % Bautechnik) (5 % Maschinentechnik)				42.340,50 €		34.900,00 €	156.532,50 €
1	<b>Vorbereitende Arbeiten</b> Räumung Baufeld Wasserhaltung	1,00 1,00	psch psch	6.000,00 € 25.000,00 €	6.000,00 € 25.000,00 €			31.000,00 €
2	<b>Pumpwerk 4. Reinigungsstufe</b> Pumpenvorlage Schacht bestehende RL Zulauf Schlosserarbeiten (Gitterrost/Geländer)	49,68 1,00 1,00	m³ psch psch	650,00 € 30.000,00 € 7.000,00 €	32.292,00 € 9.000,00 € 7.000,00 €			48.292,00 €
3	<b>Reaktionsbehälter</b> Behälter, gasdicht Installation VA (RL) allgemein Armaturen Antriebe Armaturen Schlosserarbeiten Schächte Ablauf	120,00 1,00 1,00 1,00 1,00 3,00	m³ psch psch psch psch St	720,00 € 15.000,00 € 26.000,00 € 9.000,00 € 8.000,00 € 17.000,00 €	86.400,00 €  8.000,00 € 51.000,00 €	15.000,00 € 26.000,00 € 9.000,00 €		195.400,00 €
4	<b>Pumpen</b> Beschickungspumpen mit Arm. + Verrohr. Pumpen + Verroh. Kühlwasser	3,00 1,00	St psch	17.000,00 € 12.000,00 €		51.000,00 € 12.000,00 €		63.000,00 €
5	<b>Ozonanlage</b> Anlage Ozonergezeuger (2*1,25 kg/h) Einsatzgasversorgung Instrumentenluft u. N <sub>2</sub> -Zudosierung Wärmetauscher Kühlwasser Eintragungssystem (Diffusoren) Restozonvernichter Raumluftüberwachung Ozongasüberwachung im Ozongas Ozommessung Wasser Anlagensteuerung Ventile und Instrumente Verrohrung und Montage Über-/Unterdrucksicherung Kontaktbeh.	1,00 2,00 incl. incl. incl. incl. incl. incl. incl. incl. incl. 1,00 2,00	psch incl. incl. incl. incl. incl. incl. incl. incl. psch St	330.000,00 €           62.000,00 € 3.000,00 €		330.000,00 €          62.000,00 € 6.000,00 €		398.000,00 €
6	<b>Aufstellung O2/O3-Anlage m. Einhaus.</b> Einhausung Ozonanlage-NSV Fundament O2-Anlage	42,00 1,00	m³ psch	400,00 € 8.000,00 €	16.800,00 € 8.000,00 €			24.800,00 €
7	<b>Sandfilter, kontinuierlich gespült</b> Becken SF I + II Anbindung Ablauf KB I und II Install. Sandfilter mit IBN Ablaufgerinne Filter I und II	142,00 1,00 1,00 7,00	m³ psch psch m	300,00 € 22.000,00 € 160.000,00 € 750,00 €	42.600,00 € 22.000,00 € 160.000,00 € 5.250,00 €		160.000,00 €	229.850,00 €
8	<b>Erdverl. Rohrleitungen + Schächte</b> Schacht Anbindung Zulauf Zulauf, PE 100 SDR 17 400*23,7 Formstücke Ablaufleitung DN 350 VA Rohrgraben + Bettung Bitumenbinde/Coroplast Formstücke/Flansche/Verbindung Schacht Anbindung Ablauf	1,00 10,00 1,00 14,00 10,00 10,00 1,00 1,00	psch m psch m m m psch psch	25.000,00 € 220,00 € 1.500,00 € 170,00 € 80,00 € 75,00 € 4.000,00 € 30.000,00 €	25.000,00 € 2.200,00 € 1.500,00 € 2.380,00 € 800,00 € 750,00 € 4.000,00 € 30.000,00 €			66.630,00 €
9	<b>Ablaufmessung</b> Schacht Ablaufmessung Rohrtech. Inst Einbindung in Bestand RL Messtechnik	1,00 1,00 1,00 1,00	psch psch psch psch	40.000,00 € 15.000,00 € 4.000,00 € 8.000,00 €	40.000,00 €  4.000,00 €	15.000,00 €	10.000,00 €	69.000,00 €
10	<b>Einzäunung</b> Rückbau bestehender Zaun Zauntür Doppelstab-Mattenzaun	1,00 1,00 65,00	psch St m	1.000,00 € 2.500,00 € 65,00 €	1.000,00 € 2.500,00 € 4.225,00 €			7.725,00 €
11	<b>Kabelschächte/Leerrohre</b>	1,00	psch	9.000,00 €	9.000,00 €			9.000,00 €
12	<b>Hausinstallation/Entwässerung</b>	1,00	psch	8.000,00 €	8.000,00 €			8.000,00 €

**Gemeinde Südlohn**  
**Kläranlage Südlohn**

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe

Projektum 0563 036

Variante: 3

Ozonung mit nachgeschaltetem Sandfilter

Investitionskostenannahme

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
13	Strassen-/Wegebau/Aussenanlagen	1,00	psch	45.000,00 €	45.000,00 €			45.000,00 €
14	Inbetriebnahme/Dokumentation							15.000,00 €
	Dokumentation	1,00	psch	3.000,00 €	3.000,00 €			
	Dokumentation/Inbetriebnahme	1,00	psch	12.000,00 €		12.000,00 €		
15	EMSR-Technik							330.000,00 €
	Pauschal (45 % der MT)	1,00	psch	330.000,00 €			330.000,00 €	
	<b>Summe Herstellungskosten, netto</b>				<b>545.037,50 €</b>	<b>732.900,00 €</b>	<b>340.000,00 €</b>	<b>1.617.937,50 €</b>
	Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)			20%	<b>109.007,50 €</b>	<b>146.580,00 €</b>	<b>68.000,00 €</b>	<b>323.587,50 €</b>
	<b>Summe Baukosten, netto</b>				<b>654.045,00 €</b>	<b>879.480,00 €</b>	<b>408.000,00 €</b>	<b>1.941.525,00 €</b>
	Mehrwertsteuer			19%				<b>368.889,75 €</b>
	<b>Summe Baukosten, brutto</b>							<b>2.310.414,75 €</b>

<b>Kapitalkosten</b>								
Nutzungsdauer Bautechnik in Jahren					30			
Nutzungsdauer Masch.-Technik in Jahren						15		
Nutzungsdauer EMSR-Technik in Jahren							10	
Zinssatz i					3%	3%	3%	
<b>Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (i;n)</b>								
Kapitalwiedergewinnungsfaktor Bautechnik					0,05102			
Kapitalwiedergewinnungsfaktor Masch.-Technik						0,08377		
Kapitalwiedergewinnungsfaktor EMSR-Technik							0,11723	
<b>Zwischensumme Kapitalkosten/a, netto</b>					<b>33.368,89 €</b>	<b>73.671,03 €</b>	<b>47.830,05 €</b>	<b>154.869,97 €</b>

<b>Wartung- und Instandhaltungskosten</b>								
1,0 %/a der Baukosten					6.540,45 €			
4,0 %/a der Kosten für technische Installationen						35.179,20 €		
2,0 %/a der Kosten für EMSR-Technik							8.160,00 €	
<b>Summe Wartungs-/Instandhaltungskosten/a, netto</b>					<b>6.540,45 €</b>	<b>35.179,20 €</b>	<b>8.160,00 €</b>	<b>49.879,65 €</b>

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

## Gemeinde Südlohn Kläranlage Südlohn

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe

Projektnummer 0563 036

### Zusammenstellung Betriebskosten

	Text		Variante 1 PAK m. RLK (TS)	Variante 2 PAK mit RLK (VS)	Variante 3 Ozonung + SF
B	Betriebsgebundene Kosten	EUR/a	72.027,88	84.531,67	65.879,65
C	Verbrauchsgebundene Kosten	EUR/a	53.145,13	63.672,56	48.015,56
<b>Summe Betriebskosten, netto</b>		<b>EUR/a</b>	<b>125.173,01</b>	<b>148.204,23</b>	<b>113.895,21</b>
	Mehrwertsteuer: 19%	EUR/a	23.782,87	28.158,80	21.640,09
<b>Summe Betriebskosten, brutto</b>		<b>EUR/a</b>	<b>148.955,89</b>	<b>176.363,04</b>	<b>135.535,29</b>
<b>Anteil</b>			<b>110%</b>	<b>130%</b>	<b>100%</b>

**Gemeinde Südlohn  
 Kläranlage Südlohn**

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe  
 Projektnummer 0563 036  
 Laufende Kosten Varianten

Pos.	Bezeichnung		Variante 1 PAK mit RLK (TS)	Variante 2 PAK mit RLK (VS)	Variante 3 Ozonung + SF
<b>A</b>	<b>Kapitalgebundene Kosten</b>	<b>EUR/a</b>	<b>147.958,76</b>	<b>184.076,89</b>	<b>154.869,97</b>
<b>B</b>	<b>Betriebsgebundene Kosten</b>	<b>EUR/a</b>	<b>72.027,88</b>	<b>84.531,67</b>	<b>65.879,65</b>
<b>1.0</b>	<b>Personalkosten</b>	<b>EUR/a</b>	<b>24.000,00</b>	<b>24.000,00</b>	<b>16.000,00</b>
	Menge	MA/a	0,60	0,60	0,40
	spez. Preis	EUR/MA	40.000,00	40.000,00	40.000,00
			24.000,00	24.000,00	16.000,00
<b>2.0</b>	<b>Wartungs- und Instandhaltungskosten</b>	<b>EUR/a</b>	<b>48.027,88</b>	<b>60.531,67</b>	<b>49.879,65</b>
<b>C</b>	<b>Verbrauchsgebundene Kosten</b>	<b>EUR/a</b>	<b>53.145,13</b>	<b>63.672,56</b>	<b>48.015,56</b>
<b>1.0</b>	<b>Energiekosten</b>	<b>EUR/a</b>	<b>16.426,02</b>	<b>24.048,30</b>	<b>27.416,46</b>
	Menge	kWh/a	88.789,30	129.990,80	148.197,06
	spez. Preis	EUR/kWh	0,19	0,19	0,19
			16.426,02	24.048,30	27.416,46
<b>2.0</b>	<b>Chemikalienkosten</b>	<b>EUR/a</b>	<b>19.927,07</b>	<b>21.503,66</b>	<b>17.800,43</b>
2.1	PAK/GAK	Menge spez. Preis	Mg/a EUR/Mg	12,69 1.500	13,70 1.500
			19.038,60	20.544,90	
2.2	Fäll-/Flockungsmittel	Menge FeCl <sub>3</sub>	Mg FM/a EUR/Mg FM	36,79 190,00	39,70 190,00
			Einsparung Simultanfällung		
2.3	Flockungshilfsmittel	Menge spez. Preis	Mg/a EUR/Mg	0,25 3.500	0,27 3.500
			888,47	958,76	
2.4	Sauerstoff (flüssig) inkl. Tankmiete	Menge spez. Preis	kg/a EUR/kg		71.201,70 0,25
					17.800,43
<b>3.0</b>	<b>Schlammverbrennungs-/Entsorgungskosten</b>		<b>16.792,05</b>	<b>18.120,60</b>	<b>2.798,67</b>
3.1	zusätz. Schlamm d. PAK/Filter Entsorgungskosten (Verbrenn. + Entwässerungsergebnis Entsorgungskosten (Verbrenn. + Espez. Preis TS <i>Annahmen Var. 1 (PAK): 1 Mg TR: 1/3 PAK, 2/3 AFS aus Organik und Fällung</i>	Menge spez. Preis	Mg TS/a EUR/Mg	38,08 96,90 22% 441,00	41,09 96,90 22% 441,00
			16.792,05	18.120,60	2.798,67
	<b>Summe A: Kapitalgebundene Kosten</b>	<b>EUR/a</b>	<b>147.958,76</b>	<b>184.076,89</b>	<b>154.869,97</b>
	<b>Summe B: Betriebsgebundene Kosten</b>	<b>EUR/a</b>	<b>72.027,88</b>	<b>84.531,67</b>	<b>65.879,65</b>
	<b>Summe C: Verbrauchsgebundene Kosten</b>	<b>EUR/a</b>	<b>53.145,13</b>	<b>63.672,56</b>	<b>48.015,56</b>
	<b>Gesamtsumme Jahreskosten, netto</b>	<b>EUR/a</b>	<b>273.131,77</b>	<b>332.281,12</b>	<b>268.765,18</b>
	Mehrwertsteuer	19%	51.895,04	63.133,41	51.065,38
	<b>Summe Jahreskosten, brutto</b>		<b>325.026,81</b>	<b>395.414,53</b>	<b>319.830,56</b>

**Gemeinde Südlohn**  
**Kläranlage Südlohn**

**Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe**  
**Projektnummer 0563 036**  
**Energiebedarf Varianten**

Pos.	Bezeichnung		Variante 1 PAK mit RLK (TS)	Variante 2 PAK mit RLK (VS)	Variante 3 Ozonung + SF
<b>1.0</b>	<b>Pumpen</b>	<b>kWh/a</b>	<b>59.059</b>	<b>61.968</b>	<b>56.600</b>
1.1	Beschickungspumpen	kWh/a	26.654	28.763	35.539
1.2	Rücklaufkohlepumpe	kWh/a	8.123	8.766	
1.3	Überschussskohlepumpe	kWh/a	211	227	
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			
1.6	Schlammwasserpumpe	kWh/a	1.777	1.918	2.665
1.7	Treibwasser für PAK-Dosierung	kWh/a	16.863	16.863	
1.8	Kühlwasser für Ozonerzeuger	kWh/a			18.396
<b>2.0</b>	<b>Gebälse/Kompressoren</b>	<b>kWh/a</b>			<b>13.666</b>
2.1	Druckluftherzeugung	kWh/a			13.666
<b>3.0</b>	<b>Räumer</b>	<b>kWh/a</b>	<b>3.241</b>	<b>6.482</b>	
	Anzahl Räumer		1	1	
3.1	Räumer Absetzbecken	kWh/a	3.241,2	6.482,4	
	Antrieb	kW	0,37	0,7	
	Laufzeit	h/d	24	24	
<b>4.0</b>	<b>Rührwerke</b>	<b>kWh/a</b>	<b>8.970</b>	<b>43.520</b>	
4.1	Rührwerke Kontaktbecken	kWh/a	8.970	43.520	
<b>5.0</b>	<b>Doisengerät PAK</b>	<b>kWh/a</b>	<b>5.782</b>	<b>5.782</b>	
	Anzahl Dosiergeräte in Betrieb		1	1	
5.1	Antrieb Dosierschnecke	kWh/a	2.891	2.891	
	Antrieb	kW	0,55	0,55	
	Auslastung		60%	60%	
	Laufzeit	h/d	24	24	

**Gemeinde Südlohn**  
**Kläranlage Südlohn**

**Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe**  
**Projektnummer 0563 036**  
**Energiebedarf Varianten**

Pos.	Bezeichnung		Variante 1 PAK mit RLK (TS)	Variante 2 PAK mit RLK (VS)	Variante 3 Ozonung + SF
<b>6.0</b>	<b>Ozonanlage</b>	<b>kWh/a</b>			<b>71.585</b>
6.1	Ozonerzeugung				
6.2	Restozonvernichtung				
<b>7.0</b>	<b>Tuchfilter</b>	<b>kWh/a</b>	<b>5.391</b>	<b>5.391</b>	
	Anzahl Filter		2	2	
7.1	Betrieb Filter		823,1	823,1	
7.1.1	Antrieb Filter	kWh/a	823,1	823,1	
	Antrieb	kW	0,55	0,55	
	Laufzeit	h/d	4,1	4,1	
7.2	Rückspülung Filter		1.872,5	1.872,5	
7.2.1	Filterabsaugpumpen	kWh/a	1.839,6	1.839,6	
	Antrieb	kW	1,80	1,80	
	Anzahl	n	2	2	
	Laufzeit	h/d	1,4	1,4	
7.2.2	Bodenschlammumpen	kWh/a	32,9	32,9	
	Antrieb	kW	1,80	1,80	
	Anzahl	n	1	1	
	Laufzeit	h/d	0,05	0,05	
<b>8.0</b>	<b>Messtechnik</b>	<b>kWh/a</b>	<b>6.346</b>	<b>6.848</b>	<b>6.346</b>
	pauschal	0,005 kWh/m <sup>3</sup>	6.346	6.848	6.346
	<b>Summe 1: Pumpen</b>	<b>kWh/a</b>	<b>59.059</b>	<b>61.968</b>	<b>56.600</b>
	<b>Summe 2: Gebläse</b>	<b>kWh/a</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>13.666</b>
	<b>Summe 3: Räumler</b>	<b>kWh/a</b>	<b>3.241</b>	<b>6.482</b>	<b>0</b>
	<b>Summe 4: Rührwerke</b>	<b>kWh/a</b>	<b>8.970</b>	<b>43.520</b>	<b>0</b>
	<b>Summe 5: Dosiergerät PAK</b>	<b>kWh/a</b>	<b>5.782</b>	<b>5.782</b>	<b>0</b>
	<b>Summe 6: Ozonanlage</b>	<b>kWh/a</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>71.585</b>
	<b>Summe 7: Tuchfilter</b>	<b>kWh/a</b>	<b>5.391</b>	<b>5.391</b>	<b>0</b>
	<b>Summe 8: Messtechnik</b>	<b>kWh/a</b>	<b>6.346</b>	<b>6.848</b>	<b>6.346</b>
	<b>Gesamtsumme</b>	<b>kWh/a</b>	<b>88.789</b>	<b>129.991</b>	<b>148.197</b>

## **Anlage 4: Jahreskosten**



**Gemeinde Südlohn  
Kläranlage Südlohn**

**Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe**  
**Projektnummer 0563 036**

**Zusammenstellung Jahreskosten**

Pos.-Nr	Text		Variante 1 PAK m. RLK (TS)	Variante 2 PAK mit RLK (VS)	Variante 3 Ozonung + SF
A	Kapitalgebundene Kosten	EUR/a	147.958,76	184.076,89	154.869,97
B	Betriebsgebundene Kosten	EUR/a	72.027,88	84.531,67	65.879,65
C	Verbrauchsgebundene Kosten	EUR/a	53.145,13	63.672,56	48.015,56
<b>Summe Jahreskosten, netto</b>		<b>EUR/a</b>	<b>273.131,77</b>	<b>332.281,12</b>	<b>268.765,18</b>
Mehrwertsteuer: 19%		EUR/a	51.895,04	63.133,41	51.065,38
<b>Summe Jahreskosten, brutto</b>		<b>EUR/a</b>	<b>325.026,81</b>	<b>395.414,53</b>	<b>319.830,56</b>
<b>Anteil</b>			<b>102%</b>	<b>124%</b>	<b>100%</b>
Behandelte Jahresmenge		m³/a	1.269.240	1.369.660	1.269.240
spez. Kosten, netto		EUR/m³	0,21519	0,24260	0,21175
<b>spez. Kosten, brutto</b>		<b>EUR/m³</b>	<b>0,25608</b>	<b>0,28870</b>	<b>0,25199</b>

**Anlage 5:  
Screening-Ergebnisse  
Kläranlage Südlohn  
(OWL Umweltanalytik GmbH)**

## UNTERSUCHUNGSBEFUND

Leopoldshöhe, 07.04.2014 JB

**Auftraggeber:** Tuttahs und Meyer Ingenieurgesellschaft, Bochum

**Entnahmestelle:** Zentralkläwerk Südlohn

**Probenahmestelle:** (1) Ablauf

**Entnahme:** mehrtägige Mischprobe: 04.03.2014 09:30 Uhr - 07.03.2014 09:30 Uhr Laboreingang: 07.03.2014

Analysennummer:		49520 155797	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Wassermenge in 72 h	m <sup>3</sup>	8597	
Nonylphenol	µg/l	< 0,3	GC/MS
Octylphenol	µg/l	< 0,1	GC/MS
BDE-28 2,4,4"-Tribromdiphenyl...	µg/l	< 0,001	U.S. EPA 8270; GC/MS (N..
BDE-47 2,2",4,4"-Tetrabromdiph...	µg/l	< 0,001	U.S. EPA 8270; GC/MS (N..
BDE-99 2,2",4,4",5-Pentabromd...	µg/l	< 0,001	U.S. EPA 8270; GC/MS (N..
BDE-100 2,3",4,4",6-Pentabrom...	µg/l	< 0,001	U.S. EPA 8270; GC/MS (N..
BDE-153 2,2",4,4",5,5"-Hexabr...	µg/l	< 0,001	U.S. EPA 8270; GC/MS (N..
BDE 154 2,2",4,4",5,6"-Hexabr...	µg/l	< 0,001	U.S. EPA 8270; GC/MS (N..
BDE-183 2,2",3,4,4",5",6-Hepta...	µg/l	< 0,001	U.S. EPA 8270; GC/MS (N..
BDE-209 Decabromdiphenylether	µg/l	< 0,01	U.S. EPA 8270; GC/MS (N..
Hexabromcyclododecan	µg/l	< 0,01	LRMS
Tributylzinn	µg/l	< 0,005	DIN EN ISO 17353 ( F13)
Blei (Pb) - filtriert	mg/l	< 0,003	DIN EN ISO 17294-2 (E29)
Cadmium (Cd) - filtriert	mg/l	< 0,0005	DIN EN ISO 17294-2 (E29)
Nickel (Ni) - filtriert	mg/l	0,006	DIN EN ISO 17294-2 (E29)
Quecksilber (Hg) - filtriert	mg/l	< 0,0002	DIN EN 1483-E12-4
1,2 - Dichlorethan	µg/l	< 0,5	DIN EN ISO 10301-F4 (HS..
Dichlormethan	µg/l	< 0,5	DIN EN ISO 10301-F4 (HS..
Trichlormethan	µg/l	< 0,5	DIN EN ISO 10301-F4 (HS..
Benzol	µg/l	< 0,5	DIN 38407-F9 (HS-GC/MS)
Pentachlorphenol	µg/l	< 0,1	DIN EN 12673-F15 (GC/MS)
Anthracen	µg/l	< 0,01	DIN 38407 - F39
Benzo(a)pyren	µg/l	< 0,01	DIN 38407 - F39
Benzo(b)fluoranthen	µg/l	< 0,01	DIN 38407 - F39
Benzo(ghi)perylene	µg/l	< 0,01	DIN 38407 - F39

bitte wenden

Analysennummer:		49520 155797	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Benzo(k)fluoranthren	µg/l	< 0,01	DIN 38407 - F39
Fluoranthren	µg/l	< 0,01	DIN 38407 - F39
Naphthalin	µg/l	< 0,01	DIN 38407 - F39
Indeno(1,2,3-cd)pyren	µg/l	< 0,01	DIN 38407 - F39
Bis-(2-ethylhexyl)Phthalat (DEHP)	µg/l	< 1	U.S. EPA 8270
Diuron	µg/l	< 0,05	EN ISO 11369 (F12) LC/MS
Isoproturon	µg/l	< 0,1	EN ISO 11369 (F12) LC/MS
gPFOS (Perfluoroctansulfons.)	µg/l	< 0,01	DIN 38407-F42 / ISO 25101
PCB (28)	µg/l	< 0,02	ISO 18073
PCB (52)	µg/l	< 0,01	ISO 18073
PCB (77)	ng/l	< 0,2	ISO 18073
PCB (81)	ng/l	< 0,02	ISO 18073
PCB (101)	µg/l	< 0,01	ISO 18073
PCB (105)	ng/l	< 0,25	ISO 18073
PCB (114)	ng/l	< 0,05	ISO 18073
PCB (118)	ng/l	< 0,6	ISO 18073
PCB (123)	ng/l	< 0,05	ISO 18073
PCB (126)	ng/l	< 0,02	ISO 18073
PCB (138)	µg/l	< 0,01	ISO 18073
PCB (153)	µg/l	< 0,01	ISO 18073
PCB (156)	ng/l	< 0,09	ISO 18073
PCB (157)	ng/l	< 0,05	ISO 18073
PCB (167)	ng/l	< 0,06	ISO 18073
PCB (169)	ng/l	< 0,02	ISO 18073
PCB (180)	µg/l	< 0,01	ISO 18073
PCB (189)	ng/l	< 0,05	ISO 18073
TE n. WHO	ng TE/l	n.b.	berechnet
TE NATO/CCMS (upper bound)	ng TE/l	0,03408	EPA 613/DIN 38414-S24, ..
1,2,3-Trichlorbenzol	µg/l	< 0,05	DIN 38407-F2 (GC/MS)
1,2,4-Trichlorbenzol	µg/l	< 0,05	DIN 38407-F2 (GC/MS)
1,3,5-Trichlorbenzol	µg/l	< 0,05	DIN 38407-F2 (GC/MS)
Hexachlorbenzol	µg/l	< 0,05	DIN 38407-F2 (GC/MS)
Pentachlorbenzol	µg/l	< 0,05	DIN 38407-F2 (GC/MS)
Hexachlorbutadien	µg/l	< 0,2	DIN EN ISO 10301-F4 (HS..
Aclonifen	µg/l	< 0,03	EN ISO 11369 (F12) LC/MS
Alachlor	µg/l	< 0,025	EN ISO 11369 (F12) LC/MS
alpha-Endosulfan	µg/l	< 0,05	DIN 38407-F2 (GC/MS)
Atrazin	µg/l	< 0,1	EN ISO 11369 (F12) LC/MS
Bifenox	µg/l	< 0,03	EN ISO 11369 (F12) LC/MS
Chloralkane C10-C13	µg/l	< 0,5	U.S. EPA 8270; GC/MS (N..
Chlorfenvinphos	µg/l	< 0,05	EN ISO 10695-F6
Chlorpyriphos-ethyl	µg/l	< 0,03	DIN EN 12918-F24
cis-Heptachlorepoxyd	µg/l	< 0,05	DIN 38407-F2 (GC/MS)
Cybutryn (Irgarol)	µg/l	< 0,03	EN ISO 11369 (F12) LC/MS

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

Analysennummer:		49520 155797	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Cypermethrin	µg/l	< 0,03	EN ISO 11369 (F12) LC/MS
Dichlorvos	µg/l	< 0,05	EN ISO 11369 (F12) LC/MS
Dicofol	µg/l	< 0,03	DIN 38407-F2
gamma-HCH (Lindan)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-F2 (GC/MS)
Heptachlor	µg/l	< 0,05	DIN 38407-F2 (GC/MS)
Quinoxifen	µg/l	< 0,03	EN ISO 11369 (F12) LC/MS
Simazin	µg/l	< 0,1	EN ISO 11369 (F12) LC/MS
Terbutryn	µg/l	< 0,025	EN ISO 11369 (F12) LC/MS
trans-Heptachlorepoxyd	µg/l	< 0,05	DIN 38407-F2 (GC/MS)
Trifluralin	µg/l	< 0,01	DIN 38407-F2 (GC/MS)
1,2,3,4,6,7,8 Hepta CDD	ng/l	< 0,01	EPA 1613
1,2,3,4,6,7,8 Hepta CDF	ng/l	< 0,006	EPA 1613
1,2,3,4,7,8,9 Hepta CDF	ng/l	< 0,006	EPA 1613
1,2,3,4,7,8 Hexa CDD	ng/l	< 0,002	EPA 1613
1,2,3,4,7,8 Hexa CDF	ng/l	< 0,002	EPA 1613
1,2,3,6,7,8 Hexa CDD	ng/l	< 0,002	EPA 1613
1,2,3,6,7,8 Hexa CDF	ng/l	< 0,002	EPA 1613
1,2,3,7,8,9 Hexa CDD	ng/l	< 0,002	EPA 1613
1,2,3,7,8,9 Hexa CDF	ng/l	< 0,002	EPA 1613
1,2,3,7,8 Penta CDD	ng/l	< 0,002	EPA 1613
1,2,3,7,8 Penta CDF	ng/l	< 0,002	EPA 1613
2,3,4,6,7,8 Hexa CDF	ng/l	< 0,002	EPA 1613
2,3,4,7,8 Penta CDF	ng/l	< 0,002	EPA 1613
2,3,7,8 Tetra CDD	ng/l	< 0,03	EPA 1613
2,3,7,8 Tetra CDF	ng/l	< 0,003	EPA 1613
Octa CDD	ng/l	< 0,035	EPA 1613
Octa CDF	ng/l	< 0,02	EPA 1613
PCDD,PCDF Summe	ng/l	n.b.	EPA 1613
TE (TCDD-Toxizitätsäquivalente)	ng TE/l	n.b.	EPA 613/DIN 38414-S24, ..

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

OWL Umweltanalytik  
Master of Science Brauer

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

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

## UNTERSUCHUNGSBEFUND

Leopoldshöhe, 07.04.2014 JB

**Auftraggeber:** Tuttahs und Meyer Ingenieurgesellschaft, Bochum

**Entnahmestelle:** Zentralkläwerk Südlohn

**Probenahmestelle:** (1) Ablauf

**Entnahme:** mehrtägige Mischprobe: 04.03.2014 09:30 Uhr - 07.03.2014 09:30 Uhr Laboreingang: 07.03.2014

Analysennummer:		49520 155798	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Wassermenge in 72 h	m <sup>3</sup>	8597	
Bezafibrat	µg/l	0,290	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Diclofenac	µg/l	2,60	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Naproxen	µg/l	0,081	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Phenazon	µg/l	0,130	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Carbamazepin	µg/l	0,340	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Atenolol	µg/l	0,110	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Bisoprolol	µg/l	0,290	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Metoprolol	µg/l	1,30	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Sotalol	µg/l	0,340	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Clarithromycin	µg/l	0,220	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Sulfamethoxazol	µg/l	0,280	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Oxazepam	µg/l	0,059	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Amidotrizoessäure	µg/l	0,810	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
lomeprol	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
lopamidol	µg/l	7,90	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
lopromid	µg/l	0,780	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Diuron	µg/l	< 0,05	DIN 38407-35 <sup>a</sup>
Isoproturon	µg/l	< 0,05	DIN 38407-35 <sup>a</sup>
Terbutryn	µg/l	< 0,05	DIN 38407-35 <sup>a</sup>
Benzotriazol	µg/l	3,20	Hausmethode (LC-MS-MS)
17-alpha-Ethinylestradiol	ng/l	< 5	Fl.-Extr., GC-MSD É
17-beta-Estradiol	ng/l	< 5	Fl.-Extr., GC-MSD É
Estron	ng/l	< 5	Fl.-Extr., GC-MSD É

bitte wenden

<i>Analysennummer:</i>		49520 155798	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	Verfahren

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

OWL Umweltanalytik  
Master of Science Brauer

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

Auftraggeber: Tuttahs und Meyer Ingenieurgesellschaft, Bochum  
Entnahmestelle: Zentralklärwerk Südlohn  
Probenahmestelle: Ablauf  
Auftrag: 49520  
Mischprobe von 04.03.2014 bis 07.03.2014

Konzentrationen

Gruppe	Parameter	Einheit	Messwert	Verfahren
	Wassermenge in 72 h	m <sup>3</sup>	8597	Ihre Angabe
Lipidsenker	Bezafibrat	µg/l	0,29	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Schmerzmittel	Diclofenac	µg/l	2,6	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Schmerzmittel	Naproxen	µg/l	0,081	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Schmerzmittel	Phenazon	µg/l	0,130	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Antiepileptikum	Carbamazepin	µg/l	0,340	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Betablocker	Atenolol	µg/l	0,110	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Betablocker	Bisoprolol	µg/l	0,290	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Betablocker	Metoprolol	µg/l	1,30	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Betablocker	Sotalol	µg/l	0,340	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Antibiotikum	Clarithromycin	µg/l	0,220	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Antibiotikum	Sulfamethoxazol	µg/l	0,280	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Psychopharmakon	Oxazepam	µg/l	0,059	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Kontrastmittel	Amidotrizoesäure	µg/l	0,810	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Kontrastmittel	Iomeprol	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Kontrastmittel	Iopamidol	µg/l	7,90	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Kontrastmittel	Iopromid	µg/l	0,780	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
PSM	Diuron	µg/l	< 0,05	DIN 38407-35 <sup>a</sup>
PSM	Isoproturon	µg/l	< 0,05	DIN 38407-35 <sup>a</sup>
PSM	Terbutryn	µg/l	< 0,05	DIN 38407-35 <sup>a</sup>
Korrosionsinhibitor	Benzotriazol	µg/l	3,20	Hausmethode (LC-MS-MS)
Steroidhormon	17-alpha-Ethinylestradiol	ng/l	< 5	Fl.-Extr., GC-MSD É
Steroidhormon	17-beta-Estradiol	ng/l	< 5	Fl.-Extr., GC-MSD É
Steroidhormon	Estron	ng/l	< 5	Fl.-Extr., GC-MSD É

Frachten

Mischprobe von 04.03.2014 bis 07.03.2014

Gruppe	Parameter	Einheit	Messwert	Verfahren
	Wassermenge in 72 h	m <sup>3</sup>	8597	Ihre Angabe
Lipidsenker	Bezafibrat	g	2,49	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Schmerzmittel	Diclofenac	g	22,4	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Schmerzmittel	Naproxen	g	0,70	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Schmerzmittel	Phenazon	g	1,12	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Antiepileptikum	Carbamazepin	g	2,92	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Betablocker	Atenolol	g	0,95	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Betablocker	Bisoprolol	g	2,49	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Betablocker	Metoprolol	g	11,2	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Betablocker	Sotalol	g	2,92	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Antibiotikum	Clarithromycin	g	1,89	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Antibiotikum	Sulfamethoxazol	g	2,41	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Psychopharmakon	Oxazepam	g	0,51	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Kontrastmittel	Amidotrizoesäure	g	6,96	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Kontrastmittel	Iomeprol	g	n.b.	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Kontrastmittel	Iopamidol	g	67,9	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Kontrastmittel	Iopromid	g	6,71	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
PSM	Diuron	g	n.b.	DIN 38407-35 <sup>a</sup>
PSM	Isoproturon	g	n.b.	DIN 38407-35 <sup>a</sup>
PSM	Terbutryn	g	n.b.	DIN 38407-35 <sup>a</sup>
Korrosionsinhibitor	Benzotriazol	g	27,5	Hausmethode (LC-MS-MS)
Steroidhormon	17-alpha-Ethinylestradiol	g	n.b.	Fl.-Extr., GC-MSD É
Steroidhormon	17-beta-Estradiol	g	n.b.	Fl.-Extr., GC-MSD É
Steroidhormon	Estron	g	n.b.	Fl.-Extr., GC-MSD É



**Anlage 6:  
Auswertung Screening  
Kläranlage Südlohn  
(OWL Umweltanalytik GmbH)**

OWL Umweltanalytik GmbH s Westring 93s33818 Leopoldshöhe  
Tuttahs und Meyer Ingenieurgesellschaft für  
Wasser-, Abwasser und Abfallwirtschaft mbH  
z. Hd. Herr Dr.-Ing. Jan Mauriz Kaub  
Universitätsstraße 74

44789 Bochum K

Ihr Zeichen/Ihre Nachricht vom

Unser Zeichen/Unsere Nachricht vom  
Dr. N/ JB

Leopoldshöhe, 14.04.2014

## Auswertung der Spuren- und Mikroschadstoffuntersuchungen, KA Südlohn

Sehr geehrte Damen und Herren,  
sehr geehrter Herr Dr. Kaub,

in der Zeit vom 04.03. bis 07.03.2014 (Startzeit 09:30 Uhr) wurde mittels eines automatischen Probenehmers eine mehrtätige Mischprobe am Ablauf des Zentralklärwerts Südlohn zur Untersuchung auf Mikroschadstoffe entnommen, deren Ergebnisse im Folgenden näher erläutert werden sollen.

In Ermangelung von Grenz- oder Richtwerten für die Konzentrationen der Spurenstoffe werden die Ergebnisse mit allen 131 bisher von der OWL Umweltanalytik GmbH an Abläufen kommunaler Kläranlagen durchgeführten Spurenstoffuntersuchungen verglichen.

Der Lipidsenker Benzafibrat konnte in durchschnittlicher Konzentration nachgewiesen werden.

Die Schmerzmittel Diclofenac, Naproxen und Phenazon fanden sich alle im Ablauf der KA Südlohn, dabei war die Konzentration an Diclofenac im Vergleich zu anderen kommunalen Kläranlagenabläufen durchschnittlich, die von Naproxen und Phenazon dagegen unterdurchschnittlich.

Das Antiepileptikum Carbamazepin konnte in fast allen bisher untersuchten Abläufen nachgewiesen werden. Der Ablauf des Zentralklärwerts Südlohn machte hier keine Ausnahme, die ermittelte Menge lag jedoch im niedrigen Bereich.

Die Betablocker Atenolol, Bisoprolol, Metoprolol und Sotalol konnten sämtlich, jedoch in eher geringen Konzentrationen am Ablauf der Kläranlage nachgewiesen werden.

Die Antibiotika Clarithromycin und Sulfamethoxazol konnten beide nachgewiesen werden, ersteres durchschnittlich, letzteres eher unterdurchschnittlich im Vergleich zu anderen Abläufen kommunaler Kläranlagen.

Das Psychopharmakon Oxazepam konnte in geringer Konzentration gemessen werden.

Das Röntgenkontrastmittel Iomeprol konnten nicht, Amidotrizoesäure und Iopromid in geringer Konzentration gemessen werden. Iopamidol lag dagegen in hohen Konzentrationen am Ablauf der KA Südlohn vor.

Von den Pflanzenschutzmittel Diuron, Isoproturon und Terbutryn konnte keines am Ablauf des Zentralklärwerts Südlohn nachgewiesen werden.

Die Konzentration des u. a. in Geschirrspüler enthaltenen Korrosionsschutzmittel Benzotriazol fand sich in moderaten Mengen im Ablauf der KA Südlohn.

Weiterhin wurde keines der drei Steroidhormone Estron, 17-alpha-Ethinylestradiol und 17-beta-Estradiol im Ablauf des Zentralklärwerts Südlohn über der Bestimmungsgrenze gemessen.

Im Rahmen der Auswertung der Untersuchung sind die Frachten der einzelnen Mikroschadstoffe anhand der Wassermengen über 72h berechnet worden.

Hierbei zeigte sich, dass innerhalb dieses Zeitraums von drei Tagen Mikroschadstoffe im Grammbereich aus dem Ablauf des Zentralklärwerts Südlohn abgegeben werden.

Besonders hoch waren die Frachten von Iopamidol (67,9 g), Benzotriazol (27,5 g), Diclofenac (22,4 g) sowie Metoprolol (11,2 g).

Für weitere Fragen stehe ich ihnen gern zur Verfügung und verbleibe

mit freundlichen Grüßen

OWL Umweltanalytik GmbH

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'J. Brauer', with a long horizontal flourish extending to the right.

(M.Sc. J. Brauer)

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

Entnahme: 04.03.2014  
 bis 07.03.2014

	Probe:	155798 [ng/l]	Anzahl Messungen	Anzahl > BG	Mittelwert [ng/l]	Maximum [ng/l]
Lipidsenker	Bezafibrat	290	47	36	291	800
Schmerzmittel	Diclofenac	2600	77	67	2199	5300
Schmerzmittel	Naproxen	81	47	32	271	1400
Schmerzmittel	Phenazon	130	47	34	214	1300
Antiepileptikum	Carbamazepin	340	76	66	1384	3500
Betablocker	Atenolol	110	47	34	1397	41000
Betablocker	Bisoprolol	290	47	40	431	2900
Betablocker	Metoprolol	1300	77	67	2157	6100
Betablocker	Sotalol	340	77	67	520	1500
Antibiotikum	Clarithromycin	220	77	59	221	1300
Antibiotikum	Sulfamethoxazol	280	77	62	700	9100
Psychopharmakon	Oxazepam	59	29	22	222	1500
Kontrastmittel	Amidotrizoesäure	810	77	69	3840	28000
Kontrastmittel	Iomeprol	<50	77	58	4742	86000
Kontrastmittel	Iopamidol	7900	77	60	2441	45000
Kontrastmittel	Iopromid	780	26	12	3289	21000
PSM	Diuron	<50	41	9	81	170
PSM	Isoproturon	<50	27	5	15078	75000
PSM	Terbutryn	<50	32	5	212	500
Korrosionsinhibitor	Benzotriazol	3200	70	63	6464	24000
Steroidhormon	17-alpha-Ethinylestradiol	< 5	31	0	0	0
Steroidhormon	17-beta-Estradiol	< 5	31	0	0	0
Steroidhormon	Estron	< 5	31	0	0	0