

# Kläranlage Südlohn

## 4. Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroschadstoffen

Machbarkeitsstudie – Kurzbericht  
November 2014  
Projektnummer 0563 036



# **Kläranlage Südlohn**

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

Machbarkeitsstudie  
November 2014  
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

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Veranlassung und Aufgabenstellung</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Darstellung der untersuchten Verfahrenskombinationen</b> .....	<b>4</b>
2.1	Beschickungsmenge.....	4
2.2	Verfahrensfestlegung.....	5
2.3	Varianten .....	6
2.3.1	Variante 1: PAK mit Rücklaufkohle (Teilstrom) .....	6
2.3.1.1	Allgemein.....	6
2.3.1.2	Ausführung .....	7
2.3.2	Variante 2: PAK mit Rücklaufkohle (Teilstrom) .....	9
2.3.2.1	Allgemeines .....	9
2.3.2.2	Ausführung .....	10
2.3.3	Variante 3: Ozonung mit nachgeschaltetem Sandfilter.....	12
2.3.3.1	Allgemeines .....	12
2.3.3.2	Ausführung .....	13
2.4	Ergebnisübersicht Varianten.....	15
<b>3</b>	<b>Kosten</b> .....	<b>17</b>
<b>4</b>	<b>Bewertung</b> .....	<b>18</b>
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>18</b>

## **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 Umweltausschuss 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 Darstellung der untersuchten Verfahrenskombinationen**

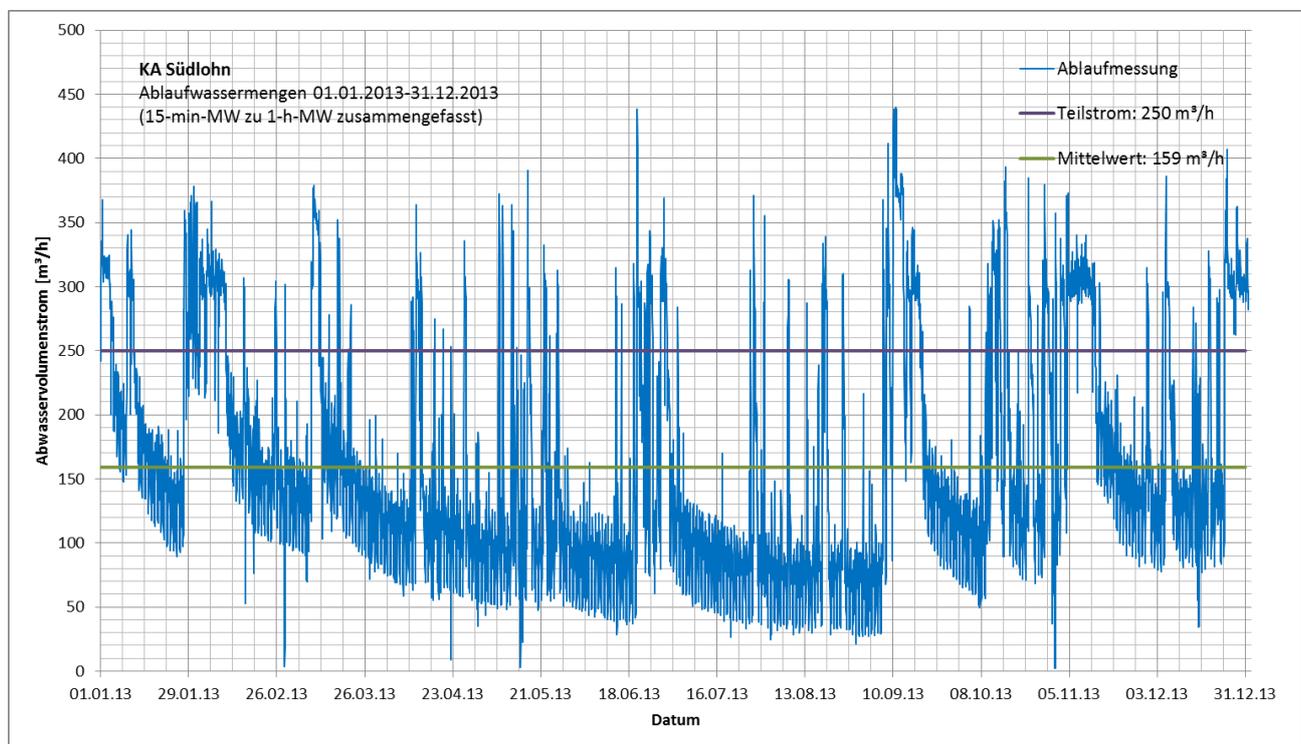
### **2.1 Beschickungsmenge**

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.

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

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

## 2.2 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.

## 2.3 Varianten

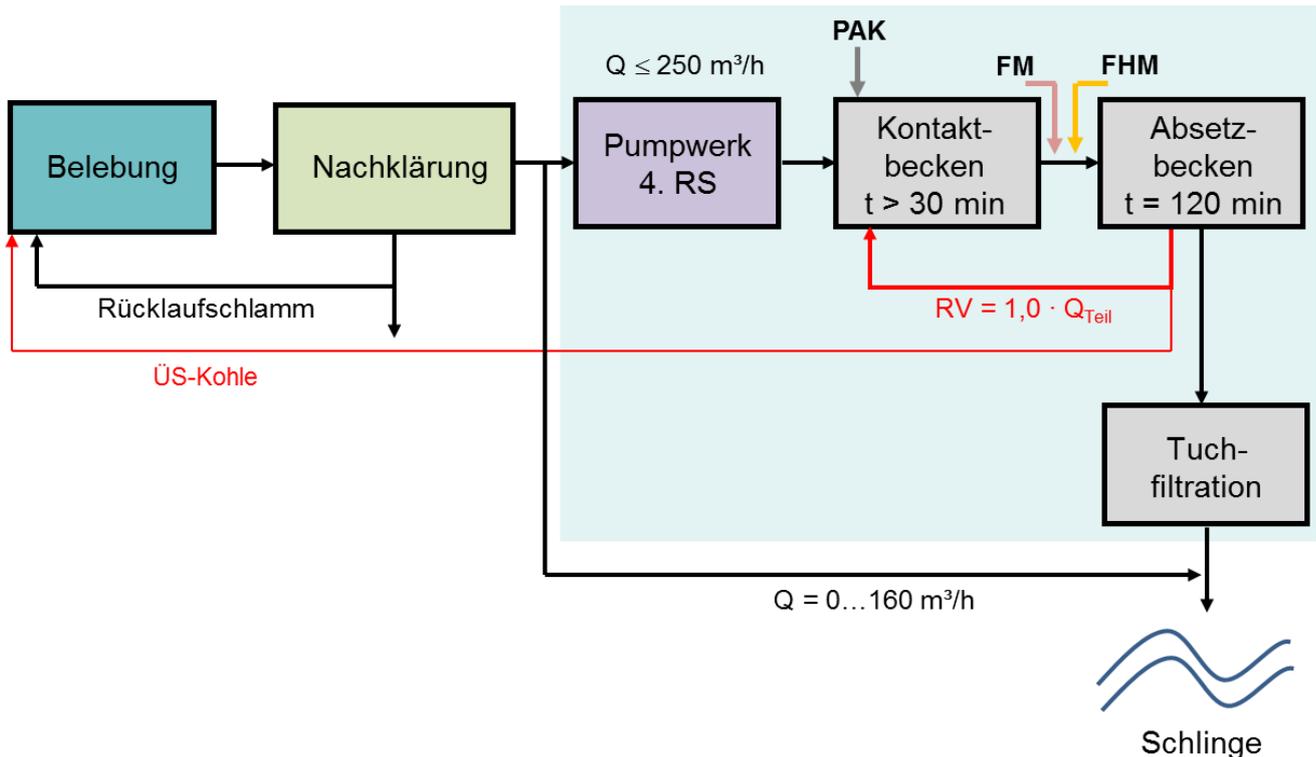
### 2.3.1 Variante 1: PAK mit Rücklaufkohle (Teilstrom)

#### 2.3.1.1 Allgemein

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

Entsprechend der Frischkohledosierung wird ein Teil der rückgeführten Kohle als Überschussskohle aus dem System entnommen. Besonderer Vorteil dieses Verfahrens ist, dass die Pulverkohle mehrfach mit dem Abwasser in Kontakt kommt, um die Beladungskapazität möglichst gut ausnützen 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 2: Blockschema Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle (Teilstrom)**

Diese Variante hat neben der Elimination der Spurenstoffe auch einen großen Einfluss auf die Parameter CSB,  $P_{ges}$  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.

### 2.3.1.2 Ausführung

#### Pumpwerk 4. Reinigungsstufe

Die Beschickung der PAK-Stufe erfolgt über das Pumpwerk 4. Reinigungsstufe. Insgesamt stehen drei Pumpen mit einem Volumenstrom von je  $125 \text{ m}^3/\text{h}$  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 Überschusskohle wird ebenfalls aus diesem Schacht entnommen und der Belabung zur weiteren Beladung zugeführt. Der Zulauf von den Kontaktbecken zum Absetzbecken wird jeweils über ein Gerinne realisiert.

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

## **Ablaufmengenmess- und Probenahmeschacht**

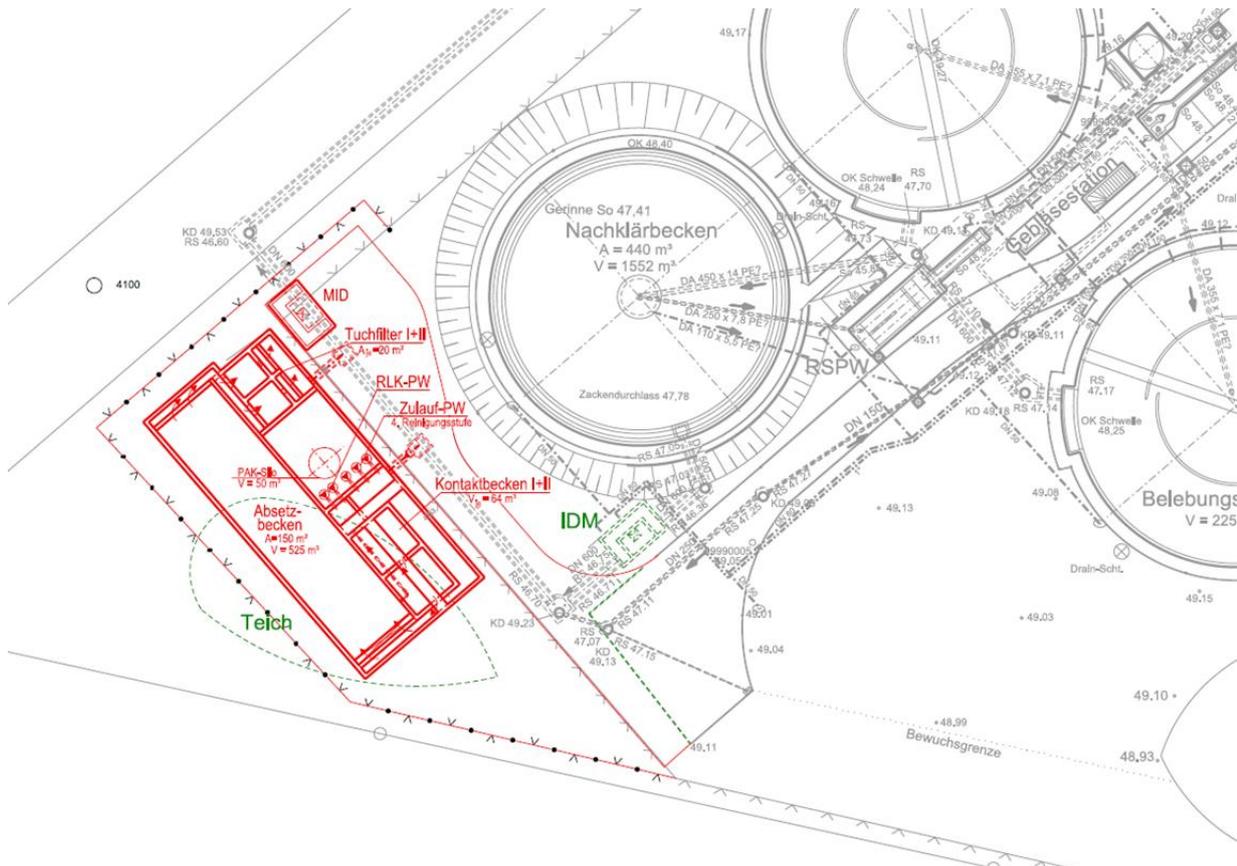
Die Anordnung der 4. Reinigungsstufe macht eine Verlegung des Schachtes für die amtliche Ablaufmessung und die Mengenummessung notwendig. Der bestehende Schacht wird aufgegeben.

## **PAK-Silo**

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

## **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.



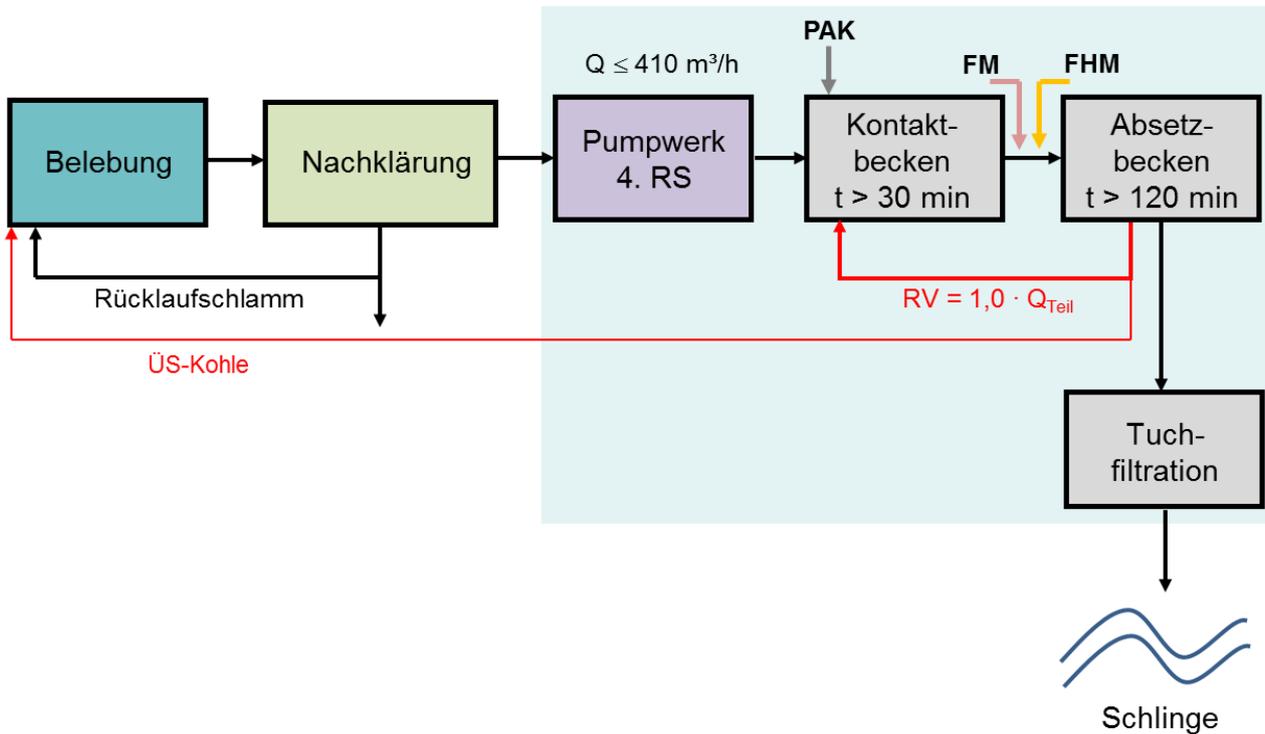
**Bild 3: Lageplanausschnitt Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle**

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

### 2.3.2.1 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 4: Systemskizze Variante 2: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle (Vollstrom)**

### 2.3.2.2 Ausführung

#### 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 m³/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 m³ 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**

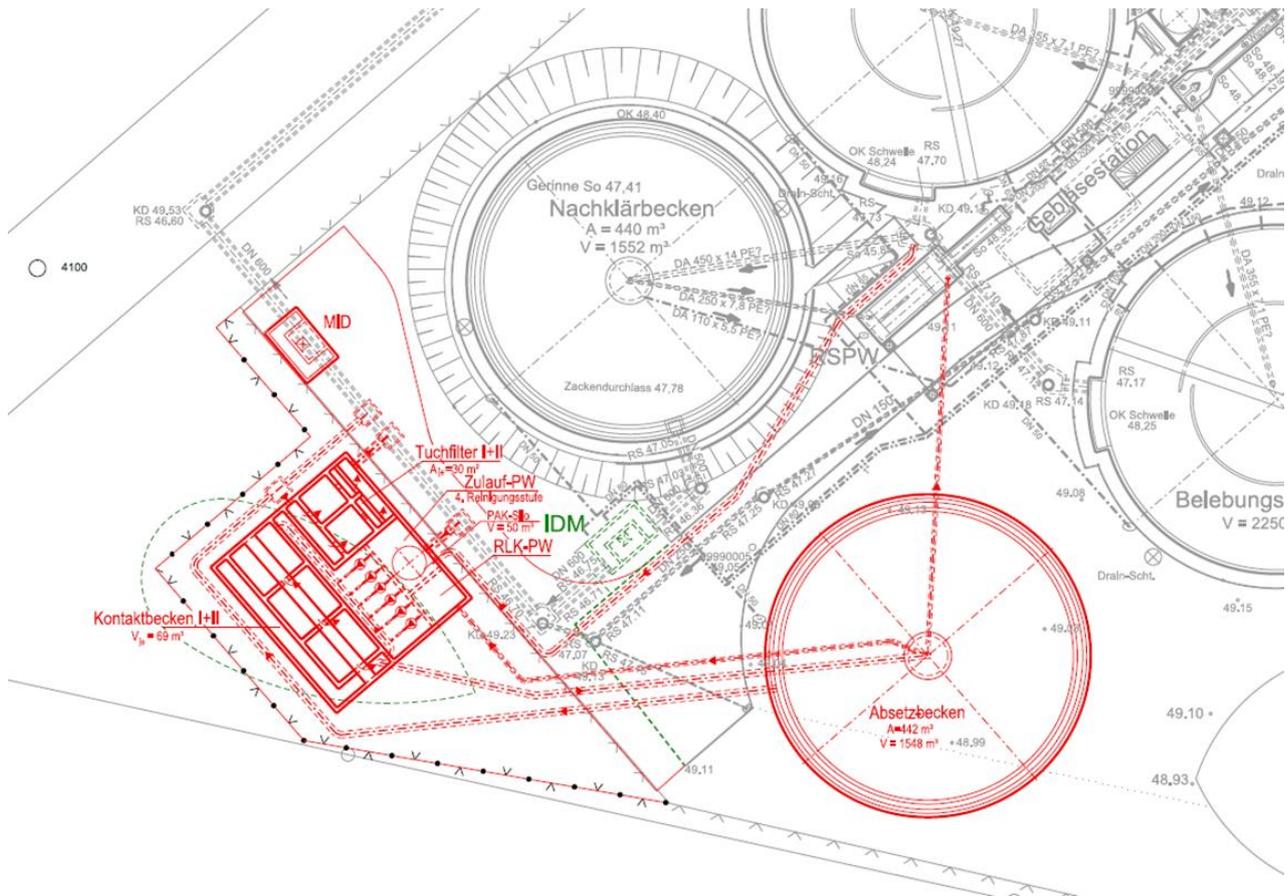
Die Anordnung der 4. Reinigungsstufe macht, analog zu Variante 1, eine Verlegung des Schachtes für die amtliche Ablaufmessung und die Mengenummessung notwendig. Der bestehende Schacht wird aufgegeben.

### **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 5: Lageplanausschnitt Variante 2: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle (Vollstrom)**

### 2.3.3 Variante 3: Ozonung mit nachgeschaltetem Sandfilter

#### 2.3.3.1 Allgemeines

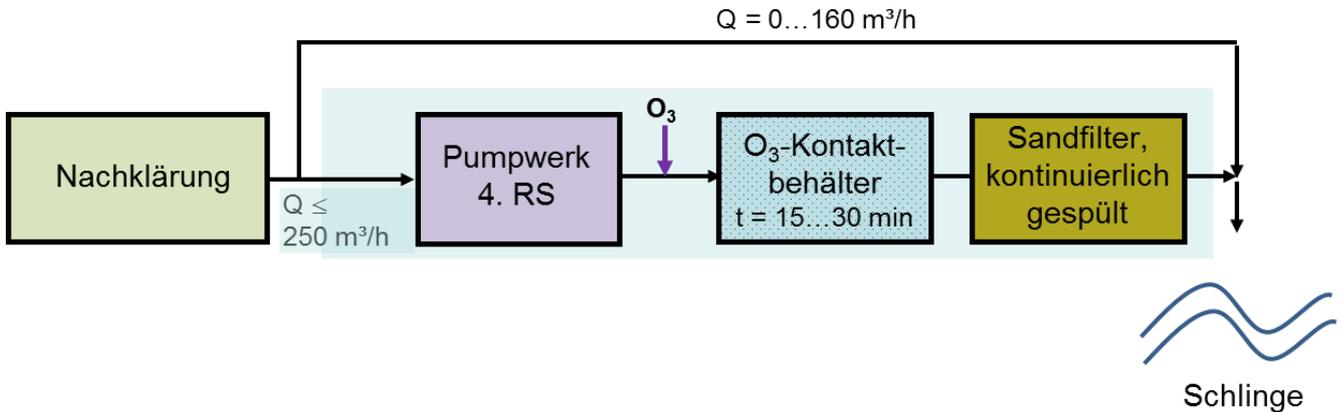
Neben der Entfernung der Spurenstoffe auf adsorptivem Wege ist die Oxidation der Stoffe eine andere Möglichkeit zur Elimination. Hier bietet sich der Einsatz von Ozon als starkes Oxidationsmittel an.

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 6: Blockschema Variante 3:**

Folgende Werte wurden gewählt:

Anzahl Kontaktbehälter: 2 Stück

Wassertiefe Kontaktbehälter: 6 m

Es wurde eine mittlere Ozondosis angenommen von:

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

### 2.3.3.2 Ausführung

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.

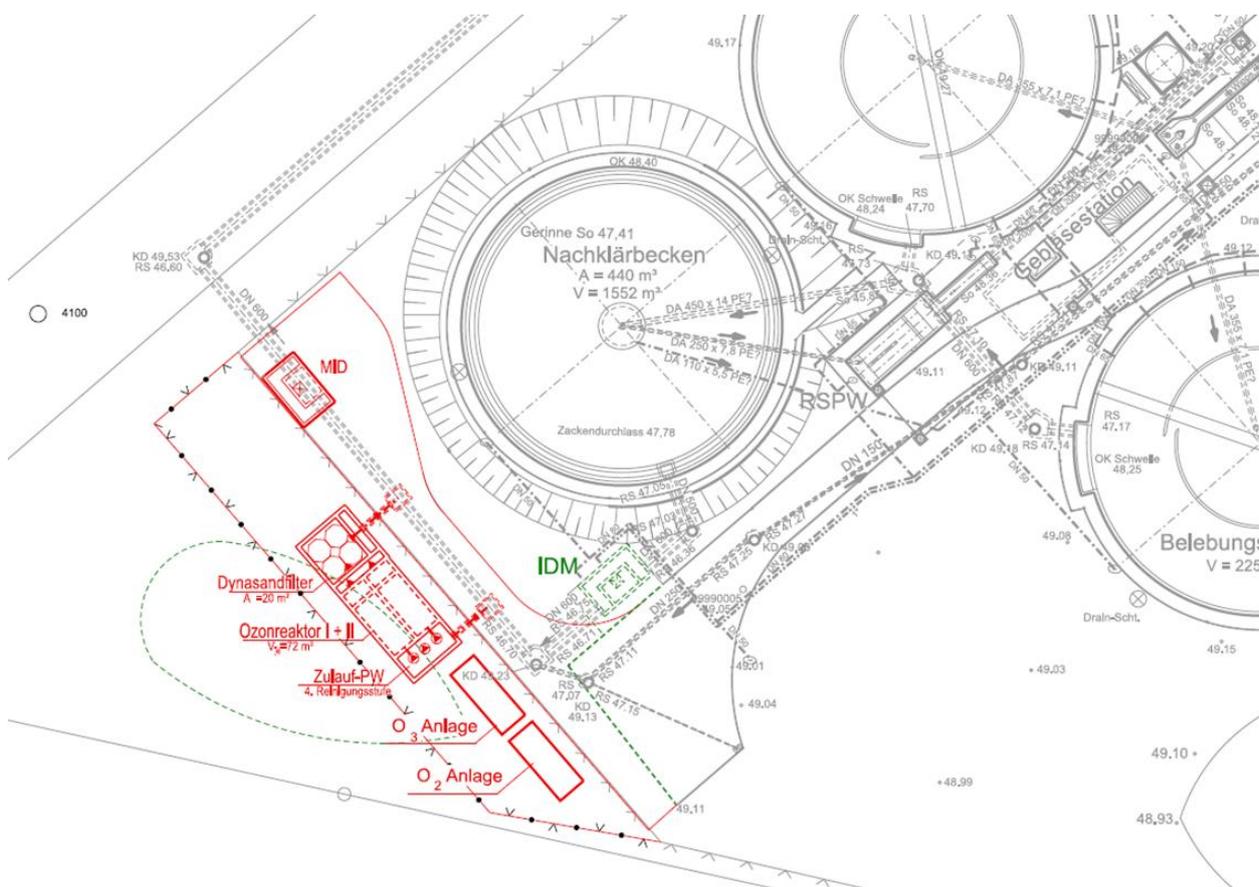
#### Kontaktbehälter

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 verfahrenstechnisch 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 7: Lageplanausschnitt Variante 2: Ozonung mit nachgeschaltetem Schönungsteich**

### 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.

Es sind insgesamt 4 Filter aufgeteilt auf zwei Straßen vorgesehen. Jeder Filter weist eine Filterfläche von  $5 \text{ m}^2$  auf, sodass sich eine Gesamterfläche von  $20 \text{ m}^2$  ergibt.

## 2.4 Ergebnisübersicht Varianten

	Variante 1 Pulverkohle mit Rücklaufkohle (Teilstrom)	Variante 2 Pulverkohle mit Rücklaufkohle (Vollstrom)	Variante 3 Ozonung + 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>

### 3 Kosten

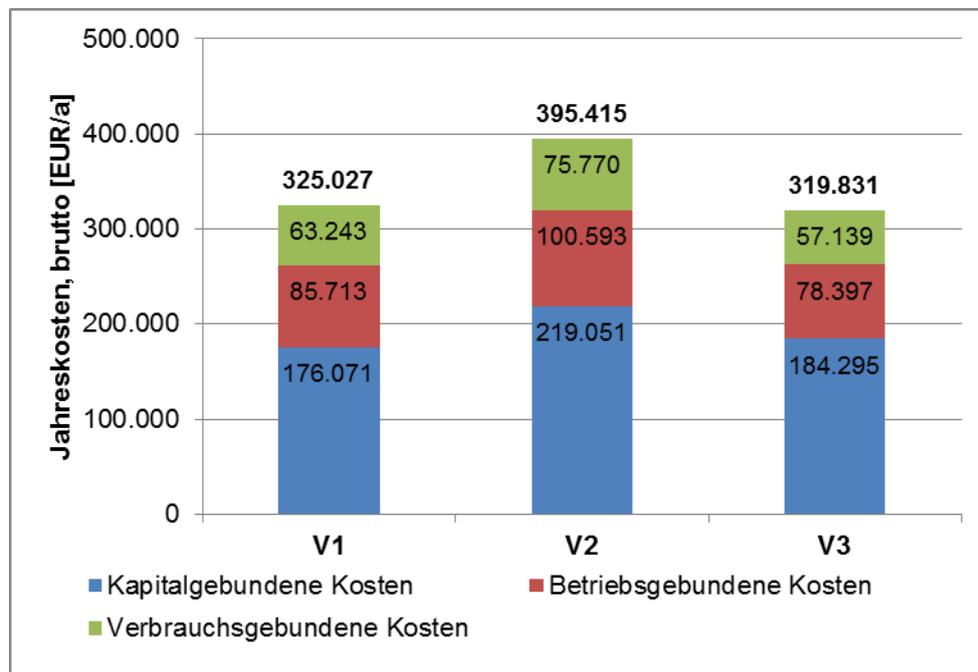
**Tabelle 1: Jahreskosten und spezifische Kosten für die Varianten 1 bis 3**

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>

Die spezifischen Kosten (EUR/m³) 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 8: Anteile kapital-, betriebs- und verbrauchsgebundene Kosten an den Jahreskosten der Varianten**

Aus der im **Bild 8** dargestellten Aufteilung der Jahreskosten ist erkennbar, dass die Vollstromvariante 2 in allen drei Kostenarten die höchsten Beträge aufweist.

## 4 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 2: 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                      1 = ungenügend  
(steigende Punkte → bessere Wertung)      5 = sehr gut

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.

## 5 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 er-

folgte 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 sensitiver 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.