

## **Zentralkläwerk Ahaus**

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

Machbarkeitsstudie – Kurzbericht  
März 2015 | 1. – 10. Ausfertigung  
Projektnummer 0100 072





## **Zentralkläwerk Ahaus**

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

Machbarkeitsstudie – Kurzbericht  
März 2015 | 1. – 10. Ausfertigung  
Projektnummer 0100 072

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

Aufgestellt:  
Bochum, im März 2015  
bie-ka-uru-ko

Dipl.-Ing. Norbert Biebersdorf

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Veranlassung und Aufgabenstellung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Anlagenbestand</b> .....	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>Darstellung der untersuchten Verfahrenskombinationen</b> .....	<b>2</b>
3.1	Beschickungsmenge.....	2
3.2	Verfahrensfestlegung.....	3
3.3	Randbedingungen .....	4
3.4	Varianten .....	4
3.4.1	Variante 1: PAK mit Rücklaufkohle .....	4
3.4.1.1	Allgemein.....	4
3.4.1.2	Ausführung .....	5
3.4.2	Variante 2: Filtration über granuliert Aktivkohle.....	6
3.4.2.1	Allgemeines .....	6
3.4.2.2	Ausführung .....	7
3.4.3	Variante 3: Ozonung mit vorgeschaltetem Sandfilter und Nachbehandlung im Schönungsteich .....	8
3.4.3.1	Allgemeines .....	8
3.4.3.2	Ausführung .....	9
3.5	Ergebnisübersicht Varianten.....	11
<b>4</b>	<b>Kosten</b> .....	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>Bewertung</b> .....	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>13</b>

**Bildverzeichnis**

Bild 1:	Fließschema ZKW Ahaus (Abwasser und Schlamm).....	2
Bild 2:	Behandelte Abwassermenge in Abhängigkeit des Bemessungszuflusses der Verfahrensstufe zur Spurenstoffelimination .....	3
Bild 3:	Blockschema Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle .....	4
Bild 4:	Lageplanausschnitt Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle.....	6
Bild 5:	Blockschema Variante 2: GAK-Filtration .....	7
Bild 6:	Lageplanausschnitt Variante 2: GAK-Filtration.....	8
Bild 7:	Blockschema Variante 3: Ozonung mit nachgeschaltetem Sandfilter.....	9
Bild 8:	Lageplanausschnitt Variante 3: Ozonung mit nachgeschaltetem Sandfilter .....	10
Bild 9:	Anteile kapital-, betriebs- und verbrauchsgebundene Kosten an den Jahreskosten der Varianten .....	12

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1:	Jahreskosten und spezifische Kosten für die Varianten 1 bis 3.....	12
Tabelle 2:	Bewertungsmatrix für die Varianten 1 bis 3.....	13

## 1 Veranlassung und Aufgabenstellung

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

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

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

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

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

Die Stadt Ahaus hat die TUTTAHS & MEYER Ing.-GmbH beauftragt, für das Zentralklärwerk Ahaus eine solche Studie auszuarbeiten.

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

Die Machbarkeitsstudie gliedert sich in folgende Punkte auf:

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

## 2 Anlagenbestand

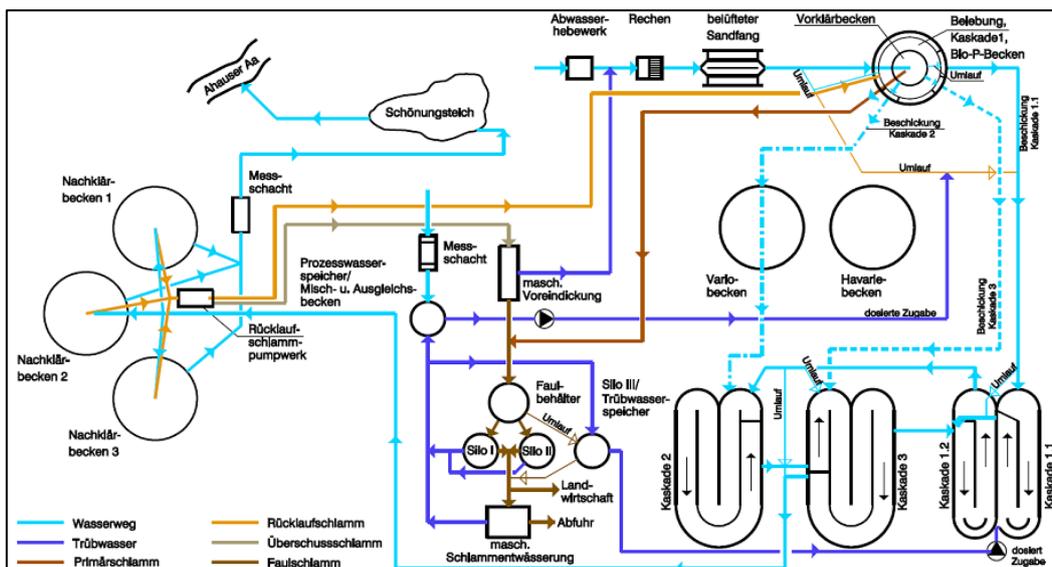
Das Zentralklärwerk Ahaus ist für eine Ausbaugröße von 85.000 EW ausgelegt. Die Anlage besteht aus einer mechanischen und einer biologischen Reinigungsstufe.

Das im Zulaufhebewerk ankommende Abwasser wird durch die Schneckenpumpen auf Höhenniveau der Kläranlage angehoben. Nach dem Hebewerk erfolgt die mechanische Vorreinigung über einen

Feinrechen. Anschließend wird das Abwasser zur weiteren mechanischen Vorbehandlung durch den belüfteten Sand- und Fettfang geführt. Nach diesen Verfahrensstufen wird das Vorklärbecken beschickt. Der anfallende Primärschlamm wird regelmäßig mittels Räumsgabel entfernt und über ein Pumpwerk in den Faulurm befördert.

Die Belebungsstufe besteht aus drei Becken, die als herkömmliche Belebungsbecken mit belüfteten oder unbelüfteten Zonen betrieben werden können. Zusätzlich besteht jedoch auch die Möglichkeit, diese Becken als vorgeschaltete Kaskadendenitrifikation zu betreiben. Nach den Belebungsbecken wird der Abwasserstrom in die Nachklärbecken geführt. Der Belebtschlamm wird als Rücklaufschlamm zurück in die Belebungsbecken oder als Überschussschlamm zur maschinellen Voreindickung gefördert. Nach den Nachklärbecken wird der gereinigte Abwasserfluss über den Messschacht und einen Schönungsteich in die Ahauser Aa geleitet.

Der im Reinigungsverlauf anfallende Schlamm wird zentral auf der Kläranlage behandelt. Während Fett und Primärschlamm direkt in den Faulbehälter gefördert werden, wird der aus den Nachklärbecken abgezogene Überschussschlamm zuerst mittels einer Siebtrommel maschinell voreingedickt. Anschließend wird der konditionierte Schlamm in den Faulurm befördert. Das anfallende Biogas wird im Blockheizkraftwerk verwertet und im Gasbehälter zwischengespeichert. Der ausgefaulte Schlamm wird in den Schlammsilos nacheingedickt, bevor er nach einer abschließenden Entwässerung entsorgt wird.



**Bild 1: Fließschema ZKW Ahaus (Abwasser und Schlamm)**

### 3 Darstellung der untersuchten Verfahrenskombinationen

#### 3.1 Beschickungsmenge

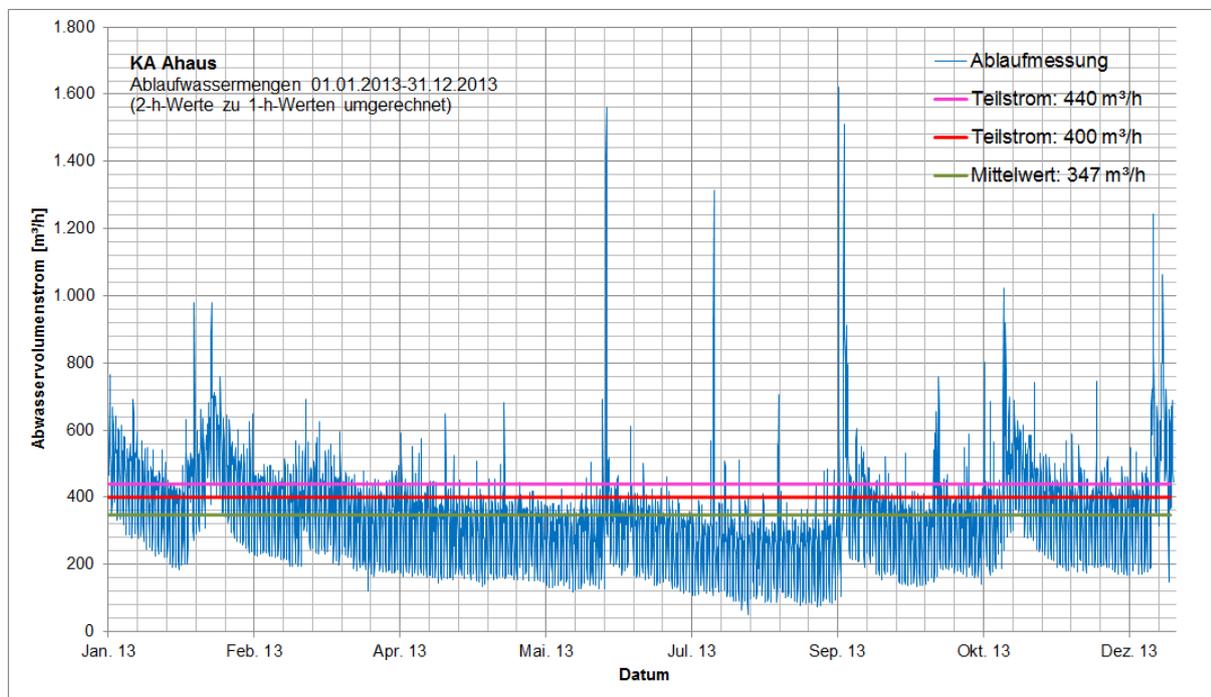
Im Hinblick auf eine wirtschaftliche Auslegung der Verfahrensstufe zur Spurenstoffelimination ist eine Betrachtung zur Teilstrombehandlung erforderlich. Der Teilstrom wird so gewählt, dass ein Großteil der jährlichen Abflusssituationen darüber abgedeckt wird. Zudem muss sichergestellt sein, dass eine

ausreichende Spurenstoffelimination in der Gesamtanlage (bestehende Anlage + 4. Reinigungsstufe) erfolgt.

Die Bemessung der 4. Reinigungsstufe erfolgt auf Basis der Durchflussmengen im Ablauf des Zentralklärarwerks Ahaus für den Zeitraum Januar bis Dezember 2013. Für eine Vollstrombehandlung müsste auf dem ZKW Ahaus eine Kapazität zur Behandlung von 1.656 m<sup>3</sup>/h vorgehalten werden.

Wenn die Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination auf 400 m<sup>3</sup>/h ausgelegt wird, werden 92 % der Jahresabwassermenge behandelt. Unter den gewählten Ansätzen kann somit eine Elimination von 80 % erreicht werden. Die Verfahrensstufe kann so bei einer Behandlung von 92 % der Jahresabwassermenge im Vergleich zur Vollstrombehandlung um ca. 76 % kleiner ausgeführt werden.

In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurde die 4. Reinigungsstufe für eine Teilstrommenge von 400 m<sup>3</sup>/h ausgelegt.



**Bild 2: Behandelte Abwassermenge in Abhängigkeit des Bemessungszuflusses der Verfahrensstufe zur Spurenstoffelimination**

### 3.2 Verfahrensfestlegung

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie werden die folgenden drei Verfahrenskombinationen untersucht:

1. **Pulverkohle mit Rücklaufkohleführung.** Abtrennung der PAK in einem Absetzbecken und in der nachgeschalteten Tuchfiltration.
2. **Filtration über granulierte Aktivkohle.** Festbettadsorber werden der bestehenden Anlage nachgeschaltet.
3. **Ozonung mit vorgeschaltetem Sandfilter.** Ablauf der Nachklärung wird einem Sandfilter zugeführt und anschließend mit Ozon behandelt. Der Ablauf der Ozonung wird in den bestehenden Schönungsteich geführt.

### 3.3 Randbedingungen

Als Standort für die 4. Reinigungsstufe wurde die Fläche zwischen den Nachklärbecken I und II festgelegt. Die Fläche vor dem Betriebsgebäude ist aufgrund der Platzverhältnisse und lokalen Randbedingungen für die 4. Reinigungsstufe ungeeignet.

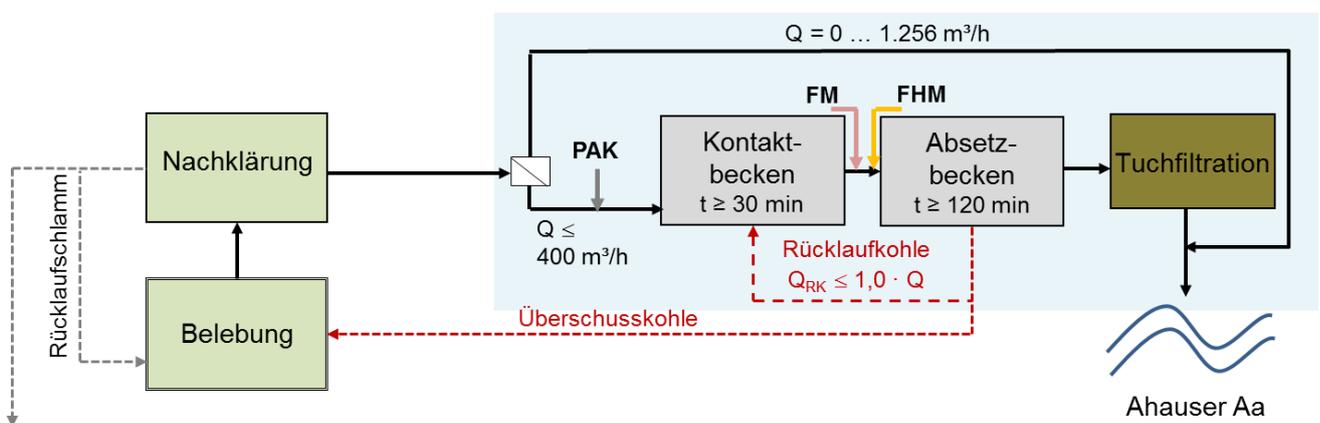
### 3.4 Varianten

#### 3.4.1 Variante 1: PAK mit Rücklaufkohle

##### 3.4.1.1 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 ausnutzen zu können.

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



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

Diese Variante hat neben der Elimination der Spurenstoffe auch einen großen Einfluss auf die Parameter CSB,  $P_{\text{ges}}$  und abfiltrierbare Stoffe im Teilstrom. Insgesamt ist davon auszugehen, dass auch bei diesen Parametern deutlich geringere Ablaufwerte zu erwarten sind. Zu beachten ist, dass jeweils immer nur ein Teilstrom von maximal  $400 \text{ m}^3/\text{h}$  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 Schlammfall 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.

### **3.4.1.2 Ausführung**

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

Die Beschickung der PAK-Stufe erfolgt über das Pumpwerk 4. Reinigungsstufe. Insgesamt stehen drei Pumpen mit einem Volumenstrom von je 200 m<sup>3</sup>/h zur Verfügung. Eine der drei Pumpen dient als Reserve.

#### **Kontaktbecken**

Es werden zwei Kontaktbecken eingesetzt. Jedes Kontaktbecken ist als quadratisches Becken mit einer Wasserspiegelhöhe von 3,7 m ausgeführt. Bei einer Innenkantenlänge von 5,0 m ergibt sich ein Volumen von ca. 100 m<sup>3</sup> je Kontaktbecken. In der Summe beträgt die Aufenthaltszeit bei maximalem Zufluss 30 Minuten. Jedes Kontaktbecken ist mit einem Vertikalrührwerk ausgestattet.

#### **Absetzbecken**

Das Absetzbecken ist längsdurchströmt. Die Beckenbreite beträgt 7,4 m und die Länge 30 m. Die Randwassertiefe liegt bei 3,6 m. Es ergibt sich ein Gesamtvolumen von rd. 800 m<sup>3</sup> und eine Aufenthaltszeit von 120 Minuten. 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 Rücklaufkohleführung ist auf ein Rückführverhältnis von 1 ausgelegt. Insgesamt ist durch diese Maßnahmen sichergestellt, dass die Adsorptionskapazität der eingesetzten Kohle sehr gut genutzt werden kann. Die Überschussskohle wird ebenfalls aus diesem Schacht entnommen und der Vorklärung bzw. Belebung zur weiteren Beladung zugeführt. Der Zulauf von den Kontaktbecken zum Absetzbecken wird jeweils über ein Gerinne realisiert.

#### **Tuchfiltration**

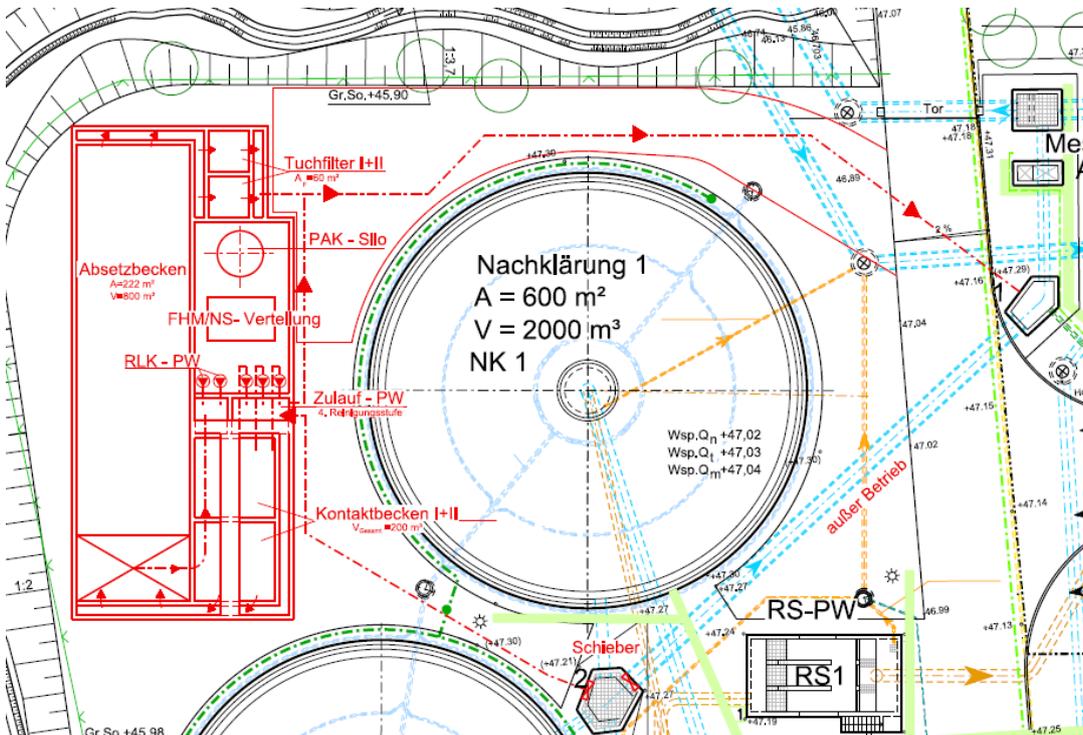
Dem Absetzbecken wird eine zweistraßige Filtrationsstufe zur Suspensa-Restentfernung nachgeschaltet. Es wird hier eine Tuchfiltration mit 6 Scheiben à 5 m<sup>2</sup> vorgesehen. Damit ergibt sich eine Gesamtfiltrationsfläche von 30 m<sup>2</sup> pro Straße. Die Tuchfiltration wurde in Bezug auf die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

#### **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  $\text{FeCl}_3$  vorgesehen. Das Fällmittel wird der bestehenden Anlage auf der Kläranlage entnommen. Die bestehende Dosieranlage wird dazu um eine zusätzliche Dosierpumpe erweitert. Die Bereitungsanlage für das Flockungshilfsmittel wird im Bereich des PAK-Silos errichtet und mit einer Einhausung versehen.



**Bild 4:** Lageplanausschnitt Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle

### 3.4.2 Variante 2: Filtration über granulierte Aktivkohle

#### 3.4.2.1 Allgemeines

Der ausgewählte Teilstrom (Ablauf Nachklärung) von maximal  $400 \text{ m}^3/\text{h}$  wird über die Aktivkohlefilter geführt.

Die Filterstufe wird anhand folgender Bemessungsparameter ausgelegt:

Leerbettkontaktzeit (EBCT): 10...30 min

Filtergeschwindigkeit: 5...20 min

Betthöhe GAK: 1,5...3 m

Folgende Werte wurden gewählt:

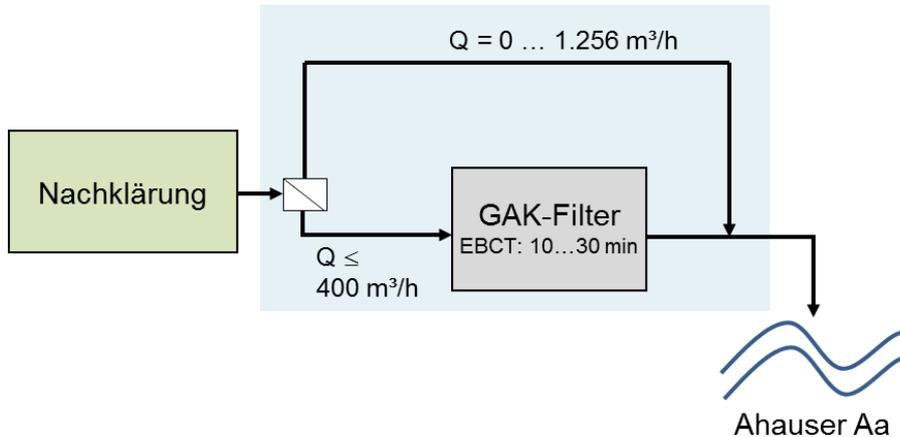
Anzahl Filter: 6 Stück

Betthöhe GAK: 2,5 m

Leerbettkontaktzeit (EBCT): 30 min

Filterfläche gesamt:  $81 \text{ m}^2$

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



**Bild 5: Blockschema Variante 2: GAK-Filtration**

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

Die Rückspülgeschwindigkeiten sind geringer als bei Mehrschichtfiltern.

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

Spülluftgeschwindigkeit: 60...80 m/h

Spülwassergeschwindigkeit: 25...35 m/h

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

### 3.4.2.2 Ausführung

#### Pumpwerk 4. Reinigungsstufe

Die Beschickung der GAK-Stufe erfolgt über das Pumpwerk 4. Reinigungsstufe. Insgesamt stehen drei Pumpen mit einem Volumenstrom von je 200 m³/h zur Verfügung. Eine der drei Pumpen dient als Reserve.

#### Filterblock

Der Filterblock besteht aus sechs abwärtsdurchströmten offenen Filtern. Jede Filterkammer weist eine Fläche von 13,5 m² auf. Die Abmessungen einer Filterkammer liegen bei einer Breite von 2,7 m und einer Länge von 5 m. Der Zulauf zu den sechs Filtern erfolgt aus einem offenen Gerinne. Über

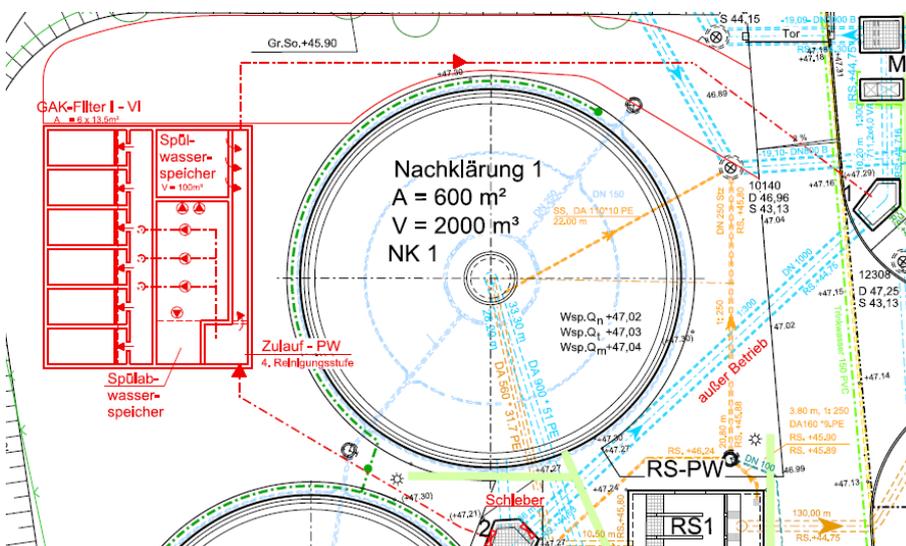
mit Schiebern versehene Öffnungen im Gerinne fließt das Wasser in die Filterkammern. Die Gleichverteilung des Zulaufs auf alle in Betrieb befindlichen Filterkammern wird über die Schwellen an der Stirnseite der Filter realisiert.

### Spülwasserspeicher

Das Filtrat der Adsorptionsstufe wird in einer Spülwasservorlage mit 200 m<sup>3</sup> Inhalt gespeichert. Der Überlauf des Spülwasserspeichers wird wieder in das Ablaufgerinne der Kläranlage zurückgeführt. Für die Rückspülung der Filter stehen zwei Rückspülpumpen zur Verfügung.

### Spülabwasserspeicher

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



**Bild 6:** Lageplanausschnitt Variante 2: GAK-Filtration

### 3.4.3 Variante 3: Ozonung mit vorgeschaltetem Sandfilter und Nachbehandlung im Schönungsteich

#### 3.4.3.1 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.

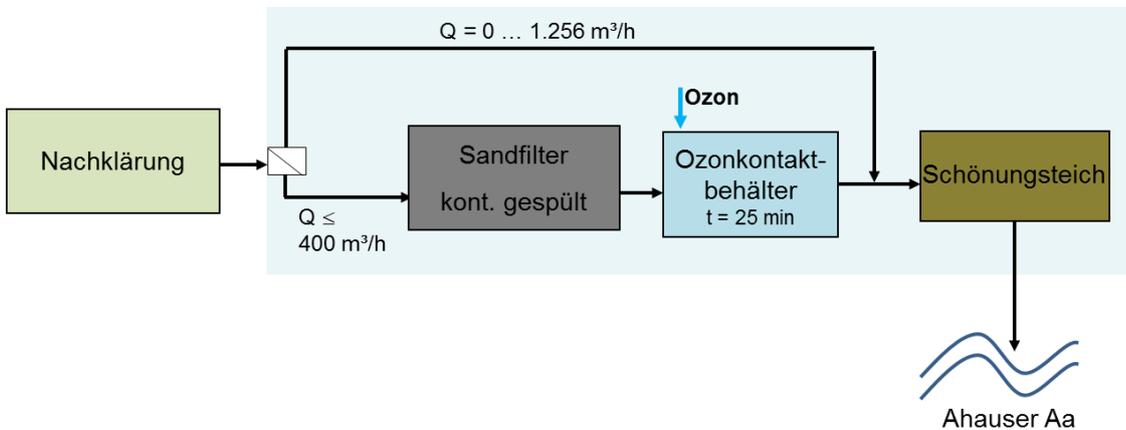
Zu berücksichtigen ist, dass durch den Einsatz von Ozon Oxidationsprodukte gebildet werden können, die toxisch sind. Daher wird empfohlen, eine biologisch arbeitende Stufe der Ozonung nachzuschalten. Dies kann eine Filtration sein, wie Abbeulen u. a. (2009) in einem großtechnischen Versuch auf der ARA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

Bei dieser Variante wird das Abwasser aus der Nachklärung zunächst in einer Filtrationsstufe zur Suspensa-Restentfernung und anschließend mit Ozon behandelt. Der Ablauf der Ozonung wird in den nachgeschalteten Schönungsteich zum Abbau eventuell toxikologisch bedenklicher Stoffe geführt.

Die Ozonung wird anhand folgender Bemessungsparameter ausgelegt:

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

Kontaktzeit im Reaktionsbehälter: 10...30 min



**Bild 7: Blockschema Variante 3: Ozonung mit nachgeschaltetem Sandfilter**

Folgende Werte wurden gewählt:

Anzahl Kontaktbehälter: 2 Stück

Wassertiefe Kontaktbehälter: 6 m

Es wurde eine mittlere Ozondosis angenommen von:

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

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

### 3.4.3.2 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.

#### Pumpwerk 4. Reinigungsstufe

Die Beschickung der Ozonung erfolgt über das Pumpwerk 4. Reinigungsstufe. Insgesamt stehen 3 Pumpen mit einem Volumenstrom von je 200 m<sup>3</sup>/h zur Verfügung. Diese Variante ist zweistraßig ausgeführt; daher werden jeder Straße (Kontaktbecken) zwei Pumpen zugeordnet. Die dritte Pumpe dient als Reserve für beide Straßen.

#### Sandfilter (kontinuierlich gespült)

Als Filtrationsstufe wird ein kontinuierlich arbeitender Sandfilter (Dyna-Sandfilter) eingesetzt. Das Sandbett im Filter wird von unten nach oben durchströmt. Die im Abwasser enthaltenen Suspensa werden im Sand zurückgehalten. Über eine Mammutpumpe wird der verunreinigte Sand aus dem Filterbett von unten nach oben transportiert. In einem Sandwäscher wird dieser Sand mit Filtrat gereinigt. Der gereinigte Sand fällt auf das Filterbett zurück. Das anfallende Schlammwasser aus dem

Sandwäscher fließt über den Waschwasserablauf ab. Für den Betrieb der Mammutpumpe ist eine Druckluftversorgung (Kompressor) notwendig. Rückspülpumpen werden nicht benötigt. Es sind insgesamt 6 Filter aufgeteilt auf zwei Straßen vorgesehen. Jeder Filter weist eine Filterfläche von 6 m<sup>2</sup> auf, sodass sich eine Gesamterfläche von 36 m<sup>2</sup> ergibt. Jeweils drei Filter werden in ein Betonbecken eingebaut. Der Zulauf auf die einzelnen Filterstraßen erfolgt über ein Gerinne. Jede Straße kann über ein Schütz abgeschiebert werden.

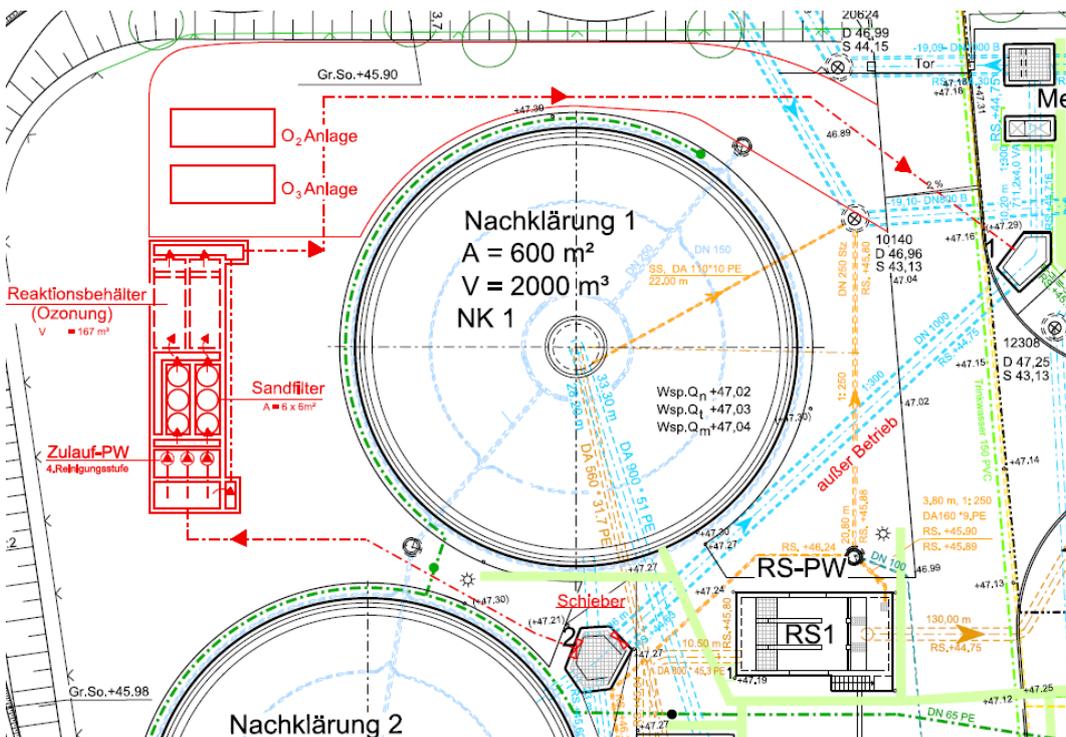
### Kontaktbehälter

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

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

### Ozonerzeugung

Die Ozonerzeuger weisen eine Leistung von 2 x 2.000 g/h auf. Als Prozessgas ist flüssiger Sauerstoff vorgesehen. Die Kühlung erfolgt über einen Nass/Nass-Wärmeübertrager, der ebenfalls im Container untergebracht ist. Das benötigte Kühlwasser im Sekundärkreislauf wird über zwei Pumpen (eine Reserve) bereitgestellt. Die Erzeuger werden mit der zugehörigen Schaltanlage in Containern untergebracht.



**Bild 8:** Lageplanausschnitt Variante 3: Ozonung mit nachgeschaltetem Sandfilter

### 3.5 Ergebnisübersicht Varianten

	Variante 1 Pulverkohle mit Rücklaufkohle	Variante 2 GAK-Filtration	Variante 3 Sandfilter + Ozonung + Schönungsteich
Anlagenkomponenten	<p><b>Kontaktbecken:</b>  <math>t_A = 30 \text{ min}</math>, <math>V_{\text{ges}} = 200 \text{ m}^3</math></p> <p><b>Absetzbecken:</b>  <math>L = 30 \text{ m}</math>, <math>b = 7,4 \text{ m}</math>  <math>A_{\text{ges}} = 222 \text{ m}^2</math>, <math>V = 800 \text{ m}^3</math></p> <p><b>Tuchfiltration:</b>                  2 Filter mit <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>GAK-Filtration:</b>                  6 Filter, <math>B \times L = 2,7 \times 5 \text{ m}</math>  <math>A = 81 \text{ m}^2</math>, <math>H_{\text{FB}} = 2,5 \text{ m}</math>, <math>V = 202,5 \text{ m}^3</math></p>	<p><b>Sandfiltration (kont. gespült):</b>                  6 Filter mit <math>A_F = 6 \text{ m}^2</math>  <math>A_{F,\text{ges}} = 36 \text{ m}^2</math></p> <p><b>Flüssigsauerstoff:</b>                  Tankanlage und Verdampfer</p> <p><b>Ozonerzeuger:</b>                  2 x 2 kg <math>\text{O}_3/\text{h}</math></p> <p><b>Reaktionsbehälter:</b>                  2 Straßen,                  je <math>L = 5,8 \text{ m}</math>; <math>B = 2,4 \text{ m}</math>; <math>V_{\text{ges}} = 167 \text{ m}^3</math></p>
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Bildung von Reaktionsprodukten</li> <li>Wirkungsweise der Stoffelimination eindeutig</li> <li>sehr guter Suspensarückhalt im AB und durch Filtration</li> <li>sehr gute Reduzierung <math>P_{\text{ges}}</math> und CSB</li> <li>Mehrfachbelastung der PAK</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Bildung von Reaktionsprodukten</li> <li>Wirkungsweise der Stoffelimination eindeutig</li> <li>sicherer und einfacher Betrieb</li> <li>Suspensarückhalt durch Filtration</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>geringe Wirkung auf CSB und <math>P_{\text{ges}}</math>, guter Suspensarückhalt durch vorgeschaltete Filtrationsstufe</li> </ul>
achteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>höherer Schlammanfall als bei den anderen Varianten</li> <li>betreuungsintensiv, da Dosierung von PAK, FHM und FM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>GAK-Austausch</li> <li>hoher Kohlebedarf im Vergleich zu anderen Varianten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>hohe Sicherheitsanforderungen an den Arbeitsschutz, da Ozon toxisch und als Reizstoff wirkt</li> <li>derzeit noch keine breite Referenzbasis</li> </ul>

## 4 Kosten

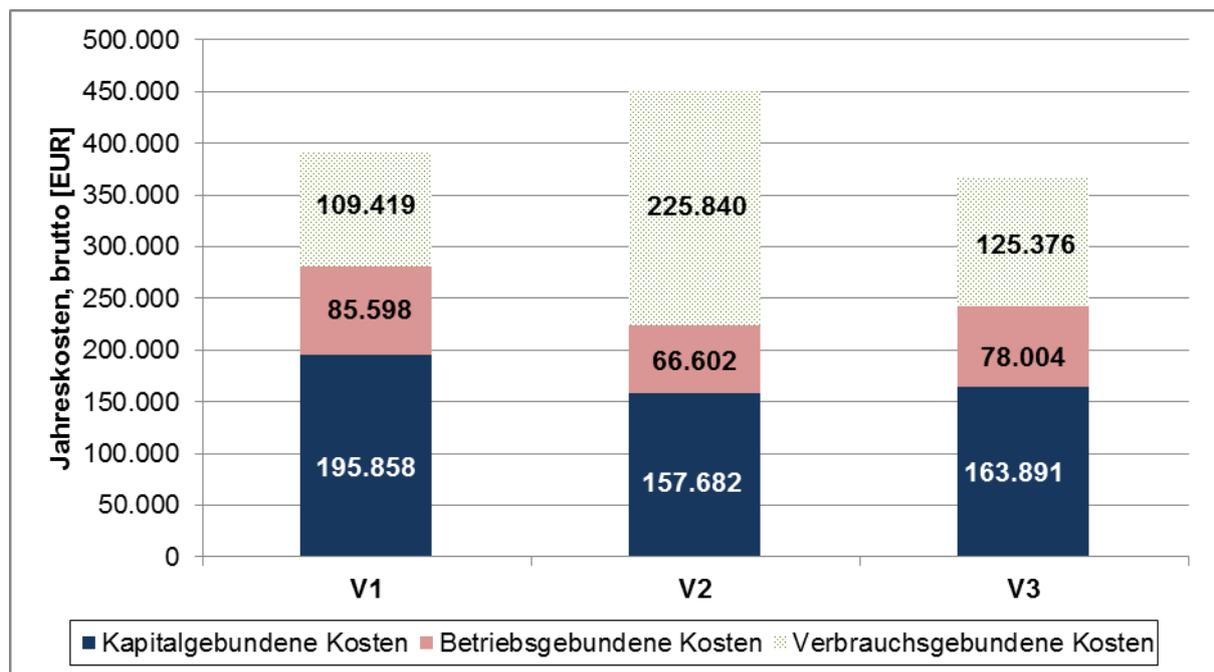
**Tabelle 1: Jahreskosten und spezifische Kosten für die Varianten 1 bis 3**

Pos.-Nr	Text		Variante 1	Variante 2	Variante 3
			PAK m. Rücklaufk.	GAK-Filtration	Sandfilter + Ozonung + Teich
A	Kapitalgebundene Kosten	EUR	164.586,49	132.505,99	137.723,94
B	Betriebsgebundene Kosten	EUR	71.931,00	55.967,84	65.549,39
C	Verbrauchsgebundene Kosten	EUR	91.948,90	189.781,65	105.358,18
<b>Summe Jahreskosten, netto</b>		<b>EUR</b>	<b>328.466,39</b>	<b>378.255,48</b>	<b>308.631,51</b>
Mehrwertsteuer: 19%		EUR	62.408,61	71.868,54	58.639,99
<b>Summe Jahreskosten, brutto</b>		<b>EUR</b>	<b>390.875,00</b>	<b>450.124,02</b>	<b>367.271,49</b>
<b>Anteil</b>			<b>106%</b>	<b>123%</b>	<b>100%</b>

Spezifische Kosten bezogen auf die behandelte Abwassermenge in der 4. Reinigungsstufe					
spez. Kosten, netto	EUR/m³ Abwasser		0,12	0,14	0,11
spez. Kosten, brutto	EUR/m³ Abwasser		0,14	0,17	0,14

Spezifische Kosten bezogen auf die gebührenrelevante Jahresschmutzwassermenge im Jahr 2014 (1.985.346 m³)					
spez. Kosten, netto	EUR/m³ Abwasser		0,17	0,19	0,16
spez. Kosten, brutto	EUR/m³ Abwasser		0,20	0,23	0,18

Die niedrigsten Jahreskosten wurden für die Variante 3 (Sandfilter + Ozonung) und Variante 1 (PAK mit RLK) mit ca. 367.000 bzw. 391.000 EUR/a, brutto ermittelt. Variante 2 (GAK-Filtration) weist mit rund 450.000 EUR/a, brutto die höchsten Jahreskosten auf.



**Bild 9: Anteile kapital-, betriebs- und verbrauchsgebundene Kosten an den Jahreskosten der Varianten**

Aus der im **Bild 9** dargestellten Aufteilung der Jahreskosten ist erkennbar, dass Variante 1 den höchsten Anteil an kapitalgebundenen Kosten aufweist. Sehr hohe verbrauchsgebundene Kosten ergeben sich für Variante 2.

## 5 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. Punkte	gewichtet	GAK Punkte	gewichtet	Sandfilter + Ozonung + Teich Punkte	gewichtet
Jahreskosten	0,30	4	1,2	3	0,9	5	1,5
Reinigungsleistung $P_{ges}$ /CSB (zusätz. Reduk.)	0,28	5	1,4	4	1,12	4	1,12
Bildung Nebenprodukte	0,10	5	0,5	5	0,5	3	0,3
Erfahrungen/Referenzen	0,08	5	0,4	4	0,32	4	0,32
Betriebs- und Wartungsaufwand	0,08	4	0,32	5	0,4	4	0,32
Betriebssicherheit	0,06	4	0,24	5	0,3	4	0,24
Sensitivität Kostensteigerungen	0,06	4	0,24	3	0,18	4	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>35</b>	<b>4,46</b>	<b>33</b>	<b>3,88</b>	<b>32</b>	<b>4,20</b>

In der **Summe** schneidet Variante 1 (PAK-Dosierung) mit 4,46 Punkten am besten ab. Geht von Variante 3 (Sanfilter + Ozonung) mit 4,18 Punkten. Variante 2 (GAK-Filtration) hat mit 3,88 Punkten die niedrigste Bewertung

## 6 Zusammenfassung

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

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

**Variante 1:** Pulverkohledosierung mit Rücklaufkohle,

**Variante 2:** GAK-Filtration,

**Variante 3:** Sandfiltration und Ozonung mit nachgeschaltetem Schönungsteich.

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 4,46 Punkten; Variante 3 (Sanfilter + Ozonung) kommt auf den zweiten Platz, mit 4,18 Punkten. Die Varianten 1 (PAK mit Rücklaufkohle) liegt mit 3,88 Punkten auf dem dritten Platz.

Bei den Jahreskosten liegt Variante 3 (Ozonung + Schönungsteich) mit ca. 367.000 EUR/a, brutto vorn, gefolgt von Variante 1 (PAK mit Rücklaufkohle) mit 391.000 EUR/a, brutto. Variante 2 (GAK) liegt mit 450.000 EUR/a, brutto auf dem dritten Platz.

Variante 1 (PAK mit Rücklaufkohle) lag in der Bewertungsmatrix auf dem ersten Rang. Sie stellt das derzeit verbreitetste Verfahren zur Spurenstoffelimination dar (in Baden-Württemberg derzeit sieben Anlagen in Betrieb, weitere in Planung und Bau). Neben der Pulverkohle wird in diesem Verfahren noch Flockungs- und Flockungshilfsmittel dosiert. Auf der einen Seite führt dies zu einem erhöhten Betriebsaufwand; auf der anderen Seite kann damit auch direkt auf eine Veränderung der Rohwasserbeschaffenheit bzw. der Ablaufziele reagiert werden. Die Erfahrungen aus Baden-Württemberg zeigen, dass ein sehr sicherer Betrieb möglich ist. Durch die Rückführung der Aktivkohle ist eine sehr gute Nutzung der Adsorptionskapazität der Kohle gegeben. Dadurch reduziert sich insgesamt der benötigte Kohlebedarf. Das Verfahren reagiert damit auf Preisschwankungen bei der Aktivkohle weniger sensitiv. Das Verfahren führt neben der Spurenstoffelimination noch zu einer deutlichen Reduzierung bei den Parametern CSB und  $P_{ges}$ .

Variante 3 (Sandfilter + Ozonung + Schönungsteich) lag in der Bewertungsmatrix auf dem zweiten Platz. Die Jahreskosten dieses Verfahrens sind am niedrigsten. Sie sind jedoch von der Ozondosis stark abhängig. In der Berechnung wurde derzeit von einer vergleichsweise hohen Dosis ausgegangen. Sollte sich zeigen, dass diese reduziert werden kann, so wird dieses Verfahren wirtschaftlich noch interessanter. Die weiteren Forschungsergebnisse hinsichtlich der Bildung von Transferprodukten sollten in die Entscheidungsfindung einfließen. Der Einsatz von Ozon bedingt einen hohen Energiebedarf auf der Kläranlage für die Erzeugung des Ozons. Damit reagieren die Ozonvarianten generell sensitiver auf Kostensteigerungen beim Strombezug. Die Investitionskosten dieser Variante sind mit den Kosten von Variante 2 vergleichbar.

Die GAK-Filtration (Variante 2) ist aufgrund der höchsten Jahreskosten auf dem letzten Rang. Für dieses Verfahren spricht die hohe Betriebssicherheit und der minimale Betriebsaufwand. Die relativ geringe prognostizierte Standzeit der Aktivkohle im Filter führt allerdings zu hohen Betriebskosten. Variante 2 ist zudem sehr empfindlich gegenüber Kostensteigerungen.

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

Die TUTTAHS & MEYER Ing.-GmbH empfiehlt, Variante 1 (PAK mit RLK) und Variante 3 (Sandfilter + Ozonung + Teich) für weitere Untersuchungen auf dem Zentralklärwerk Ahaus zu berücksichtigen.