



# **Kläranlage Gescher-Harwick**

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

Machbarkeitsstudie - Kurzbericht  
Dezember 2014  
Projektnummer 0270 029





# **Kläranlage Gescher-Harwick**

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

Machbarkeitsstudie - Kurzbericht  
Dezember 2014  
Projektnummer 0270 029

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

Aufgestellt:  
Bochum, im Dezember 2014

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Veranlassung und Aufgabenstellung</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Anlagenbestand</b> .....	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Darstellung der untersuchten Verfahrenskombinationen</b> .....	<b>6</b>
3.1	Beschickungsmenge.....	6
3.2	Verfahrensfestlegung.....	7
3.3	Varianten .....	7
3.3.1	Variante 1: PAK mit Rücklaufkohle .....	7
3.3.1.1	Allgemein.....	7
3.3.1.2	Ausführung .....	8
3.3.2	Variante 2: Filtration über granulierte Aktivkohle.....	9
3.3.2.1	Allgemeines .....	9
3.3.2.2	Ausführung .....	10
3.3.3	Variante 3: Ozonung mit nachgeschaltetem Sandfilter.....	11
3.3.3.1	Allgemeines .....	11
3.3.3.2	Ausführung .....	12
3.4	Ergebnisübersicht Varianten.....	14
<b>4</b>	<b>Kosten</b> .....	<b>15</b>
<b>5</b>	<b>Bewertung</b> .....	<b>16</b>
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>17</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 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 Gescher hat die TUTTAHS & MEYER Ing.-GmbH beauftragt, für die Kläranlage Gescher-Harwick eine solche Studie auszuarbeiten.

Mit der Studie soll eine Entscheidungsgrundlage geschaffen werden, um die Auswahl eines möglichen Verfahrens durch die Stadt Gescher 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 Anlagenbestand

Die Kläranlage Gescher-Harwick wurde im Jahr 1965 gebaut und im Frühjahr 1994 zum zweiten Mal erweitert. Sie ist auf eine Anschlussgröße von 29.000 EW ausgelegt. Der Vorfluter der Anlage ist die Berkel. Die Anlage gliedert sich in eine mechanische und eine biologische Reinigungsstufe.

Das Abwasser wird zunächst von zwei Pumpwerken jeweils zu einem Regenüberlauf- sowie einem Regenfangbecken geführt. Der Ablauf dieser Becken fließt der Rechenanlage zu. Bei starken Regenwetterzuflüssen fließt der Überlauf des RÜB in die Retentionsbodenfilter und anschließend mit einer gedrosselten Abflussmenge (565 m<sup>3</sup>/h) in die Berkel.

Die mechanische Stufe umfasst eine Rechenanlage (Feinrechen) und einen belüfteten Sand- und Fettfang. Der Ablauf aus dem Sandfang wird in das Bio-P-Becken geleitet, dem ebenfalls der Rücklaufschlamm aus der Nachklärung zufließt. Nach der biologischen P-Elimination wird das Abwasser-Schlamm-Gemisch über das Zwischenpumpwerk auf das Niveau der Belebung gehoben. Diese besteht aus zwei gleichgroßen Rundbecken, die nach dem Belebungsverfahren mit intermittierender Nitrifikation/Denitrifikation zur Stickstoffeliminierung arbeiten. Zur chemischen Phosphateliminierung kommt Eisen-III-Chlorid als Fällmittel zum Einsatz.

Der Ablauf der Belebung gelangt über ein Verteilerbauwerk in die als Rundbecken ausgeführten Nachklärbecken. Der Ablauf der Nachklärung wird in einem offenen Gerinne gesammelt und in einen Schacht zur Ablaufmessung geführt. Im freien Gefälle wird der gesamte Ablauf der Kläranlage in die Berkel geleitet.

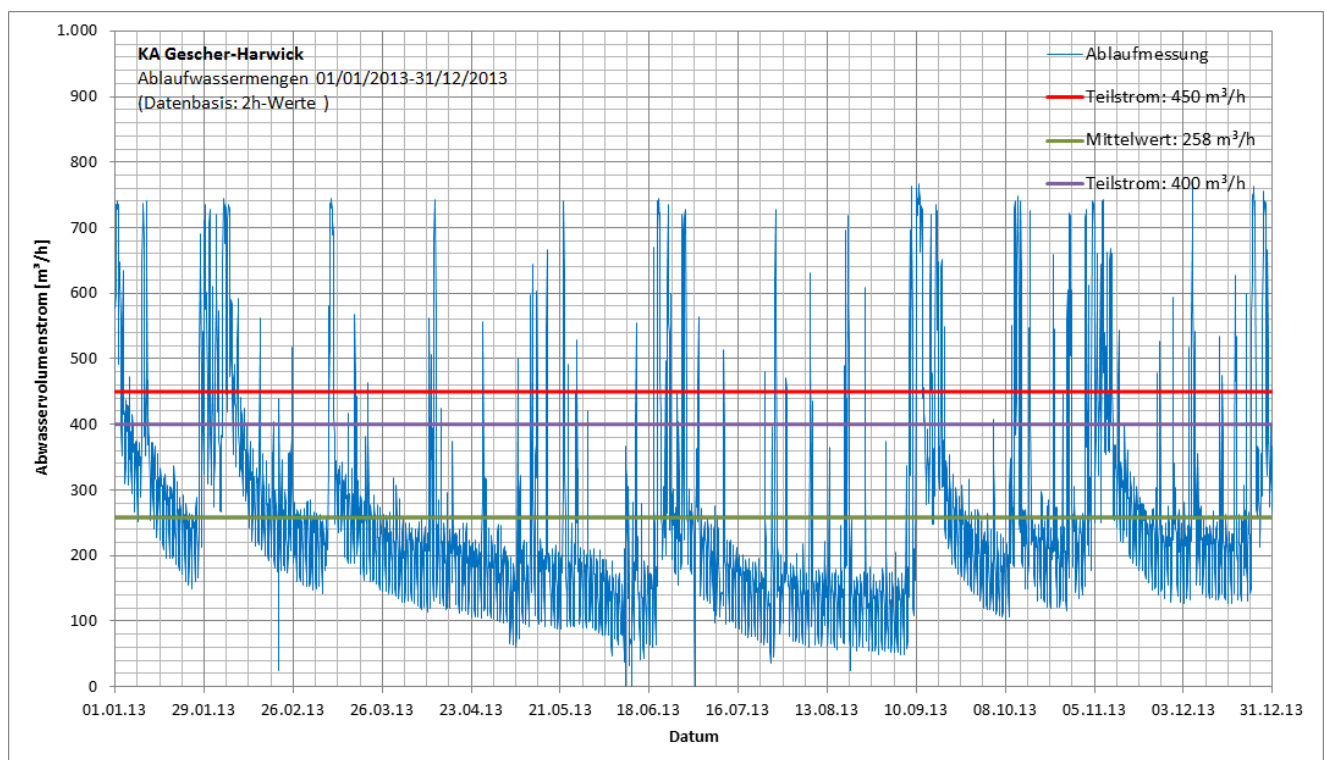
### 3 Darstellung der untersuchten Verfahrenskombinationen

#### 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.

Für eine Vollstrombehandlung müsste auf der Kläranlage Gescher-Harwick eine Kapazität zur Behandlung von 756 m<sup>3</sup>/h vorgehalten werden.

Bei einer Teilstrommenge von 448 m<sup>3</sup>/h würden 92,7 % der Jahresabwassermenge behandelt. Die Stufe könnte hydraulisch um etwa 66 % kleiner ausgeführt werden, als bei einer Auslegung für den Vollstrom. Bei einem Teilstrom von 448 m<sup>3</sup>/h würde eine Abwassermenge von rund 2.057.862 m<sup>3</sup>/a in der vierten Reinigungsstufe behandelt werden. Die Teilstrombehandlung wurde basierend auf dem Vorschlag von Tuttahs & Meyer in Abstimmung mit der Stadt Gescher auf einen Volumenstrom von 448 m<sup>3</sup>/h (**≈ 450 m<sup>3</sup>/h**) ausgelegt.



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

## 3.2 Verfahrensfestlegung

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie werden die folgenden drei Verfahrenskombinationen untersucht:

1. **Pulveraktivkohle mit Rücklaufkohleführung.** Nutzung des alten Regenfangbeckens als Baugrube für das Absetzbecken. Der PAK-Abtrennung ist eine Tuchfiltration nachgeschaltet.
2. **Filtration über granulierten Aktivkohle.** Festbettadsorber werden der bestehenden Anlage nachgeschaltet.
3. **Ozonung mit Sandfilter.** Ablauf der Nachklärung wird mit Ozon behandelt und anschließend über einen kontinuierlichen Sandfilter als biologisch aktive Stufe geführt.

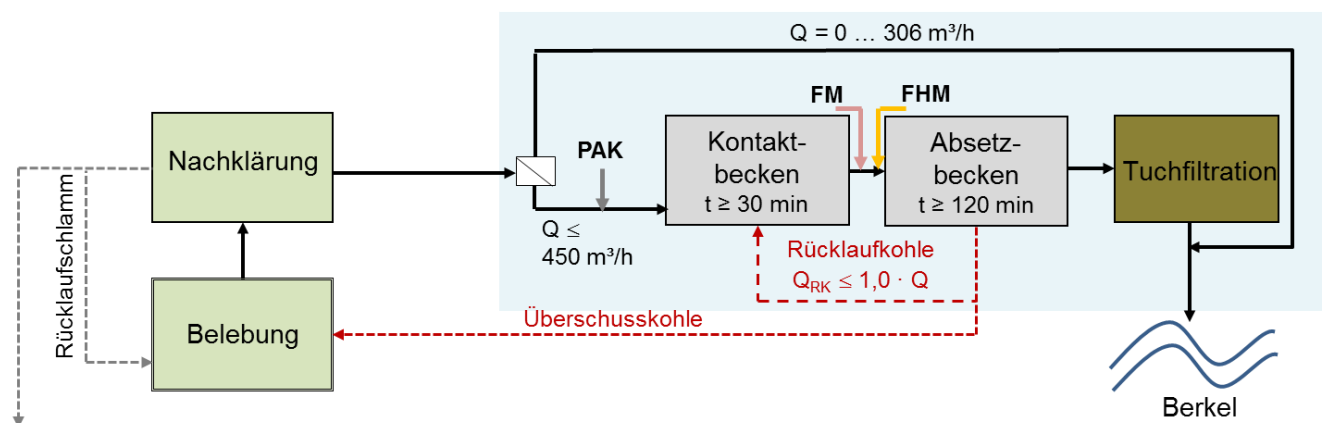
## 3.3 Varianten

### 3.3.1 Variante 1: PAK mit Rücklaufkohle

#### 3.3.1.1 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 ausnutzen zu können.

Für die Kläranlage Gescher-Harwick würde dies bedeuten, dass ein Kontaktbecken sowie eine Filtration gebaut werden müssen. Das Regenfangbecken soll zum Absetzbecken umfunktioniert und umgebaut werden. 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**

Diese Variante hat neben der Elimination der Spurenstoffe auch einen großen Einfluss auf die Parameter CSB,  $P_{ges}$  und abfiltrierbare Stoffe im Teilstrom. Insgesamt ist davon auszugehen, dass auch bei diesen Parametern deutlich geringere Ablaufwerte zu erwarten sind. Zu beachten ist, dass jeweils immer nur ein Teilstrom von maximal 450 m<sup>3</sup>/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.

### **3.3.1.2 Ausführung**

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

Die Beschickung der PAK-Stufe erfolgt über das Pumpwerk 4. Reinigungsstufe. Insgesamt stehen drei Pumpen mit einem Volumenstrom von je 225 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 3,4 m ausgeführt. Bei einer Innenkantenlänge von 5,8 m ergibt sich ein Volumen von 114 m<sup>3</sup> je Kontaktbecken. Des Weiteren ist die Rücklaufkohleföhrung auf ein Rückföhrverhältnis von 1 ausgelegt. Insgesamt ist durch diese Maßnahmen sichergestellt, dass die Adsorptionskapazität der eingesetzten Kohle sehr gut genutzt werden kann. Jedes Kontaktbecken ist mit einem Vertikalröhrwerk ausgestattet.

#### **Absetzbecken**

Das Absetzbecken ist als Rundbecken ausgeführt und wird horizontal durchströmt. Der Innendurchmesser des Beckens beträgt 22 m. Die Beckentiefe im 2/3-Punkt liegt bei 2,9 m. Es ergibt sich ein Gesamtvolumen von 1.073 m<sup>3</sup>. Für die Räumung des anfallenden Schlammes wird eine Schildröumung vorgesehen. Der gesammelte Schlamm wird mittels einer Pumpe wieder in den Zulauf der Kontaktbecken zurückgeföhrte. Die Überschusskohle wird aus dem ÜSK-Schacht entnommen und der Belegung zur weiteren Beladung zugeföhrte.

#### **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 Gesamtfiltrationsflöche von 30 m<sup>2</sup> pro StraÙe. 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 (Rückspölung und hydraulische Verluste) gegenüber Raumfiltern. Zu beachten ist, dass die Filtertücher in regelmäÙigen Abständen (ca. 5 a) erneuert und jährlich einer Intensiv-Reinigung unterzogen werden müssen.

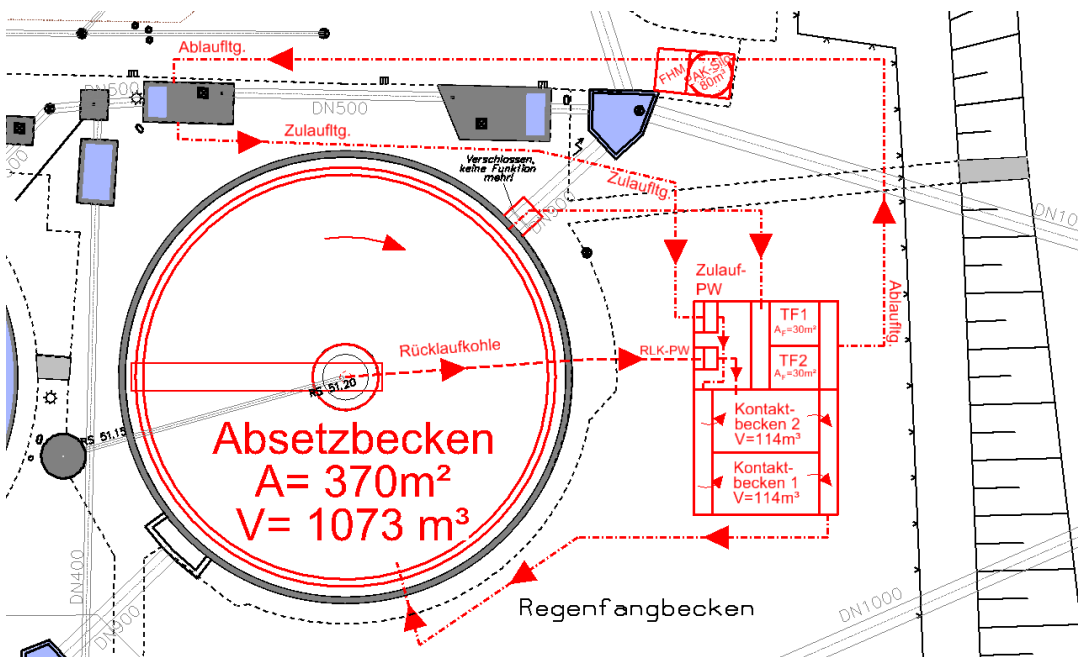


## PAK-Silo

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 um eine zusätzliche Dosierpumpe erweitert. Die Bereitungsanlage für das Flockungshilfsmittel wird im Bereich des PAK-Silos errichtet.



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

### 3.3.2 Variante 2: Filtration über granulierte Aktivkohle

#### 3.3.2.1 Allgemeines

Der ausgewählte Teilstrom von maximal 450 m<sup>3</sup>/h wird über Aktivkohlefilter geführt.

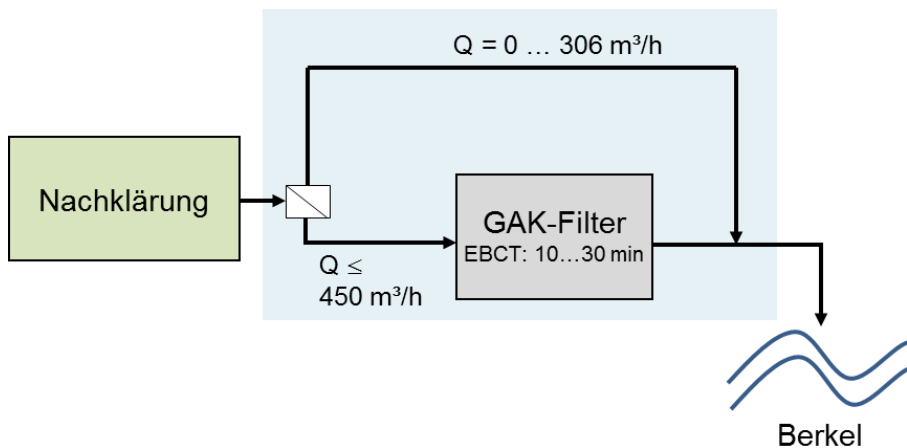
Die Filterstufe wird anhand folgender Bemessungsparameter ausgelegt:

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

Folgende Werte wurden gewählt:

Anzahl Filter:	6 Stück
Bethöhe GAK:	2,5 m
Leerbettkontaktzeit (EBCT):	30 min
Filterfläche gesamt:	90 m <sup>2</sup>

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 4: Blockscheema 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.

### 3.3.2.2 Ausführung

#### Pumpwerk 4. Reinigungsstufe

Die Beschickung der Ozonung erfolgt über das Pumpwerk 4. Reinigungsstufe. Insgesamt stehen 3 Pumpen mit einem Volumenstrom von je 225 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.

## Filterblock

Der Filterblock besteht aus sechs abwärtsdurchströmten offenen Filtern. Jede Filterkammer weist eine Fläche von 15 m<sup>2</sup> auf. Die Abmessungen einer Filterkammer liegen bei einer Breite von 3 m und einer Länge von 5 m.

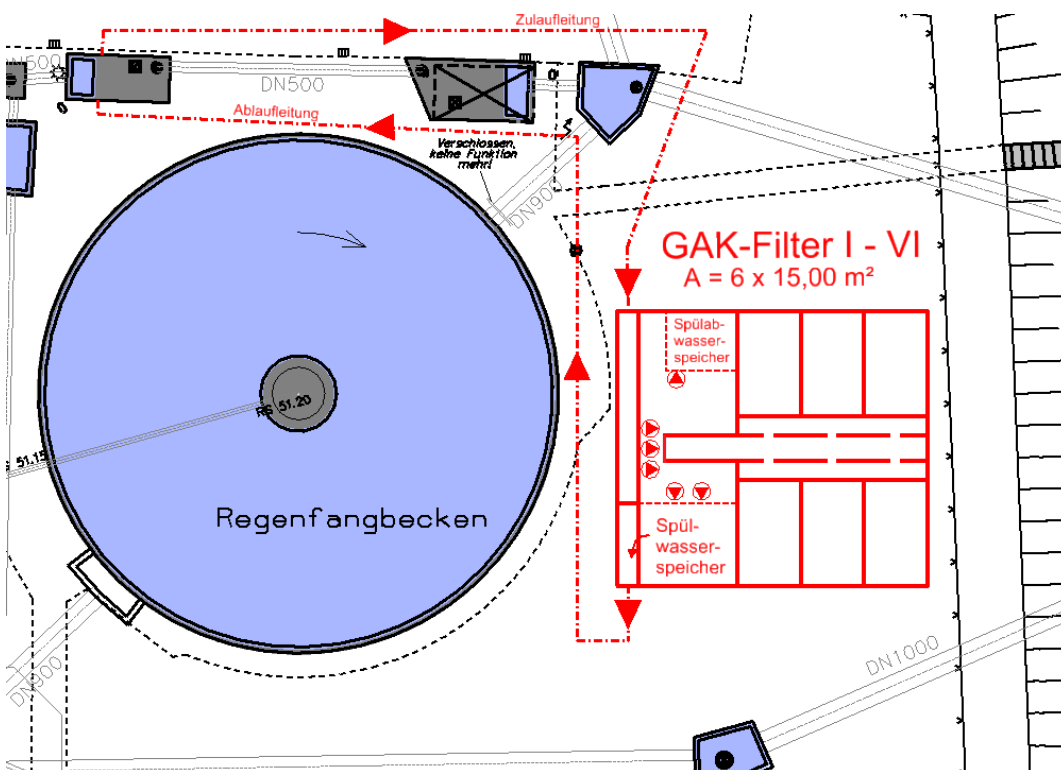
Der Zulauf zu den sechs Filtern erfolgt aus einem offenen Gerinne. Über mit Schiebern versehene Öffnungen fließt das Wasser in die Filterkammern. Die Gleichverteilung des Zulaufs auf alle in Betrieb befindlichen Filterkammern wird über die Schwellen an der Stirnseite der Filter realisiert.

## Spülwasserspeicher

Das Filtrat der Adsorptionsstufe wird in einer Spülwasservorlage mit 100 m<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 5:** Lageplanausschnitt Variante 2: GAK-Filtration

### 3.3.3 Variante 3: Ozonung mit nachgeschaltetem Sandfilter

#### 3.3.3.1 Allgemeines

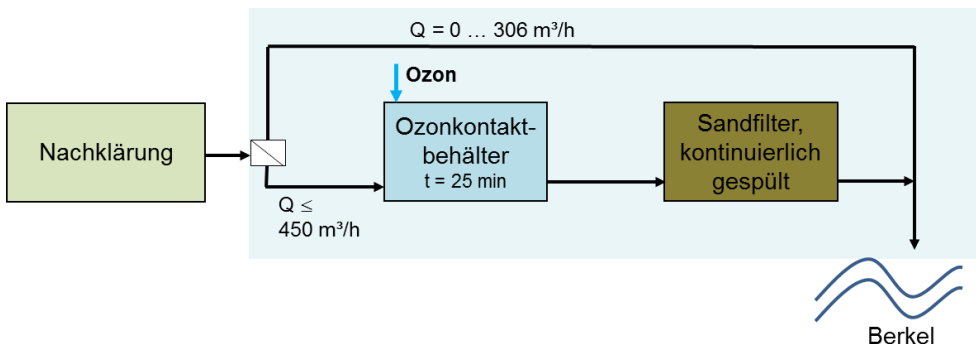
Neben der Entfernung der Spurenstoffe auf adsorptivem Wege ist die Oxidation der Stoffe eine andere Möglichkeit zur Elimination. Hier bietet sich der Einsatz von Ozon als starkes Oxidationsmittel an.

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 Abbelegen u. a. (2009) in einem großtechnischen Versuch auf der ARA Regensdorf nachweisen konnte.

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:

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

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

### 3.3.3.2 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.

#### Pumpwerk 4. Reinigungsstufe

Die Beschickung der Ozonung erfolgt über das Pumpwerk 4. Reinigungsstufe. Insgesamt stehen 3 Pumpen mit einem Volumenstrom von je 225 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.

#### 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.

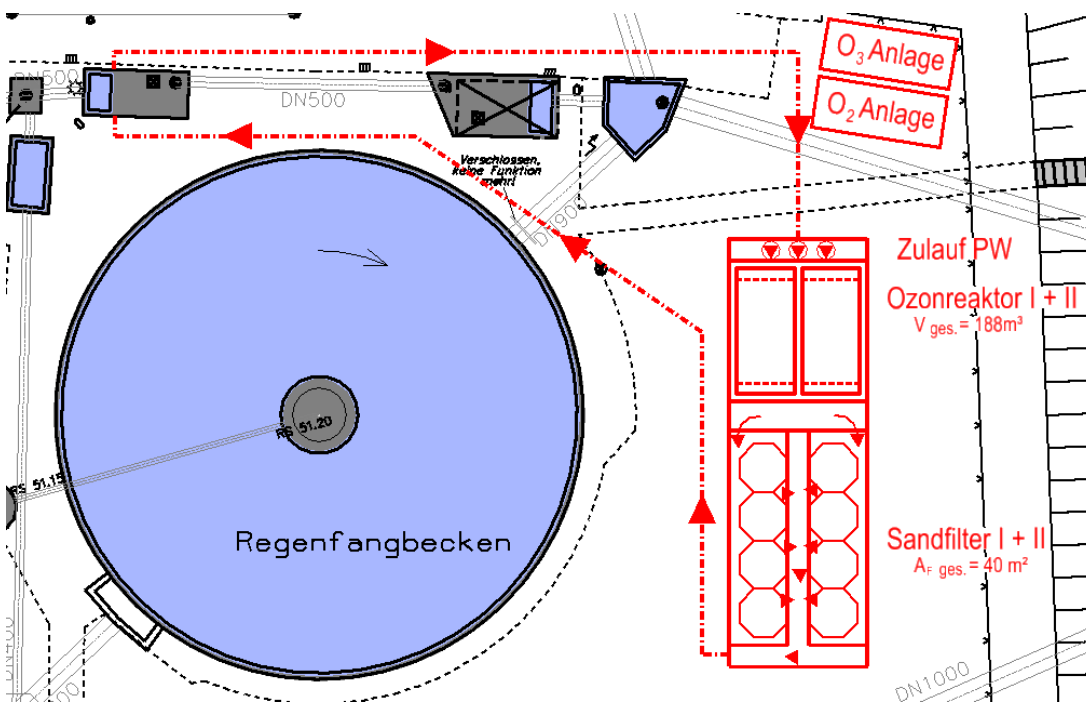
### Ozonerzeugung

Die Ozonerzeuger weisen eine Leistung von 2 x 2.250 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.

### 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 notwendig. Rückspülpumpen werden nicht benötigt.

Es sind insgesamt 8 Filter aufgeteilt auf zwei Straßen vorgesehen. Jeder Filter weist eine Filterfläche von 5 m<sup>2</sup> auf, sodass sich eine Gesamterfilterfläche von 40 m<sup>2</sup> ergibt. Jeweils 4 Filter werden in ein Betonbecken eingebaut. Der Zulauf auf die einzelnen Filterstraßen erfolgt über Gerinne. Jede Straße kann über ein Schütz abgeschiebert werden.



**Bild 7: Lageplanausschnitt Variante 3: Ozonung mit nachgeschaltetem Dynasandfilter**

### 3.4 Ergebnisübersicht Varianten

	<b>Variante 1 Pulverkohle mit Rücklaufkohle</b>	<b>Variante 2 GAK-Filtration</b>	<b>Variante 3 Ozonung + Sandfilter</b>
<b>Anlagenkomponenten</b>			
	<p><b>Kontaktbecken:</b>  <math>t_A = 30 \text{ min}</math>, <math>V_{\text{ges}} = 228 \text{ m}^3</math></p> <p><b>Absetzbecken:</b>  <math>D_i = 22 \text{ m}</math>; <math>h_{2/3} = 2,9 \text{ m}</math>  <math>A_{\text{ges}} = 370 \text{ m}^2</math>; <math>V_{\text{ges}} = 1.073 \text{ m}^3</math></p> <p><b>Tuchfiltration (zweistraßig):</b>  <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 = 3 \times 5 \text{ m}</math>  <math>A = 90 \text{ m}^2</math>; <math>H_{\text{FB}} = 2,5 \text{ m}</math>; <math>V = 225 \text{ m}^3</math></p>	<p><b>Flüssigsauerstoff:</b>          Tankanlage und Verdampfer</p> <p><b>Ozonerzeuger:</b>          2 x 2,25 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 = 2,7 \text{ m}</math>; <math>V_{\text{ges}} = 188 \text{ m}^3</math></p> <p><b>Sandfiltration (kont. gespült):</b>          8 Filter mit <math>A_F = 5 \text{ m}^2</math>  <math>A_{F,\text{ges}} = 40 \text{ m}^2</math></p>
<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_{\text{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>Sicherer und einfacher Betrieb</li> <li>Suspensarückhalt durch Filtration</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>geringer Platzbedarf</li> <li>Suspensarückhalt durch Filtration</li> <li>Optimierungspotential bei Ozondosis zu erwarten</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>GAK-Austausch</li> <li>Hoher Kohlebedarf in Vergleich zu anderen Varianten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reaktionsmechanismen und -produkte sind teilweise unbekannt,</li> <li>Wartung erfordert geschultes Personal oder externes Personal,</li> <li>hohe Sicherheitsanforderungen an den Arbeitsschutz, da Ozon toxisch ist und als Reizstoff wirkt</li> <li>hoher Energiebedarf</li> </ul>

## 4 Kosten

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

Pos.-Nr	Text		Variante 1 PAK m. Rücklaufk.	Variante 2 GAK	Variante 3 Ozonung + SF
A	Kapitalgebundene Kosten	EUR	215.814,22	145.578,12	195.576,18
B	Betriebsgebundene Kosten	EUR	74.559,37	59.844,24	76.020,46
C	Verbrauchsgebundene Kosten	EUR	86.297,25	152.831,27	84.373,91
<b>Summe Jahreskosten, netto</b>		<b>EUR</b>	<b>376.670,83</b>	<b>358.253,63</b>	<b>355.970,55</b>
Mehrwertsteuer: 19%		EUR	71.567,46	68.068,19	67.634,40
<b>Summe Jahreskosten, brutto</b>		<b>EUR</b>	<b>448.238,29</b>	<b>426.321,82</b>	<b>423.604,96</b>
<b>Anteil</b>			<b>106%</b>	<b>101%</b>	<b>100%</b>

Die niedrigsten Jahreskosten wurden für die Variante 3 (Ozonung + Sandfilter) und Variante 2 (GAK-Filtration) mit ca. 424.000 bis 426.000 EUR/a, brutto ermittelt. Die Varianten 1 (PAK mit Rücklaufkohle) weist mit rund 448.000 EUR/a, brutto die höchsten Jahreskosten auf.

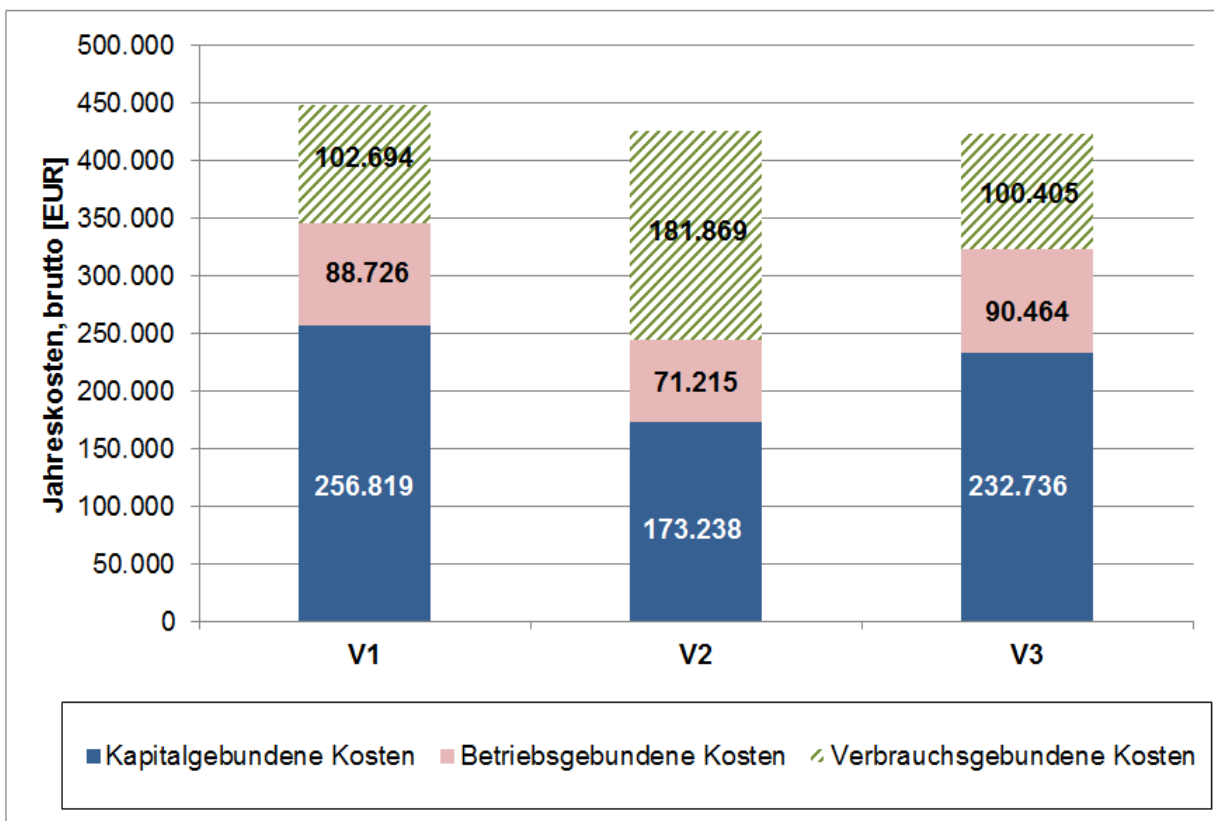


Bild 8: Anteile kapital-, betriebs- und verbrauchsgebundene Kosten an den Jahreskosten

Aus der im Bild 8 dargestellten Aufteilung der Jahreskosten ist erkennbar, dass Variante 1 die höchsten kapitalgebundenen Kosten und Variante 2 die höchsten betriebsgebundenen Kosten aufweisen.

## 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 PAK m. Rücklaufk.		Variante 2 GAK		Variante 3 Ozonung + Sandfilter	
		Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet
Jahreskosten	0,30	4	1,2	5	1,5	5	1,5
Reinigungsleistung $P_{ges}$ /CSB (zusätz. Reduk.)	0,30	5	1,5	4	1,2	4	1,2
Bildung Nebenprodukte	0,06	5	0,3	5	0,3	3	0,18
Erfahrungen/Referenzen	0,06	5	0,3	4	0,24	4	0,24
Betriebs- und Wartungsaufwand	0,06	3	0,18	5	0,3	4	0,24
Betriebssicherheit	0,06	4	0,24	5	0,3	4	0,24
Sensitivität Kostensteigerungen	0,10	4	0,4	2	0,2	4	0,4
CO <sub>2</sub> -Bilanz	0,06	4	0,24	4	0,24	4	0,24
<b>Summe</b>	<b>1,00</b>	<b>34</b>	<b>4,36</b>	<b>34</b>	<b>4,28</b>	<b>32</b>	<b>4,24</b>

In der **Summe** schneidet Variante 1 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung) mit 4,36 Punkten am besten ab. Gefolgt von Variante 2 (GAK-Filtration) mit 4,28 Punkten. Die Variante 3 (Ozonung + Sandfilter) hat mit 4,24 Punkten die niedrigste Bewertung.



## 6 Zusammenfassung

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

**Variante 1:** Pulverkohledosierung mit Rücklaufkohle,

**Variante 2:** GAK-Filtration,

**Variante 3:** Ozonung mit nachgeschaltetem Sandfilter.

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

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

Die höchste Punktzahl erreicht Variante 1 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle) mit 4,36 Punkten; Variante 2 (GAK-Filtration) kommt auf den zweiten Platz mit 4,28 Punkten. Die Ozonung mit nachgeschaltetem Sandfilter (Variante 3) liegt mit 4,24 Punkten auf dem dritten Platz.

Bei den Jahreskosten liegt Variante 3 (Ozonung + Sandfilter) mit 424.000 EUR/a, brutto vorn, gefolgt von Variante 2 (GAK) mit 426.000 EUR/a, brutto. Die Varianten 1 (PAK mit RLK) liegt mit 448.000 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  $P_{ges}$ . 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 GAK-Filtration (Variante 2) weist hohe verbrauchsgebundene Kosten auf. Für dieses Verfahren sprechen die hohe Betriebssicherheit und der vergleichsweise niedrige Betriebsaufwand. Die relativ

geringe prognostizierte Standzeit der Aktivkohle im Filter führt zu den hohen Verbrauchskosten. Die GAK-Filtration ist gegenüber Kostensteigerungen bei den Verbrauchsmaterialien am anfälligsten. Der Energiebedarf liegt, wie auch bei Variante 1, auf einem niedrigen Niveau.

Die Ozonung mit nachgeschaltetem Sandfilter (Variante 3) lag in der Bewertungsmatrix auf dem dritten Platz. Die Jahreskosten dieses Verfahrens sind stark von der angewandten Ozondosis abhängig. In der Berechnung wurde derzeit von einer vergleichsweise hohen Dosis ausgegangen. Sollte sich zeigen, dass diese reduziert werden kann, so wird dieses Verfahren wirtschaftlich 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 TUTTAHS & MEYER Ing.-GmbH empfiehlt Variante 1 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung) und 2 (GAK-Filtration) für weitere Untersuchungen auf der Kläranlage Gescher-Harwick zu berücksichtigen.