



Kläranlage Velen

4. Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroschadstoffen

Machbarkeitsstudie - Kurzbericht
Juli 2015
Projektnummer 1654 001





Kläranlage Velen

4. Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroschadstoffen

Machbarkeitsstudie - Kurzbericht
Juli 2015
Projektnummer 1654 001

Bearbeitet durch:
Dipl.-Ing. Norbert Biebersdorf
M.Sc. Fernando Urueta

Aufgestellt:
Bochum, im Juli 2015

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Aufgabenstellung	1
2	Anlagenbestand	1
3	Darstellung der untersuchten Verfahrenskombinationen	2
3.1	Beschickungsmenge	2
3.2	Verfahrensfestlegung	3
3.3	Varianten.....	3
3.3.1	Variante 1: PAK mit Rücklaufkohle.....	3
3.3.1.1	Allgemeines.....	3
3.3.1.2	Ausführung.....	4
3.3.2	Variante 2: Filtration über granulierte Aktivkohle.....	5
3.3.2.1	Allgemeines.....	5
3.3.2.2	Ausführung.....	7
3.3.3	Variante 3: Ozonung mit vorgeschaltetem Sandfilter	8
3.3.3.1	Allgemeines.....	8
3.3.3.2	Ausführung.....	9
3.4	Ergebnisübersicht Varianten.....	11
4	Kosten	12
5	Bewertung.....	13
6	Zusammenfassung.....	13
7	Einschätzung des Handlungsbedarfes	15

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 Velen hat die TUTTAHS & MEYER Ing.-GmbH beauftragt, für die Kläranlage Velen eine solche Studie auszuarbeiten.

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

Die Kläranlage Velen wurde zuletzt im Jahr 1993 erweitert. Sie ist auf eine Anschlussgröße von 20.000 EW ausgelegt. Der Vorfluter der Anlage ist die Bocholter Aa.

Die Anlage gliedert sich in eine mechanische und eine biologische Reinigungsstufe. Die mechanische Stufe umfasst eine Rechenanlage und einen belüfteten Sandfang. Der Ablauf aus dem

Sandfang wird in einen Verteiler geleitet, dem ebenfalls der Rücklaufschlamm zufließt. Das Abwasser-Schlamm-Gemisch wird anschließend in die Belebungsstufe geführt. Diese besteht aus zwei gleichgroßen Rundbecken (je $V = 3.000 \text{ m}^3$), die nach dem Belebungsverfahren mit simultaner Denitrifikation zur Stickstoffeliminierung arbeiten. Die chemische Elimination von Phosphor erfolgt in Form einer Simultanfällung. Die Abläufe der Belebungsbecken gelangen in das als Rundbecken ausgeführte Nachklärbecken. Dieses besitzt ein Volumen von ca. 2.480 m^3 . Der Ablauf der Nachklärung wird über eine Ablaufmessung zunächst in den vorhandenen Schönungsteich und anschließend in die Bocholter Aa 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 Velen eine Kapazität zur Behandlung von $692 \text{ m}^3/\text{h}$ vorgehalten werden. Die berechnete Jahresabwassermenge beträgt nach unserer Auswertung $1.557.906 \text{ m}^3/\text{a}$. Wenn die Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination auf einen Teilstrom von **$200 \text{ m}^3/\text{h}$** ausgelegt wird, kann die Verfahrensstufe im Vergleich zur Vollstrombehandlung um ca. 71 % kleiner ausgeführt werden. Somit könnten ca. 90% der Jahresabwassermenge ($1.425.647 \text{ m}^3/\text{a}$) in der 4. Reinigungsstufe behandelt werden (siehe **Bild 1**).

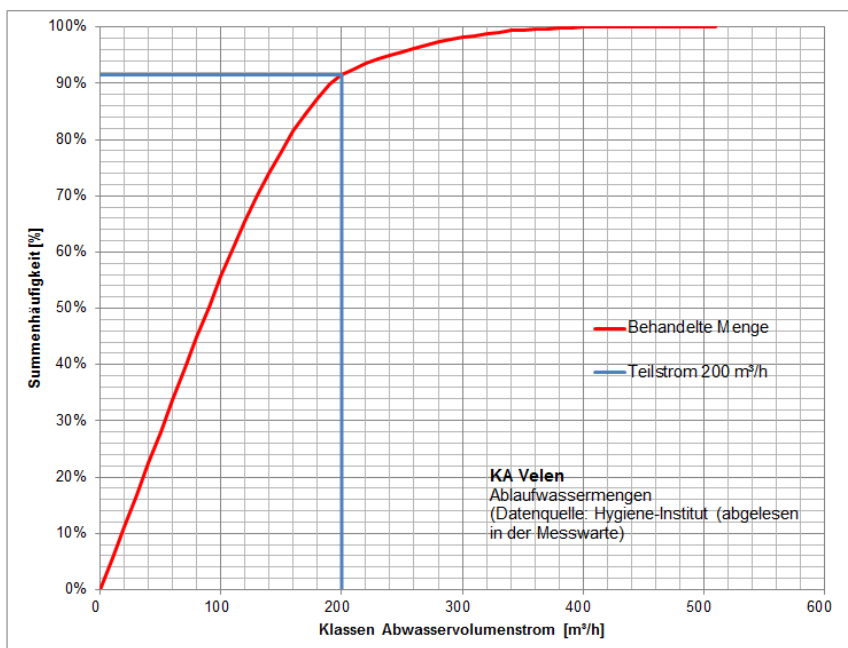


Bild 1: Summenhäufigkeitskurve für die Ablaufwassermenge im Untersuchungszeitraum

Die Teilstrombehandlung wurde basierend auf dem Vorschlag von Tuttahs & Meyer in Abstimmung mit der Stadt Velen auf einen Volumenstrom von **$200 \text{ m}^3/\text{h}$** ausgelegt.

3.2 Verfahrensfestlegung

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie werden die folgenden drei Verfahrenskombinationen untersucht:

1. **Pulveraktivkohle mit Rücklaufkohleführung.** Abtrennung der PAK im Absetzbecken und in der nachgeschalteten Tuchfiltration,
2. **Filtration über granulierten Aktivkohle.** Festbettadsorber werden der bestehenden Anlage nachgeschaltet,
3. **Ozonung mit vorgeschaltetem Sandfilter.** Ablauf der Nachklärung wird vor der Ozonung über einen Sandfilter geführt. Als biologische aktive Stufe nach der Ozonung dient der vorhandene Schönungsteich.

3.3 Varianten

3.3.1 Variante 1: PAK mit Rücklaufkohle

3.3.1.1 Allgemeines

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

Für die Kläranlage Velen würde dies bedeuten, dass ein Kontakt- und 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.

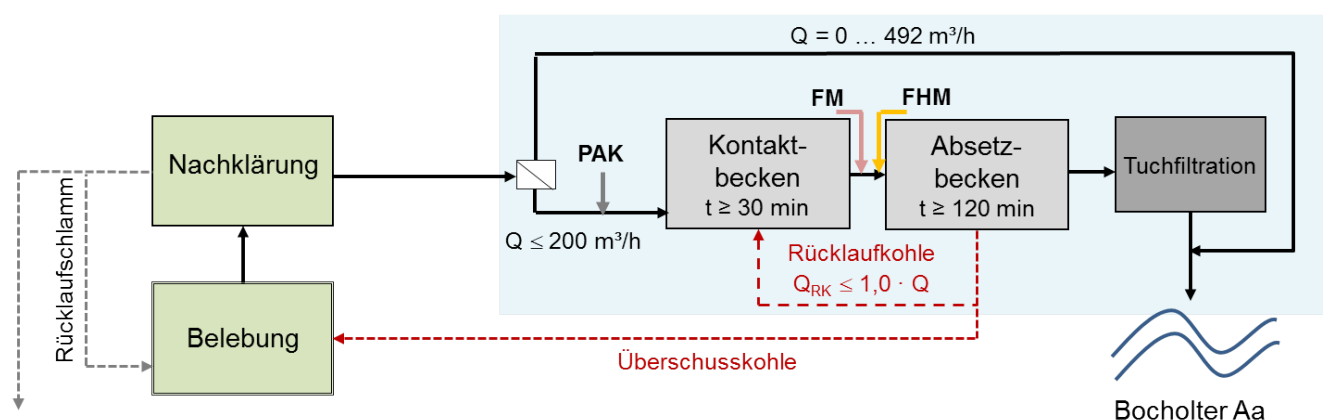


Bild 2: Blockschema Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle

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 200 m³/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 100 m³/h zur Verfügung. Eine der drei Pumpen dient als Reserve. Das Wasser wird zunächst auf das Niveau des Kontaktbeckens gehoben.

Kontaktbecken

Es wird ein Kontaktbecken eingesetzt. Das Kontaktbecken ist als quadratisches Becken mit einer Wasserspiegelhöhe von 3 m ausgeführt. Bei einer Innenkantenlänge von 6 m ergibt sich ein Volumen von 108 m³. 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. Das Kontaktbecken ist mit einem Vertikalröhrwerk ausgestattet. Der Ablauf des Kontaktbeckens gelangt über ein Gerinne in das darunterliegende Absetzbecken.

Absetzbecken

Das Absetzbecken ist als Rechteckbecken ausgeführt. Die Aufenthaltszeit betrögt bei einem Volumen von 405 m³ ca. 120 min. Für die Räumung des anfallenden Schlammes wird eine Schildröumung vorgesehen. Der Schlamm in einen Sammelschacht geföhrte und mittels einer Schneckenpumpe wieder in den Zulauf des Kontaktbeckens zuröckgeföhrte. Die Überschussskohle wird aus dem Sammelschacht entnommen und der Belebung zur weiteren Beladung zugeföhrte.

Tuchfiltration

Dem Absetzbecken wird eine einstraßige Filtrationsstufe zur Suspensa-Restentfernung nachgeschaltet. Es wird hier eine Tuchfiltration mit 6 Scheiben à 5 m² vorgesehen. Damit ergibt sich eine Gesamtfiltrationsflöche von 30 m². 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 regelmäßigen 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 m³ vorgesehen.

Flockungs- und Flockungshilfsmittel

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.

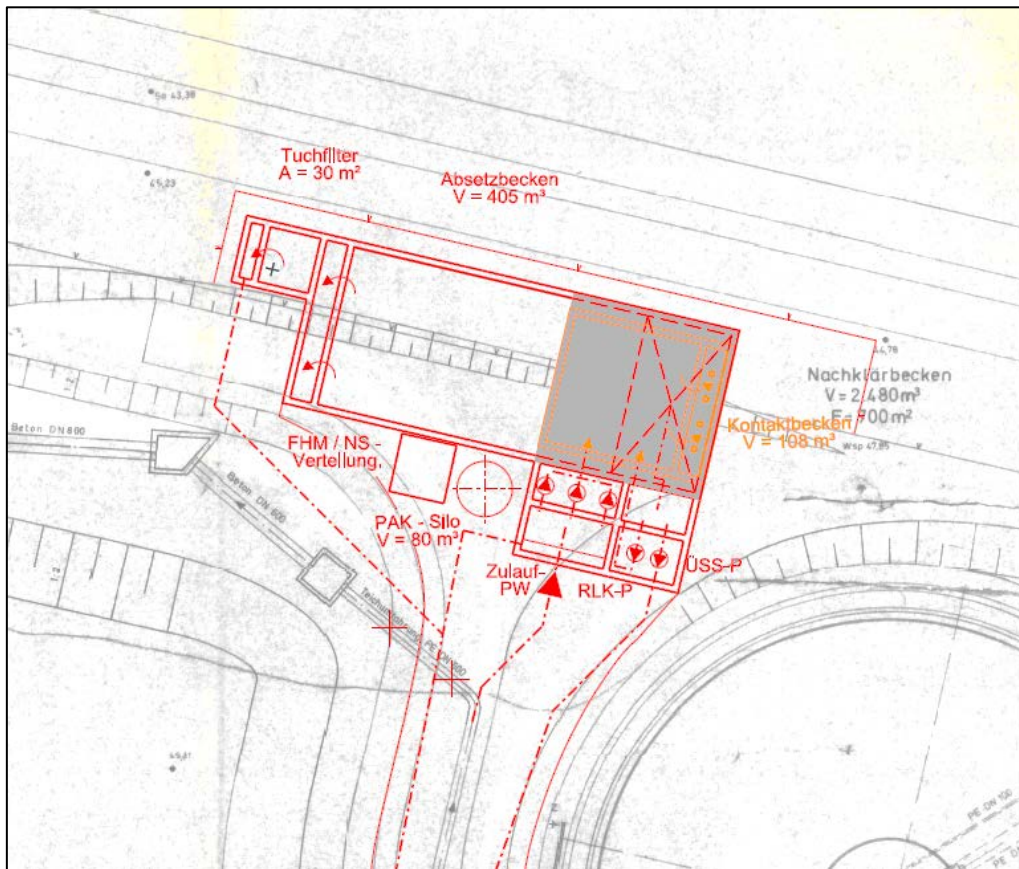


Bild 3: Lageplanausschnitt Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle

3.3.2 Variante 2: Filtration über granulierte Aktivkohle

3.3.2.1 Allgemeines

Der ausgewählte Teilstrom von maximal 200 m³/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
Betthöhe GAK:	2,5 m
Leerbettkontaktzeit (EBCT):	30 min
Filterfläche gesamt:	90 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.

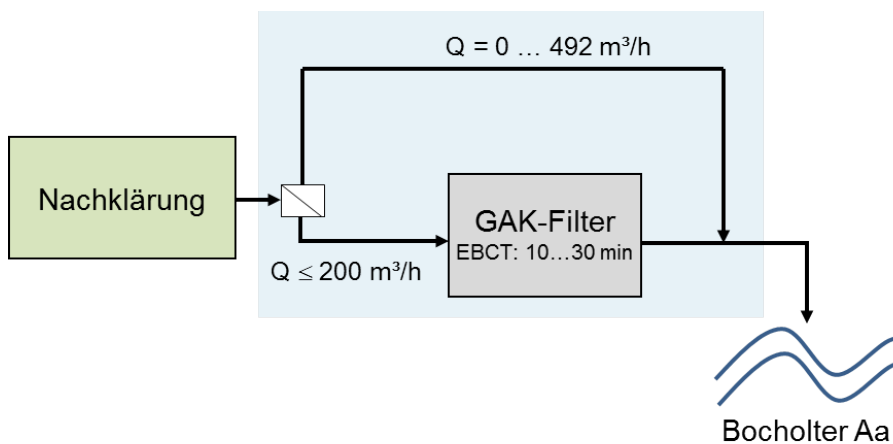


Bild 4: Blockschema Variante 2: GAK-Filtration

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.

3.3.2.2 Ausführung

Pumpwerk 4. Reinigungsstufe

Die Beschickung der GAK-Filtration erfolgt über das Pumpwerk 4. Reinigungsstufe. Insgesamt stehen 3 Pumpen mit einem Volumenstrom von je 100 m³/h zur Verfügung.

Filterblock

Der Filterblock besteht aus vier abwärtsdurchströmten offenen Filtern. Jede Filterkammer weist eine Fläche von 10 m² auf. Die Abmessungen einer Filterkammer liegen bei einer Breite von 2 m und einer Länge von 5 m.

Der Zulauf zu den vier 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 m³ 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.

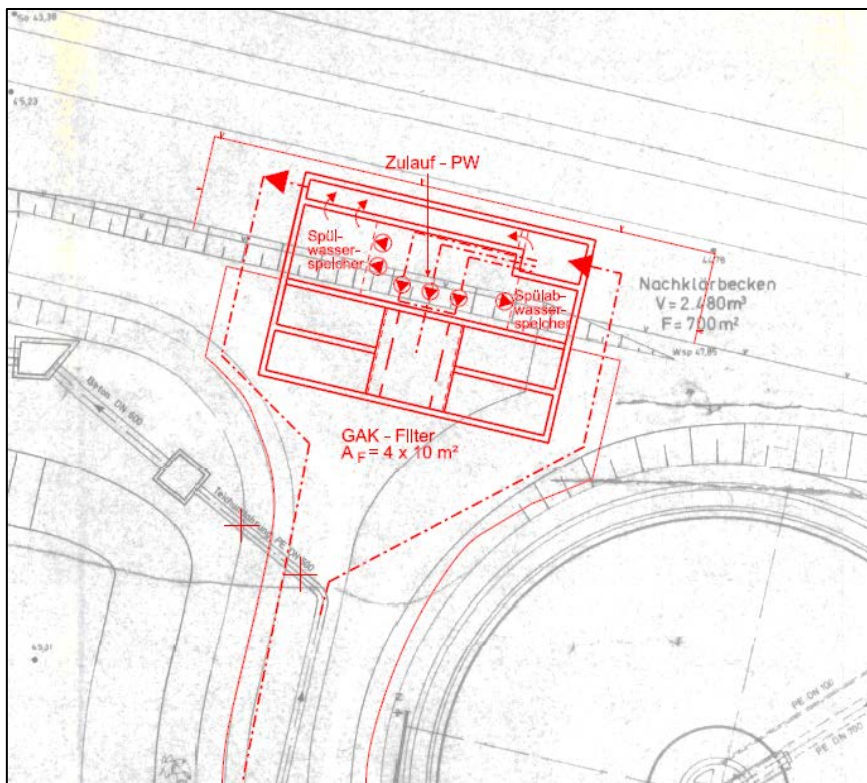


Bild 5: Lageplanausschnitt Variante 2: GAK-Filtration

3.3.3 Variante 3: Ozonung mit vorgeschaltetem 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 Abbeglen u. a. (2009) in einem großtechnischen Versuch auf der ARA Regensdorf nachweisen konnte. Der Ablauf der Ozonung wird im Rahmen dieser Studie in den nachgeschalteten Schönungsteich zum Abbau eventuell toxikologisch bedenklicher Stoffe geführt.

Die Ozonung wird anhand folgender Bemessungsparameter ausgelegt:

Ozondosis: 2...10 g/m³

Kontaktzeit im Reaktionsbehälter: 10...30 min

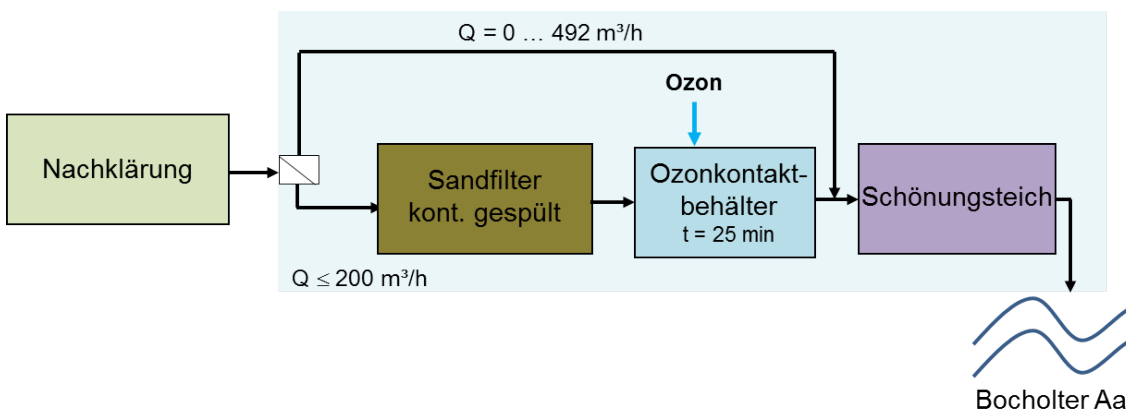


Bild 6: Blockschema Variante 3

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

Pumpwerk 4. Reinigungsstufe

Die Beschickung der Ozonung erfolgt über das Pumpwerk 4. Reinigungsstufe. Insgesamt stehen 3 Pumpen mit einem Volumenstrom von je 100 m³/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 notwendig. Rückspülpumpen werden nicht benötigt.

Es sind insgesamt 4 Filter aufgeteilt auf zwei Straßen vorgesehen. Jeder Filter weist eine Filterfläche von 5 m² auf, sodass sich eine Gesamterfläche von 20 m² ergibt. Jeweils 2 Filter werden in ein Betonbecken eingebaut. Der Zulauf auf die einzelnen Filterstraßen erfolgt über 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 1.000 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.

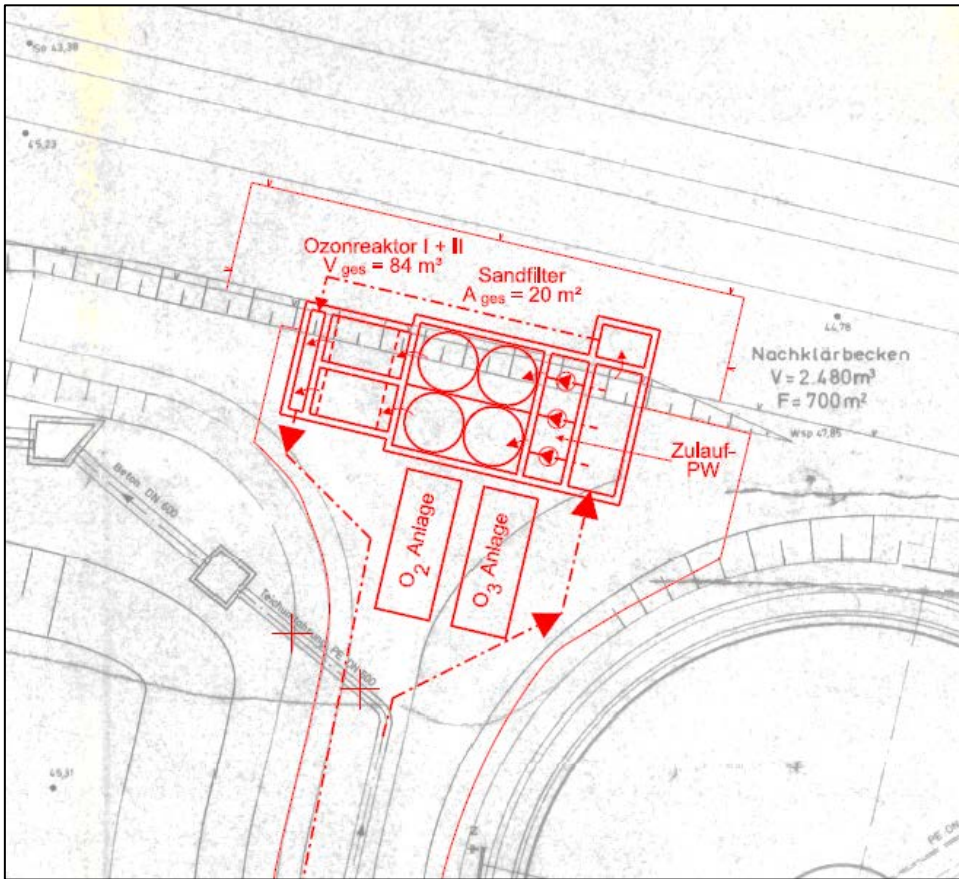
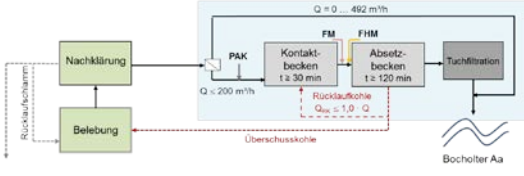
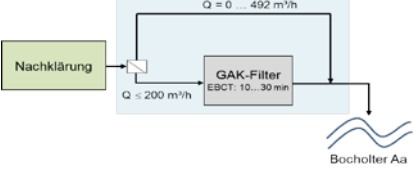
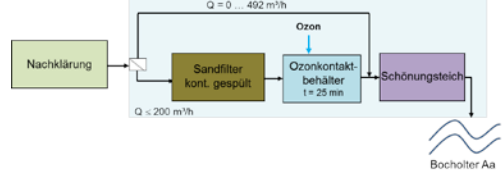


Bild 7: Lageplanausschnitt Variante 3: Ozonung mit vorgeschaltetem Dynasandfilter

3.4 Ergebnisübersicht Varianten

	Variante 1 Pulverkohle mit Rücklaufkohle	Variante 2 GAK-Filtration	Variante 3 Sandfilter + Ozonung
Anlagenkomponenten	 <p>Kontaktbecken: $t_A = 30 \text{ min}$, $V_{\text{ges}} = 108 \text{ m}^3$ Absetzbecken: $L = 18 \text{ m}$; $b = 7,5 \text{ m}$; $h = 3$ $V = 405 \text{ m}^3$ Tuchfiltration: $A_{F,\text{ges}} = 30 \text{ m}^2$ PAK-Silo: $V = 80 \text{ m}^3$</p>	 <p>GAK-Filtration: 4 Filter, $B \times L = 2 \times 5 \text{ m}$ $A = 40 \text{ m}^2$; $H_{\text{FB}} = 2,5 \text{ m}$; $V = 100 \text{ m}^3$</p>	 <p>Sandfiltration (kont. gespült): 4 Filter mit $A_F = 5 \text{ m}^2$ $A_{F,\text{ges}} = 20 \text{ m}^2$ Flüssigsauerstoff: Tankanlage und Verdampfer Ozonerzeuger: 2 x 1.000 kg O_3/h Reaktionsbehälter: 2 Straßen, je $L = 3,5 \text{ m}$; $B = 2 \text{ m}$; $V_{\text{ges}} = 84 \text{ m}^3$</p>
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> keine Bildung von Reaktionsprodukten Wirkungsweise der Stoffelimination eindeutig sehr guter Suspensarückhalt im AB und durch Filtration sehr gute Reduzierung P_{ges} und CSB Mehrfachbeladung der PAK 	<ul style="list-style-type: none"> keine Bildung von Reaktionsprodukten Wirkungsweise der Stoffelimination eindeutig Sicherer und einfacher Betrieb Suspensarückhalt durch Filtration 	<ul style="list-style-type: none"> geringer Platzbedarf Suspensarückhalt durch Filtration Optimierungspotential bei Ozondosis zu erwarten
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> höhere Schlammanfall als bei den anderen Varianten betreuungsintensiv, da Dosierung von PAK, FHM und FM 	<ul style="list-style-type: none"> GAK-Austausch Hoher Kohlebedarf in Vergleich zu anderen Varianten 	<ul style="list-style-type: none"> Reaktionsmechanismen und -produkte sind teilweise unbekannt, Wartung erfordert geschultes Personal oder externes Personal, hohe Sicherheitsanforderungen an den Arbeitsschutz, da Ozon toxisch ist und als Reizstoff wirkt hoher Energiebedarf

4 Kosten

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

		PAK m. Rücklaufk.	GAK-Filtration	Sandfilter + Ozon
Kapitalgebundene Kosten	EUR	117.706,19	91.067,74	87.934,48
Betriebsgebundene Kosten	EUR	57.198,41	40.604,19	45.361,18
Verbrauchsgebundene Kosten	EUR	65.930,42	100.619,87	35.501,26
Summe Jahreskosten, netto	EUR	240.835,02	232.291,80	168.796,92
Mehrwertsteuer: 19%	EUR	45.758,65	44.135,44	32.071,41
Summe Jahreskosten, brutto	EUR	286.593,68	276.427,24	200.868,33
Anteil		143%	138%	100%

Spezifische Kosten bezogen auf die behandelte Abwassermenge in der 4. Reinigungsstufe				
spez. Kosten, netto	ct/m ³ Abwasser	17	16	12
spez. Kosten, brutto	ct/m ³ Abwasser	20	19	14

Spezifische Kosten bezogen auf die gebührenrelevante Jahresschmutzwassermenge im Jahr 2014 (643.808 m ³)				
spez. Kosten, netto	ct/m ³ Abwasser	37	36	26
spez. Kosten, brutto	ct/m ³ Abwasser	45	43	31

Die niedrigsten Jahreskosten wurden für die Variante 3 (Sandfilter + Ozon) und Variante 2 (GAK-Filtration) mit ca. 200.800 bis 276.400 EUR/a brutto ermittelt. Die Variante 1 (PAK mit Rücklaufkohle) weist mit rund 286.000 EUR/a brutto die höchsten Jahreskosten auf.

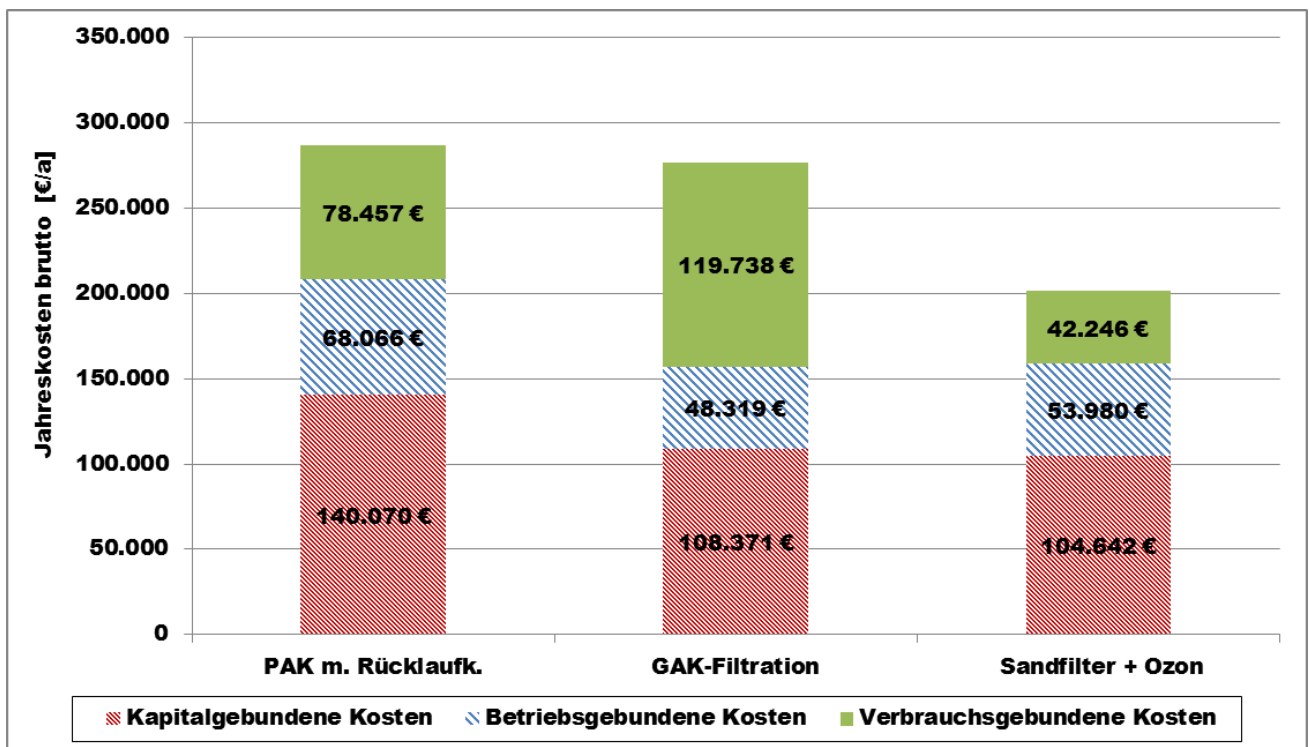


Bild 8: Anteile kapital-, betriebs- und verbrauchsgebundene Kosten an den Jahreskosten

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		Variante 2		Variante 3	
		PAK m. Rücklaufk.		GAK-Filtration		Sandfilter + Ozon	
		Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet
Jahreskosten	0,30	3	0,9	4	1,2	5	1,5
Reinigungsleistung P_{ges}/CSB (zusätz. Reduk.)	0,25	5	1,25	4	1	4	1
Bildung Nebenprodukte	0,10	5	0,5	5	0,5	3	0,3
Erfahrungen/Referenzen	0,10	5	0,5	4	0,4	3	0,3
Betriebs- und Wartungsaufwand	0,10	3	0,3	5	0,5	4	0,4
Betriebssicherheit	0,05	4	0,2	5	0,25	4	0,2
Sensitivität Kostensteigerungen	0,05	4	0,2	3	0,15	4	0,2
CO ₂ -Bilanz	0,05	4	0,2	4	0,2	4	0,2
Summe	1,00	33	4,05	34	4,20	31	4,10

Wertung nach Punkten
(steigende Punkte → bessere Wertung)

1 = ungenügend
5 = sehr gut

In der **Summe** schneidet Variante 2 (GAK-Filtration) mit 4,20 Punkten am besten ab, gefolgt von Variante 3 (Sandfilter + Ozon) mit 4,10 Punkten. Die Variante 1 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle) hat mit 4,05 Punkten die niedrigste Bewertung.

6 Zusammenfassung

Im Rahmen der Studie zur Ertüchtigung und Erweiterung der Kläranlage Velen 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: Ozonung mit vorgeschaltetem Sandfilter und Nachbehandlung im Teich

Die Screening-Ergebnisse zeigten, dass die Konzentrationen der untersuchten Spurenstoffe im Ablauf der Kläranlage Velen sich mit Werten aus der Literatur 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 2 (GAK-Filtration) mit 4,20 Punkten; Variante 3 (Sandfilter + Ozon) kommt auf den zweiten Platz mit 4,10 Punkten. Die PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle (Variante 1) liegt mit 4,05 Punkten auf dem dritten Platz.

Bei den Jahreskosten liegt Variante 3 (Sandfilter + Ozon) mit ca. 200.800 EUR/a brutto vorn, gefolgt von Variante 2 (GAK-Filtration) mit rd. 276.400 EUR/a brutto. Die Variante 1 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle) liegt mit 286.000 EUR/a brutto auf dem dritten Platz.

Die GAK-Filtration (Variante 2) lag in der Bewertungsmatrix auf dem ersten Platz. Für dieses Verfahren sprechen die hohe Betriebssicherheit und der vergleichsweise niedrige Betriebsaufwand. Die relativ geringe prognostizierte Standzeit der Aktivkohle im Filter führt zu 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. Bei Variante 2 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 Ozonung mit vorgeschaltetem Sandfilter (Variante 3) lag in der Bewertungsmatrix auf dem zweiten 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 diese Annahme bestätigen oder noch geringere Dosen möglich sein, 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.

Variante 1 (PAK mit Rücklaufkohle) lag in der Bewertungsmatrix auf dem dritten Rang. 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 gute Nutzung der Adsorptionskapazität der Kohle gegeben. Das Verfahren reagiert damit auf Preisschwankungen bei der Aktivkohle weniger sensitiv. Das Verfahren führt neben der Spurenstoffelimination noch zu einer 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 Schlammfall im Vergleich zu den anderen Verfahren erhöht. Der Schlamm enthält neben der Kohle noch Fällprodukte und Organik. Der Energiebedarf liegt im Vergleich zur Ozonierung auf einem unteren Niveau.

Die TUTTAHS & MEYER Ing.-GmbH empfiehlt Variante 2 (GAK-Filtration) und 3 (Sandfilter + Ozon) für weitere Untersuchungen auf der Kläranlage Velen zu berücksichtigen.

7 Einschätzung des Handlungsbedarfes

Insgesamt stellt sich die Umsetzung der vierten Reinigungsstufe auf der Kläranlage Velen als aufwendig dar. So muss die Stufe aufgrund der beengten Platzverhältnisse sehr kompakt gebaut werden. Dies führt zu höheren Investitionskosten.

Hinsichtlich der Spurenstoffgehalte in den drei Ablaufproben liegt die Kläranlage Velen im Vergleich mit anderen Kläranlagen im Mittelfeld. Die Studie zeigt, dass bei kleineren Kläranlagen die spezifischen Behandlungskosten in der Regel höher liegen als bei größeren Anlagen. In Velen betragen die Behandlungskosten 0,45 EUR brutto/m³, bezogen auf die gebührenrelevante Jahresabwassermenge und ohne Berücksichtigung von Fördergeldern.

Ein dringender Handlungsbedarf zur kurzfristigen Realisierung der vierten Reinigungsstufe ist in Velen nicht gegeben. Der Fokus liegt im Moment auf Kläranlagen der Größenklasse 5 mit einer Ausbaugröße von mehr als 100.000 E, auf Kläranlagen in empfindlichen Gebieten mit schwachen Vorflutern oder auf Kläranlagen im Einzugsgebiet von Trinkwassergewinnungsanlagen.