Kläranlage Legden
4. Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroschadstoffen

Machbarkeitsstudie - Kurzbericht
Januar 2015
Projektnummer 0402 054

TUTTAHS & MEYER
INGENIEURGESELLSCHAFT
für Wasser-, Abwasser- und Energiewirtschaft mbH

Intertek

Kläranlage Legden
4. Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroschadstoffen

Machbarkeitsstudie - Kurzbericht
Januar 2015
Projektnummer 0402 054

Bearbeitet durch:
Dipl.-Ing. Jörg Alda
Dr.-Ing. Jan Mauriz Kaub
M.Sc. Fernando Urueta

Aufgestellt:
Bochum, im Januar 2015

Inhaltsverzeichnis

1 Veranlassung und Aufgabenstellung 4

2 Anlagenbestand 5

3 Darstellung der untersuchten Verfahrenskombinationen 6

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 vorgeschaltetem Sandfilter 12

3.3.3.1 Allgemeines 12

3.3.3.2 Ausführung 12

3.4 Ergebnisübersicht Varianten 15

4 Kosten 16

5 Bewertung 17

6 Zusammenfassung 18

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

Mit der Studie soll eine Entscheidungsgrundlage geschaffen werden, um die Auswahl eines möglichen Verfahrens durch die Gemeinde Legden 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 Legden wurde im Jahr 1996 letztmalig erweitert. Die Anlage ist auf eine Anschlussgröße von 18.000 EW ausgelegt und gliedert sich in eine mechanische und eine biologische Reinigungsstufe.

Das Zulaufhebewerk hebt den Mischwasserabfluss auf Höhenniveau der nachfolgenden Rechenanlage. Zwei Förderschnecken fördern den entlasteten Mischwasserzufluss zum Regenüberlaufbecken (V = 1.350 m³). Zur Entfernung von Grobstoffen ist im Rechengebäude die Rechenstraße mit einem Feinrechen angeordnet. Der Abwasserzufluss gelangt nach der Rechenanlage in den belüfteten Sand-/Fettfang. Dort wird der im Abwasser befindliche Sand zurückgehalten. Fett- und Schwimmschlamm werden durch die Walzenbewegung in eine abgetrennte Seitenkammer geführt und schwimmen dort zur Oberfläche auf. Das Venturigerinne zur Messung des Zuflusses zur Biologie ist hinter dem Sandfang angeordnet.

Ein Misch- und Ausgleichsbecken (M/A-Becken) dient der stofflichen und hydraulischen Vergleichmäßigung des Abwasserzuflusses des Schlachtbetriebes und des Gewerbegebietes Heying Esch. Von dort gelangt das zu behandelnde Abwasser in die biologische Stufe, die nach dem Belebtschlammverfahren mit vorgeschalteter Denitrifikation und Phasenseparation in der Nachklärung arbeitet. Der abgezogene Schlamm wird als Rücklaufschlamm wieder ins System zurückgeführt. Ein geringer Anteil wird als Überschussschlamm aus dem System entnommen.

Die Belebungsstufe setzt sich zusammen:

- aus dem Belebungsbecken 1 (V = 1.850 m³),
- dem Beschickungspumpwerk Nitrifikation,
- und dem Belebungsbecken 2 (V = 3.050 m³).

Durch Zugabe von Fällmittel wird biologisch nicht gebundenes Phosphat in unlösliche Metall-Phosphat-Verbindungen überführt. Diese Verbindungen werden im Nachklärbecken abgeschieden. Die Fällmitteldosierung kann ebenfalls das Schlammabsetzverhalten positiv beeinflussen.

An die Belebungsstufe schließt sich die Nachklärung an. In den Nachklärbecken wird das Abwasser-Schlamm-Gemisch der Belebung durch Sedimentation voneinander getrennt. Das Klarwasser fließt weiter den Schönungsteichen (V = 3.500 m³) zu. Der Ablauf der Schönungsteiche fließt vom Auslaufbauwerk zum MID-Schacht. In der Messstation wird der Ablauf beprobt. Der Kläranlagenabfluss gelangt über Absturzkaskade in die Dinkel.

Der Überschussschlamm kann entweder maschinell (Siebtrommel) oder statisch in einem kreisrunden Stahlbetonbecken eingedickt werden. Der anfallende Klärschlamm wird in einer mesophilen Faulung behandelt. Das im Faulbehälter gebildete Gas wird direkt auf der Kläranlage verwertet. Der ausgefaulte Schlamm wird in der statischen Nacheindickung für die landwirtschaftliche Aufbringung bevorratet. Die statische Nacheindickung besteht aus zwei Rundbecken (Silo-alt und Silo-neu).

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 Legden eine Kapazität zur Behandlung von 468 m³/h vorgehalten werden.

Die Gesamtabwassermenge im Jahr 2012 lag bei **1.066.095 m³/a** (Vollstrom). Wenn die Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination auf **468 m³/h** (Q_M) ausgelegt wäre, könnte die gesamte Jahresabwassermenge behandelt werden.

Bei einer Teilstrommenge von **200 m³/h** könnte die Stufe hydraulisch um etwa 57 % kleiner ausgeführt werden, als bei einer Auslegung für den Vollstrom. Für die Berechnung der jährlichen Betriebskosten wurde angesetzt, dass 90% der Jahresabwassermenge (**959.486 m³/a** bezogen auf das Jahr 2012) in der 4. Reinigungsstufe behandelt werden. Die Teilstrombehandlung wurde basierend auf dem Vorschlag von Tuttahs & Meyer in Abstimmung mit der Gemeinde Legden auf einen Volumenstrom von **200 m³/h** (≈ 56 l/s) ausgelegt.

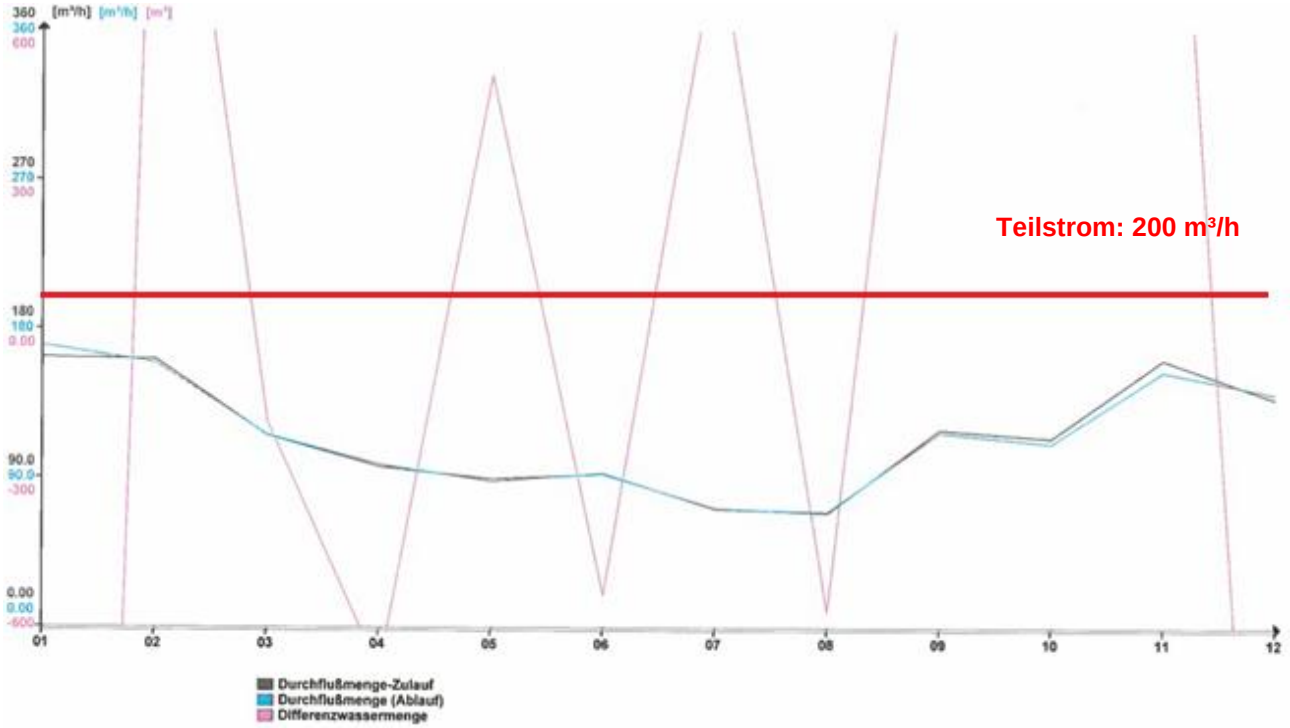


Bild 1: Monatsmittel des Kläranlagenabflusses und Teilstrommenge in der 4. Reinigungsstufe

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 granulierte 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 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 Überschusskohle aus dem System entnommen. Besonderer Vorteil dieses Verfahrens ist, dass die Pulverkohle mehrfach mit dem Abwasser in Kontakt kommt, um die Beladungskapazität möglichst gut ausnützen zu können.

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

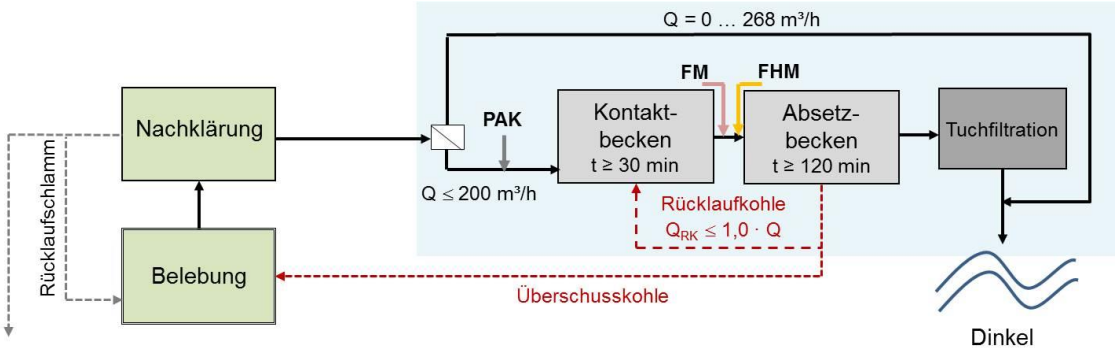


Bild 2: Blockschema Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle

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 3 Pumpen mit einem Volumenstrom von je 100 m³/h zur Verfügung. Eine der drei Pumpen dient als Reserve für die 4. Reinigungsstufe.

Kontaktbecken

Es wird ein Kontaktbecken eingesetzt. Das Kontaktbecken ist als quadratisches Becken mit einer Wasserspiegelhöhe von 3,3 m ausgeführt. Bei einer Innenkantenlänge von 6 m ergibt sich ein Volumen von 119 m³. Des Weiteren ist die Rücklaufkohleführung auf ein Rückführverhältnis von 1 ausgelegt. Insgesamt ist durch diese Maßnahmen sichergestellt, dass die Adsorbtionskapazität der eingesetzten Kohle sehr gut genutzt werden kann. Das Kontaktbecken ist mit einem Vertikalrührwerk ausgestattet.

Absetzbecken

Das Absetzbecken ist als Rechteckbecken ausgeführt und wird horizontal durchströmt. Die Aufenthaltszeit beträgt bei einem Volumen von 409 m³ ca. 120 min. Für die Räumung des anfallenden Schlammes wird eine Schildräumung vorgesehen. Der gesammelte Schlamm wird mittels zwei Schneckenpumpen wieder in den Zulauf der Kontaktbecken zurückgeführt. Die Überschusskohle wird aus dem Schacht entnommen und der Belebung zur weiteren Beladung zugeführt.

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 Gesamtfiltrationsfläche von 30 m^2. 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.

PAK-Silo

Zur Lagerung der Aktivkohle ist ein Silo mit einem Inhalt von 80 m³ vorgesehen.

Flockungs- und Flockungshilfsmittel

Als Flockungsmittel wird die Dosierung von $FeCl_3$ 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.

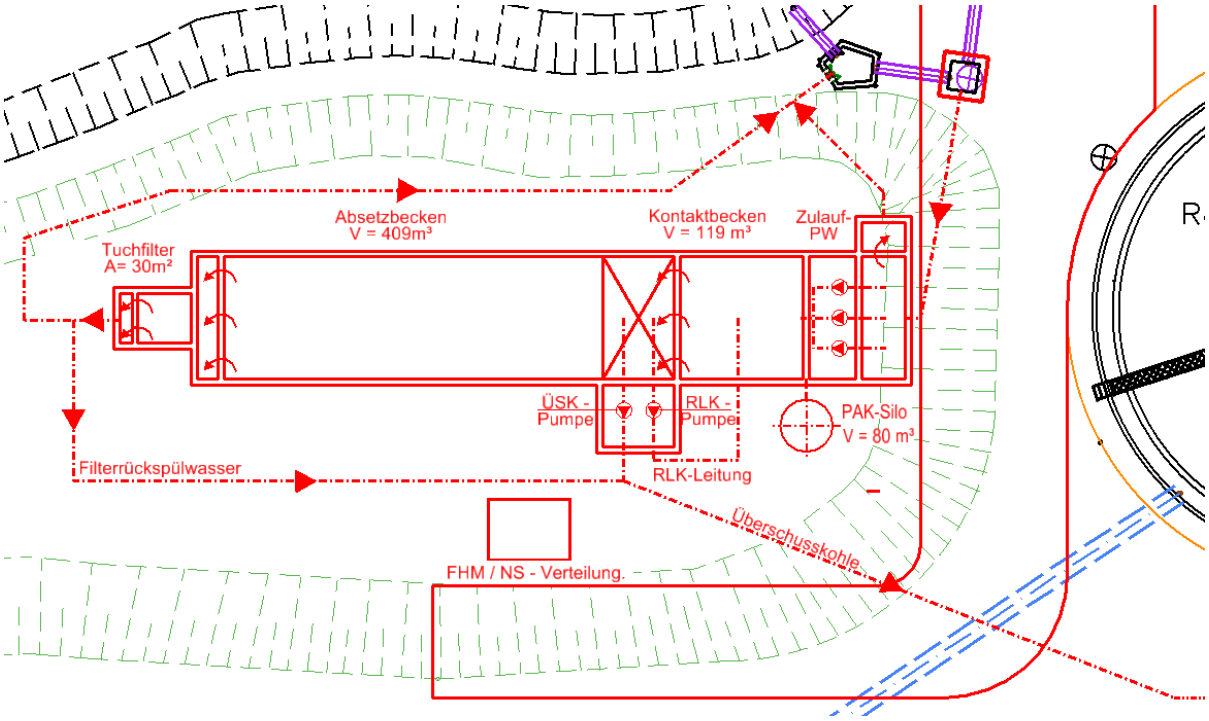


Bild 3: Lageplanausschnitt Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle

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
Betthöhe GAK:	1,5…3	m

Folgende Werte wurden gewählt:

Anzahl Filter:	4	Stück

Betthöhe GAK:	2,5	m
Leerbettkontaktzeit (EBCT):	30	min
Filterfläche gesamt:	40	m²

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.

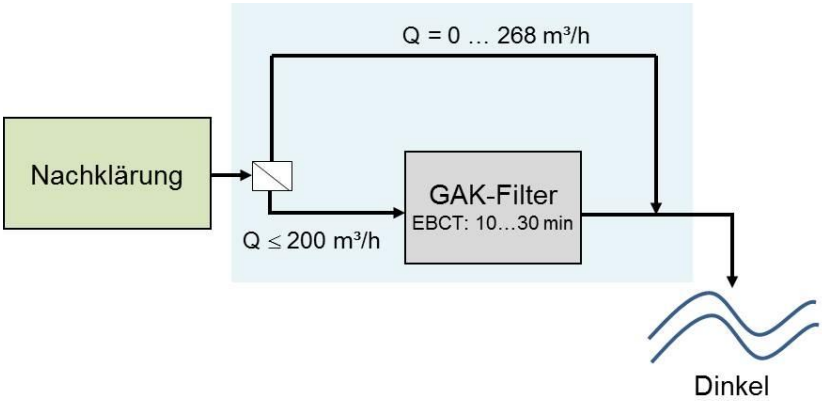


Bild 4: Blockschema Variante 2: GAK-Filtration

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 drei Pumpen mit einem Volumenstrom von je 100 m³/h zur Verfügung. Die dritte Pumpe dient als Reserve.

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 2,5 m und einer Länge von 4 m.

Der Zulauf zu den vier Filtern erfolgt aus einem offenen Gerinne. Über mit Schiebern versehende 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 100 m^3 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.

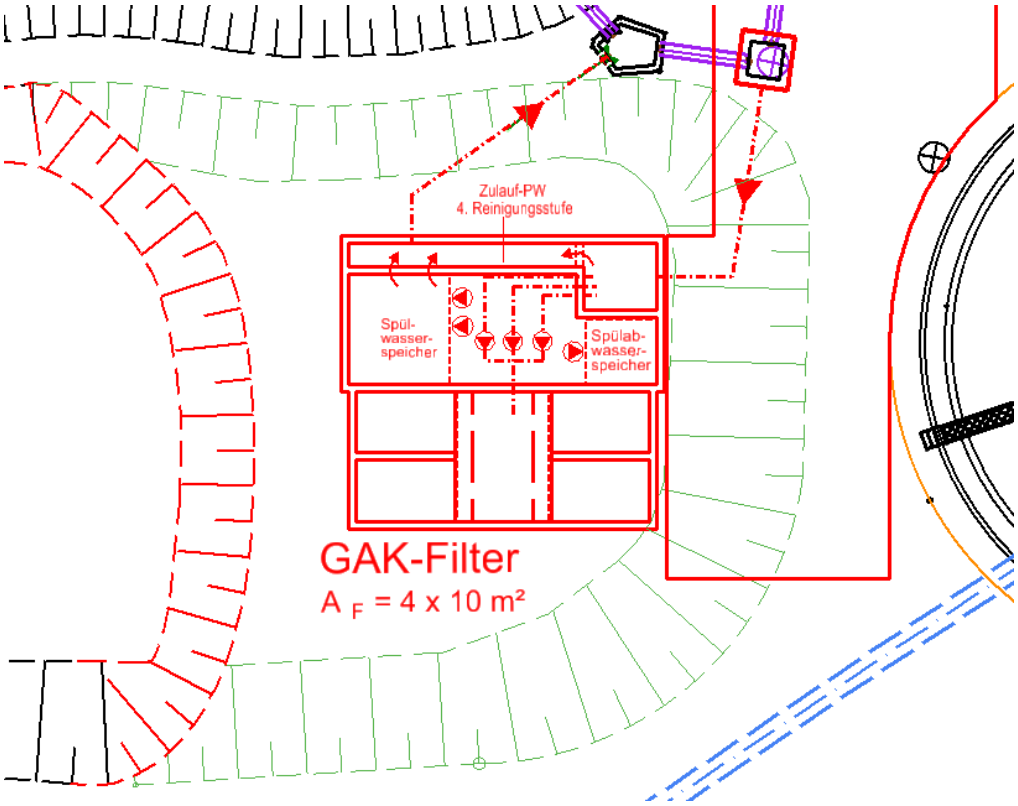


Bild 5: Lageplanausschnitt Variante 2: GAK-Filtration

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

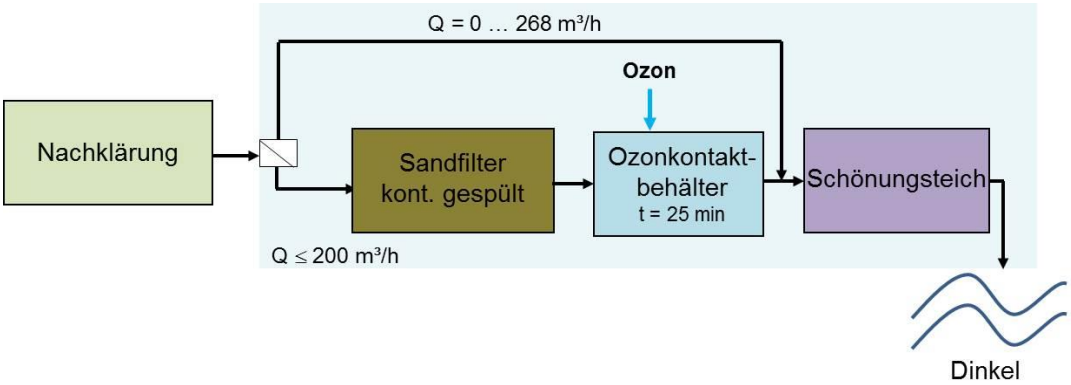


Bild 6: Blockschema Variante 3: Ozonung mit vorgeschaltetem Sandfilter

Folgende Werte wurden gewählt:

Anzahl Kontaktbehälter:	2	Stück
Wassertiefe Kontaktbehälter:	6	m

Es wurde eine mittlere Ozondosis angenommen von:

$$c_{O3,a} = 7{,}00 \text{ mg } O_3/l$$

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 100 m³/h zur Verfügung. Diese Variante ist zweistraßig ausgeführt; daher wird jeder Straße (Kontaktbecken) eine Pumpe zugeordnet. Die dritte Pumpe dient als Reserve für beide Straßen.

Sandfilter (kontinuierlich gespült)

Als Vorbehandlungsstufe wird ein kontinuierlich arbeitender Sandfilter (Dyna-Sandfilter) eingesetzt. Das Sandbett im Filter wird von unten nach oben durchströmt. Die im Abwasser enthaltenden 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 fäll 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 6 m² auf, sodass sich eine Gesamtfilterfläche von 24 m² ergibt.

Jeweils 2 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).

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.

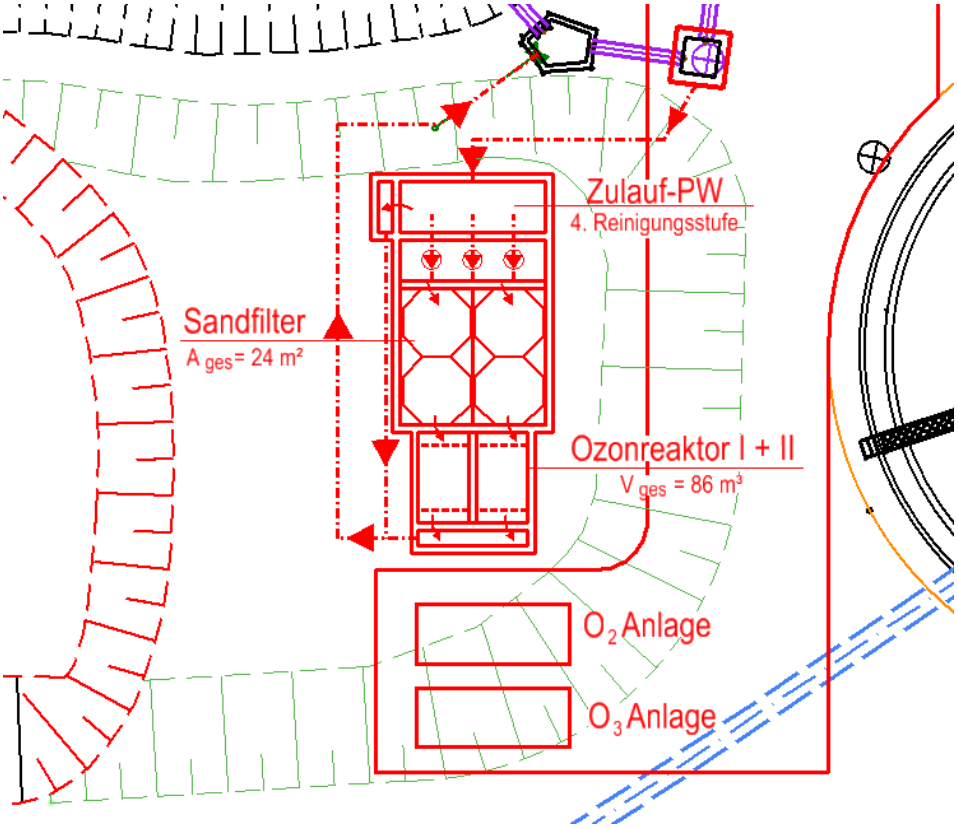
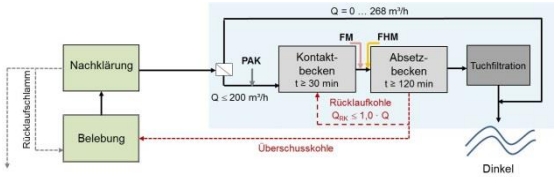
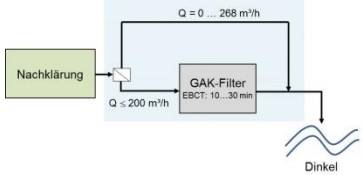
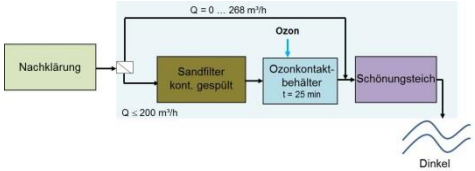


Bild 7: Lageplanausschnitt Variante 3: Ozonung mit vorgeschaltetem Sandfilter

3.4 Ergebnisübersicht Varianten

	Variante 1 Pulverkohle mit Rücklaufkohle	Variante 2 GAK-Filtration	Variante 3 Sandfilter + Ozonung +Schönungsteich
			
Anlagenkom-ponenten	**Kontaktbecken:** t_A = 30 min, V_{ges} = 119 m³ **Absetzbecken:** L = 22 m; b = 6 m; h = 3,1 V = 409 m³ **Tuchfiltration:** $A_{F,ges}$ = 30 m² **PAK-Silo:** V = 80 m³	**GAK-Filtration:** 4 Filter, B x L = 2,5 x 4 m A = 40 m², H_{FB} = 2,5 m, V = 100 m³	**Flüssigsauerstoff:** Tankanlage und Verdampfer **Ozonerzeuger:** 2 x 1 kg O_3/h **Reaktionsbehälter:** 2 Straßen, je L = 3,6 m; B = 2,0 m; V_{ges} = 86 m³ **Sandfiltration (kont. gespült):** 4 Filter mit A_F = 6 m², $A_{F,ges}$ = 24 m² **Nachbehandlung im Schönungsteich**
Vorteile	• 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	• keine Bildung von Reaktionspro-dukten • Wirkungsweise der Stoffelimination eindeutig • Sicherer und einfacher Betrieb • Suspensarückhalt durch Filtration	• geringer Platzbedarf • Suspensarückhalt durch Filtration • Optimierungspotential bei Ozondosis zu erwarten
Nachteile	• höhere Schlammanfall als bei den anderen Varianten • betreuungsintensiv, da Dosierung von PAK, FHM und FM • Teich I muss komplett verfüllt werden	• GAK-Austausch • Hoher Kohlebedarf in Vergleich zu anderen Varianten	• Reaktionsmechanismen und -produkte sind teil-weise unbekannt, • Wartung erfordert geschultes Personal oder ex-ternes Personal, • hohe Sicherheitsanforderungen an den Arbeits-schutz, 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 mit RLK	GAK-Filtration	Filtration + Ozonung + Schönungsteich
Kapitalgebundene Kosten	EUR	115.713,54	82.611,13	102.866,63
Betriebsgebundene Kosten	EUR	64.236,01	41.336,74	56.345,42
Verbrauchsgebundene Kosten	EUR	40.006,73	67.947,36	39.672,57
Summe Jahresskosten, netto	**EUR**	**219.956,28**	**191.895,23**	**198.884,62**
Mehrwertsteuer: 19%	EUR	41.791,69	36.460,09	37.788,08
Summe Jahreskosten, brutto	**EUR**	**261.747,97**	**228.355,33**	**236.672,70**
Anteil		**115%**	**100%**	**104%**

spez. Kosten, netto	ct/m³ Abwasser	23	20	21
spez. Kosten, brutto	**ct/m³ Abwasser**	**27**	**24**	**25**

Die niedrigsten Jahreskosten wurden für die Variante 2 (GAK-Filtration) und Variante 3 (Ozonung) mit ca. 228.000 bis 237.000 EUR/a, brutto ermittelt. Die Varianten 1 (PAK) weist mit rund 262.000 EUR/a, brutto die höchsten Jahreskosten auf.

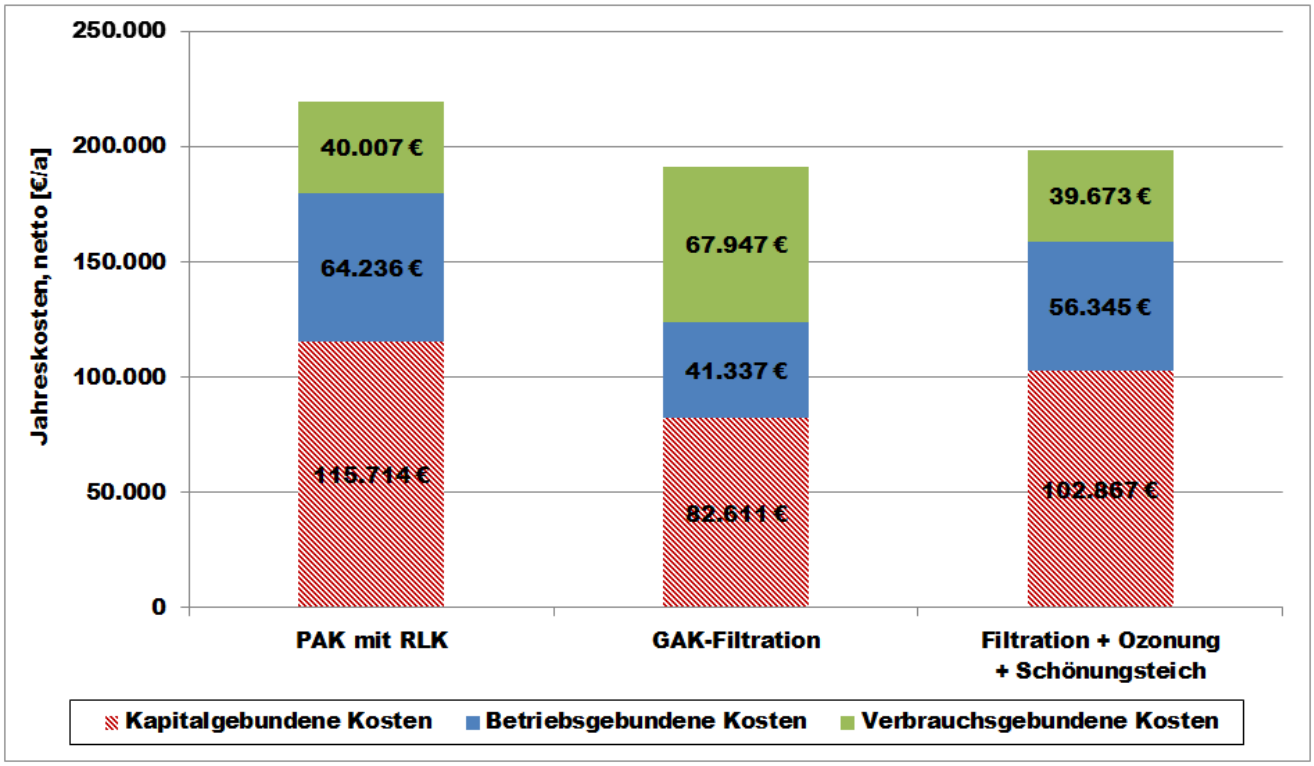


Bild 8: Anteile kapital-, betriebs- und verbrauchsgebundene Kosten an den Jahreskosten der Varianten

Aus der im **Bild 8** dargestellten Aufteilung der Jahreskosten ist erkennbar, dass Variante 1 den höchsten Anteil an kapitalgebundenen Kosten aufweist. Die höchsten verbrauchsgebundenen Kosten ergaben sich bei Variante 2 (GAK-Filtration).

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 + Teich	
		Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet
Jahreskosten	0,30	3	0,9	5	1,5	5	1,5
Reinungsleistung P_{ges}/CSB (zusätz. Reduk.)	0,30	5	1,5	4	1,2	4	1,2
Bildung Nebenprodukte	0,05	5	0,25	5	0,25	3	0,15
Erfahrungen/Referenzen	0,10	5	0,5	4	0,4	4	0,4
Betriebs- und Wartungsaufwand	0,10	3	0,3	5	0,5	4	0,4
Betriebssicherheit	0,05	4	0,2	4	0,2	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	**4,40**	32	**4,25**

Wertung nach Punkten 1 = ungenügend
(steigende Punkte → bessere Wertung) 5 = sehr gut

In der **Summe** schneidet Variante 2 (GAK-Filtration) mit 4,40 Punkten am besten ab. Gefolgt von Variante 3 (Sandfilter + Ozonung + Schönungsteich) mit 4,25 Punkten. Die Variante 1 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung) hat mit 4,05 Punkten die niedrigste Bewertung.

6 Zusammenfassung

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

Im Rahmen der Studie zur Ertüchtigung und Erweiterung der Kläranlage Legden 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: Abwasserfiltration 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 2 (GAK-Filtration) mit 4,40 Punkten; Variante 3 (Sandfilter + Ozonung + Schönungsteich) kommt auf den zweiten Platz, mit 4,25 Punkten. Die Variante 1 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle) liegt mit 4,05 Punkten auf dem dritten Platz.

Bei den Jahreskosten liegt Variante 2 (GAK-Filtration) mit 228.000 EUR/a, brutto vorn. Gefolgt von Variante 3 (Sandfilter + Ozonung + Schönungsteich) mit 237.000 EUR/a, brutto. Die Variante 1 (PAK mit RLK) hat mit 261.000 EUR/a, brutto die höchsten Jahreskosten.

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. Dadurch reduziert sich insgesamt der benötigte Kohlebedarf. Das Verfahren reagiert damit auf Preisschwankungen bei der Aktivkohle weniger sensitiv. 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) ist aufgrund der niedrigeren kapitalgebundenen Kosten gegenüber den anderen Varianten auf dem zweiten Rang. Für dieses Verfahren spricht die hohe Betriebssicherheit. Die relativ geringe prognostizierte Standzeit der Aktivkohle im Filter führt zu den erhöhten Verbrauchskosten. Der Energiebedarf ist von allen Variante am geringsten. 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.

Variante 3 (Sandfilter + Ozonung + Schönungsteich) ist in der Bewertungsmatrix aufgrund der niedrigen Jahreskosten auf dem ersten Rang. Der Energiebedarf von Variante 3 ist im Vergleich zu den anderen Varianten sehr hoch. Die Suspensa-Entfernung in der vorgeschalteten Filtrationsstufe lässt jedoch eine niedrigere Ozondosis erwarten. Für dieses Verfahren sprechen der geringe Betriebsaufwand sowie die geringe Sensitivität gegenüber Steigerungen der Bezugskosten.

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

Zur Überprüfung der ausgewählten Teilstrommenge sollten im weiteren Planungsverlauf die Ablaufmengen als Stundenwerte gezielt erfasst und ausgewertet werden.