

Kläranlage Borken

4. Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroschadstoffen

Machbarkeitsstudie - Kurzbericht
Dezember 2014
Projektnummer 0132 067





Kläranlage Borken

4. Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroschadstoffen

Machbarkeitsstudie - Kurzbericht
Dezember 2014
Projektnummer 0132 067

Bearbeitet durch:
Dr.-Ing. Manja Steinke
Dr.-Ing. Mauriz Kaub
Dipl.-Ing. Norbert Biebersdorf

Aufgestellt:
Bochum, im Dezember 2014
bie-stei-ka-ko/ga

Dipl.-Ing. Norbert Biebersdorf

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Aufgabenstellung	1
2	Anlagenbestand	1
3	Darstellung der untersuchten Verfahrenskombinationen	1
3.1	Beschickungsmenge.....	1
3.2	Verfahrensfestlegung.....	1
3.3	Varianten	2
3.3.1	Variante 1: PAK mit Rücklaufkohle	2
3.3.1.1	Allgemein.....	2
3.3.1.2	Ausführung	3
3.3.2	Variante 2: PAK-Dosierung in den Filterüberstau.....	5
3.3.2.1	Allgemein.....	5
3.3.2.2	Ausführung	6
3.3.3	Variante 3: Nachgeschaltete Filtration über granulierte Aktivkohle.....	7
3.3.3.1	Allgemeines	7
3.3.3.2	Ausführung	8
3.3.4	Variante 4: Ozonung.....	9
3.3.4.1	Allgemeines	9
3.3.4.2	Ausführung	10
3.3.5	Variante 5: Ozonung mit nachgeschaltetem Schönungsteich.....	12
3.3.5.1	Allgemeines	12
3.3.5.2	Ausführung	13
3.4	Ergebnisübersicht Varianten.....	15
4	Kosten	17
5	Bewertung	18
6	Zusammenfassung	19

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

Mit der Studie soll eine Entscheidungsgrundlage geschaffen werden, um die Auswahl eines möglichen Verfahrens durch die Stadt Borken 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 5 Verfahrenskombinationen;
- Darstellung der Varianten im Lageplan und im Verfahrensfliessbild (RI-Schema);
- 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

Ein vereinfachtes Fließschema zu den Abwasserbehandlungsstufen auf der Kläranlage Borken stellt **Bild 1** dar. Die Beschickung der Kläranlage erfolgt über das Zulaufpumpwerk (Schneckenpumpwerk). Zur Entlastung ist ein Regenüberlaufbecken (Durchlaufbecken) im Nebenschluss angeordnet. Die Abwasservorbehandlung erfolgt mit einer Rechenanlage, einem belüfteten Langsandfang und einem Vorklärbecken. Nach dem Sandfang ist eine Entlastung zum Misch- und Ausgleichsbecken möglich. Die biologische Hauptstufe wird aus einem Bio-P-Becken und 2 Belebungsbecken (Parallelbetrieb) gebildet. Zur Abtrennung des Belebtschlammes sind 3 Nachklärbecken vorhanden. Eine weitergehende Abwasserbehandlung erfolgt mit einer Raumfiltration. Die Einleitung erfolgt in die Bocholter Aa. Zusätzlich zum vorhandenen Prozesswasserspeicher wird ein Rundbecken (vormals Denitrifikationsbecken) zur Speicherung der Prozesswässer und der angelieferten Abwässer der Fa. Garvert genutzt.

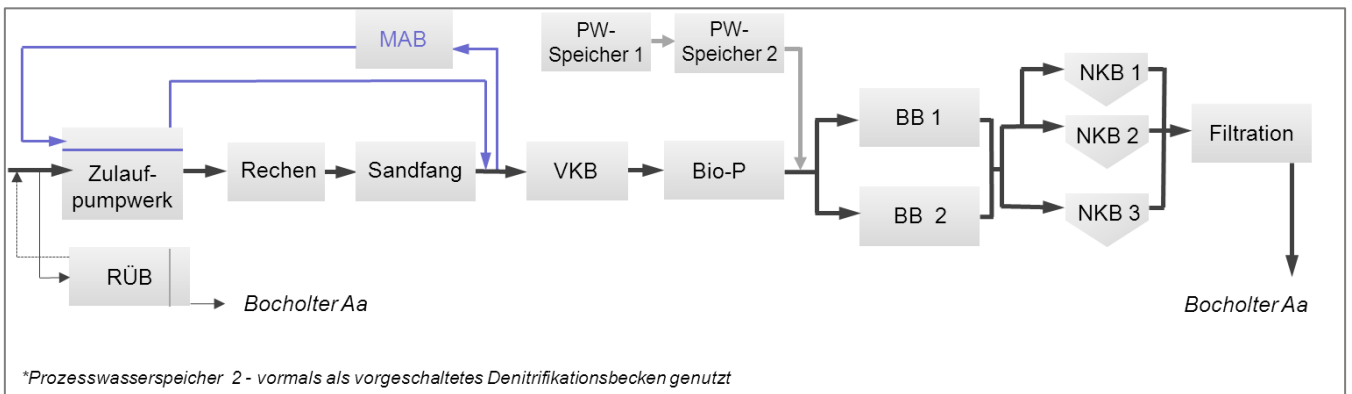


Bild 1: Fließschema Abwasserbehandlungsstufen

3 Darstellung der untersuchten Verfahrenskombinationen

3.1 Beschickungsmenge

Im Hinblick auf eine wirtschaftliche Auslegung der Verfahrensstufe zur Spurenstoffelimination ist eine Betrachtung zur Teilstrombehandlung erforderlich. Ziel ist es, einen Grenzfluss zur 4. Reinigungsstufe zu bestimmen, sodass der Großteil der Jahresabwassermenge behandelt wird und die Auslegung der Anlage wirtschaftlich ist. Dazu ist eine Auswertung der Abwassermengen hinsichtlich der Häufigkeiten der Zuflussmengen zur 4. Reinigungsstufe erforderlich.

Für eine Vollstrombehandlung müsste auf der Kläranlage Borken eine Kapazität zur Behandlung von 2.400 m³/h vorgehalten werden. Die Auswertung der Abwassermengen zeigt jedoch deutlich, dass bereits Abwassermengen > 1.200 m³/h selten auftreten.

Wenn die Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination auf 930 m³/h ausgelegt wird, werden 90 % der Jahresabwassermenge behandelt. Unter den gewählten Ansätzen kann somit eine Elimination von 79 % erreicht werden. Die Verfahrensstufe kann so in hydraulischer Hinsicht bei einer Behandlung von 90 % der Jahresabwassermenge im Vergleich zur Vollstrombehandlung um 60 % kleiner ausgeführt werden. Im Verhältnis der erreichbaren Wirkungsgrade von 79 % oder 85 % wird die Teilstrombehandlung mit einem Volumenstrom von **930 m³/h** als geeignet betrachtet, sodass die Bemessung und der Verfahrensvergleich auf Grundlage dieser Bemessungswassermenge beruhen.

3.2 Verfahrensfestlegung

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie werden die folgenden fünf Verfahrenskombinationen untersucht:

1. **Pulverkohle mit Rücklaufkohleführung.** Abtrennung der PAK in einem Absetzbecken und in der nachgeschalteten vorhandenen Filtrationsstufe.
2. **Direkte Dosierung von Pulveraktivkohle.** Abtrennung der Kohle über die vorhandene Filtrationsstufe.
3. **Filtration über granulierten Aktivkohle.** Festbettadsorber werden der Filtrationsstufe nachgeschaltet.
4. **Ozonung.** Zulauf der Filtration wird mit Ozon behandelt. Nutzung Filtration als biologisch aktive Stufe.
5. **Ozonung mit nachgeschaltetem Schönungsteich.** Ablauf der Filtration wird mit Ozon behandelt. Der wieder im Abwasserweg einbezogene Schönungsteich ist als Nachbehandlungsstufe nachgeschaltet.

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 im Zulauf des Kontaktbeckens dem Teilstrom aus dem Ablauf der Nachklärung zugegeben. Im dem Absetzbecken vorgeschalteten Kontaktbecken erfolgt der eigentliche Adsorptionsvorgang. Der im Absetzbecken zurückgehaltene Kohleschlamm wird über eine Pumpe als Rücklaufkohle wieder in den Zulauf des Kontaktbeckens zurückgefördert. Entsprechend der Frischkohledosierung wird ein Teil der rückgeführten Kohle als Überschussskohle aus dem System entnommen. Besonderer Vorteil dieses Verfahrens ist, dass die Pulverkohle mehrfach mit dem Abwasser in Kontakt kommt, um die Beladungskapazität möglichst gut ausnützen zu können.

Für die Kläranlage Borken würde dies bedeuten, dass ein Kontakt- und ein Absetzbecken sowie ein Silo einschließlich der Dosiertechnik für die Pulverkohle erreicht werden müssen. Zudem müssen eine Flockungsmitteldosierstation neu errichtet und die bestehende Fällmittelstation erneuert werden.

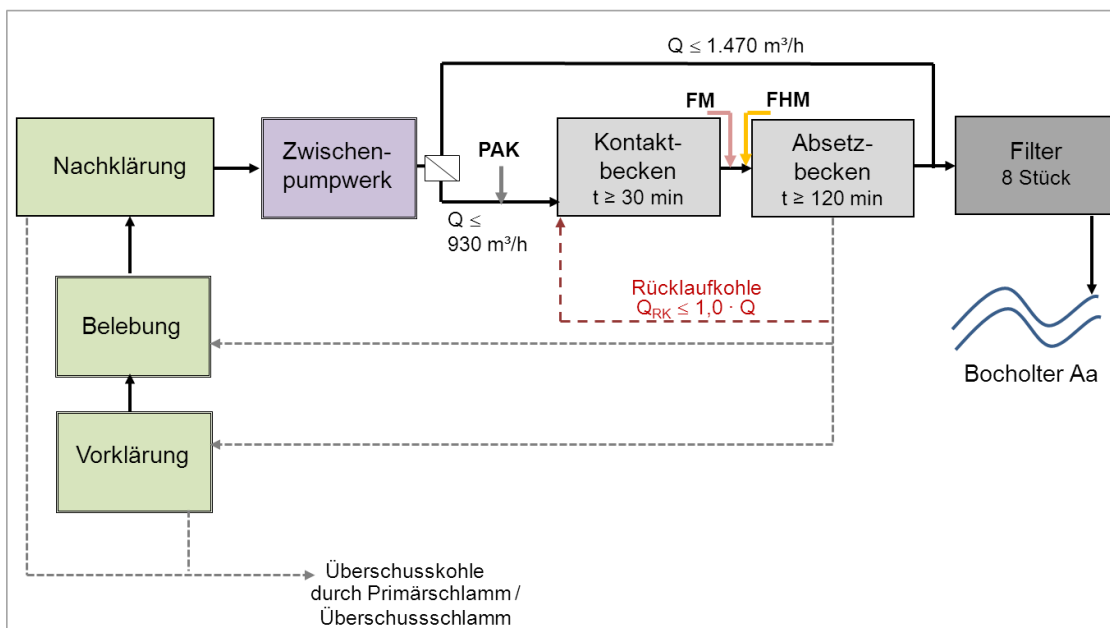


Bild 2: Blockschema Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle

Erfahrungen aus Baden-Württemberg zeigen, dass die Suspensabelastung des Filters zurückgeht, da durch den Einsatz von Flockungs- und Flockungshilfsmittel ein Teil der Partikel schon im Absetzbecken abgetrennt wird und nicht auf die Filtration gelangt. Dies bedeutet eine Erhöhung der Betriebssicherheit der Anlage im Hinblick auf den Suspensarückhalt.

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.

3.3.1.2 Ausführung

Beschickung

Die Beschickung der PAK-Stufe erfolgt über das Zulaufbauwerk der Schneckenpumpen der Filtration (**Bild 3**). In den Zulaufschacht fließen die Abläufe der Nachklärung 1/2 und der Nachklärung 3. Für die Teilstromaufteilung zur 4. Reinigungsstufe mit $Q \leq 930 \text{ m}^3/\text{h}$ werden Tauchmotorpumpen ($n + 1$) eingesetzt.

Der Ablauf der 4. Reinigungsstufe wird über eine Rohrleitung direkt in das Verteilgerinne vor den einzelnen Filterkammern geleitet.



Bild 3: Zulaufschacht und Pumpensumpf des Schneckenhebewerkes der Filtration

Folgende Anlagenkomponenten sind für die Ausführung erforderlich.

Kontaktbecken und Absetzbecken

Für die Sedimentationsstufe ist ein horizontal durchströmtes Absetzbecken (Rundbecken) vorgesehen. Das Kontaktbecken wird als umlaufendes Gerinne um das Sedimentationsbecken angeordnet.

Das Absetzbecken wird mit einem Innendurchmesser von 26 m ($D_a = 26,80 \text{ m}$) ausgeführt. Das Becken wird mit einem Rundräumer ausgerüstet. Die Oberfläche beträgt 511 m^2 und das Volumen 2.045 m^3 . Die Beckentiefe ($h_{2/3}$) liegt bei 4,0 m.

Das Kontaktbecken wird mit einer Breite von 2,25 m umlaufend um das Absetzbecken ausgeführt. Das Volumen beträgt 821 m^3 .

An der Beckenperipherie wird die Rücklaufkohlepumpe (Schneckenpumpwerk) angeordnet. Diese fördert die Rücklaufkohle wieder in den Zulauf vor dem Kontaktbehälter zurück. Die Überschussskohle wird über eine weitere Pumpe aus dem Schacht entnommen und zur Vorklärung (oder zur Belebung) geleitet.

PAK-Silo

Das Silo zur Lagerung der Aktivkohle mit einem Inhalt von 125 m³ wird neben dem Absetzbecken erstellt. Die Dosierung der Frischkohle erfolgt in den Zulauf des Kontaktbeckens. Das Treibwasser (5 bis 7 m³/h) für die PAK-Dosierung wird über eine gesonderte Pumpe aus dem Betriebswassernetz entnommen.

Flockungs- und Flockungshilfsmittel

Als Flockungsmittel wird Eisen-III-Chlorid-Lösung vorgesehen. Derzeit erfolgt auf der Kläranlage Borken eine Simultanfällung mit Eisen-Chlorid-Lösung. Es wird eine Erneuerung der bestehenden Fällmittelstation vorgesehen, die dann für die Simultanfällung und die 4. Reinigungsstufe genutzt wird. Die Bereitungsanlage für das Flockungshilfsmittel wird neu errichtet.

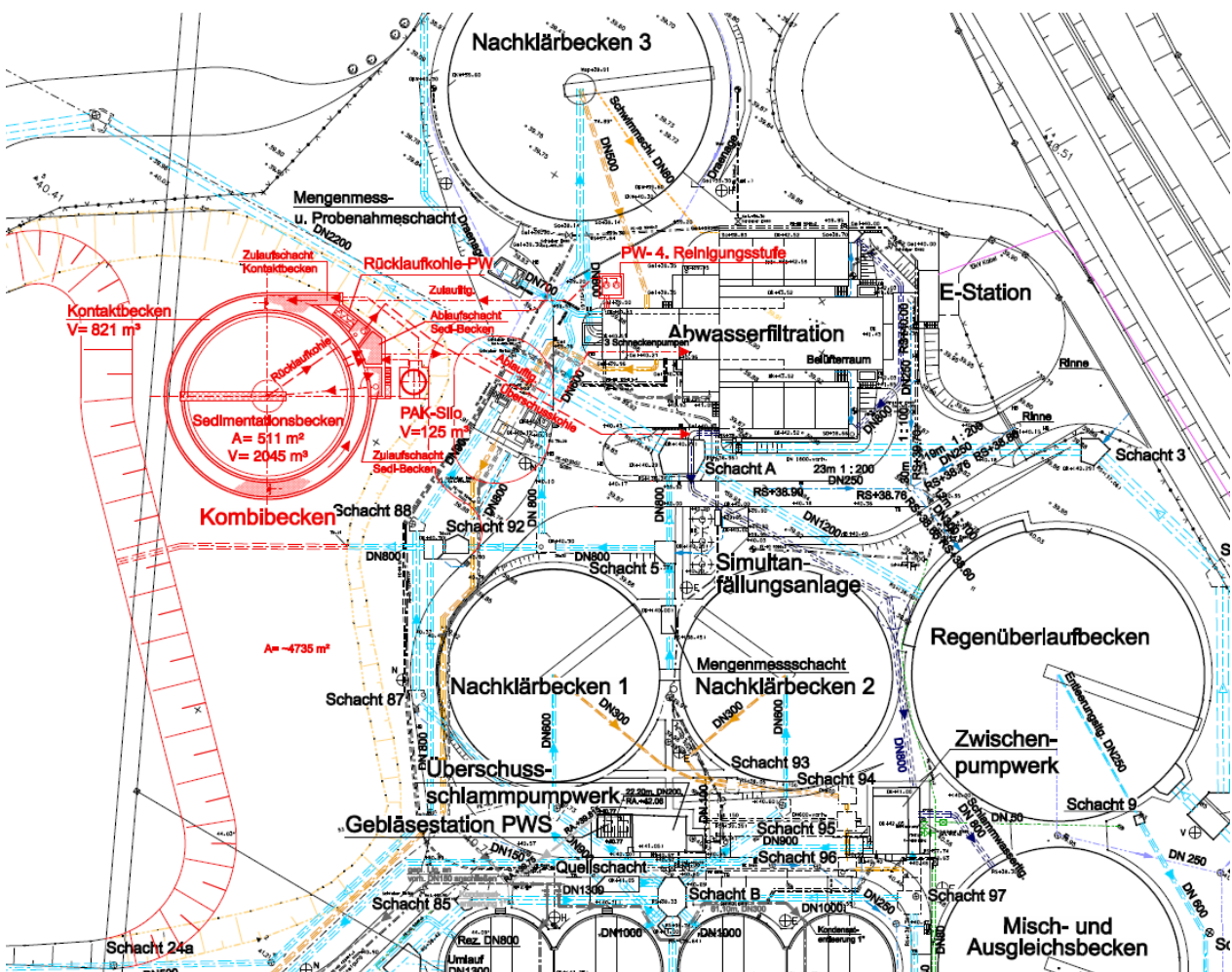


Bild 4: Lageplanausschnitt Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle

3.3.2 Variante 2: PAK-Dosierung in den Filterüberstau

3.3.2.1 Allgemein

Die komplette Abtrennung der Aktivkohle erfolgt über die Filtration. Damit wird auch die zurückgehaltene Pulverkohle über den Schlammwasserspeicher aus der Filtration in den Zulauf der Kläranlage zurückgeführt. Gegenüber der Variante 1 ist eine höhere Dosierkonzentration erforderlich (20 mg PAK/l, statt 10 mg/l), da keine Rückführung der Kohle in den Zulauf erfolgt.

Der Einsatz von Me-Salzen (Fäll- und Flockungsmittel) ist in jedem Fall notwendig, um einen Durchbruch der Kohle durch die Filter zu verhindern. In Wuppertal war die Dosierung von Flockungshilfsmitteln nicht notwendig. Die Filtration wird damit höher belastet. Dies kann zu einer Verkürzung der Rückspülintervalle führen. In den Versuchen in Wuppertal war eine tägliche Rückspülung weiterhin ausreichend. Hinsichtlich der Betriebssicherheit ist die höhere Feststoffbelastung der Filtration gegenüber den anderen Varianten als Nachteil anzusehen.

Setzt man die Auslegungskonzentration für Nachklärbecken nach ATV-DVWK-A 131 von 20 mg/l abfiltrierbare Stoffe (TS) im Ablauf an, so wird ab einer Tageswassermenge von 22.320 m³/d (930 m³/d) eine TS-Raumbelastung in den Mehrschichtfiltern von 2,6 kg TS/(m³·d) erreicht. Dieser Wert liegt im Bereich der Empfehlung von Meyer (1979) mit 2,0...3,0 kg TS/(m³·d). Bei einer Erhöhung der Dosiermenge auf 25 mg PAK/l und einer höheren Dosiermenge an Fällmitteln von 5 g/m³ liegt die TS-Raumbelastung bei 3,0 kg TS/(m³ · d) und damit im Grenzbereich der Bemessungsempfehlung. Höhere AFS-Gehalte (> 20 mg/l) führen zu einer Überschreitung der Bemessungsempfehlung.

In der Projektbesprechung am 22.10.2013 wurde gemeinsam mit dem Auftraggeber abgestimmt, dass dieses Verfahrens für den Einsatz auf der Kläranlage Borken ungeeignet ist, da die Filtration zum Teil in bestimmten Zulaufsituationen derzeit schon mit hohen Feststofffrachten beaufschlagt wird. Die PAK-Dosierung in den Überstau der Filtration wird jedoch in der Studie weiter betrachtet.

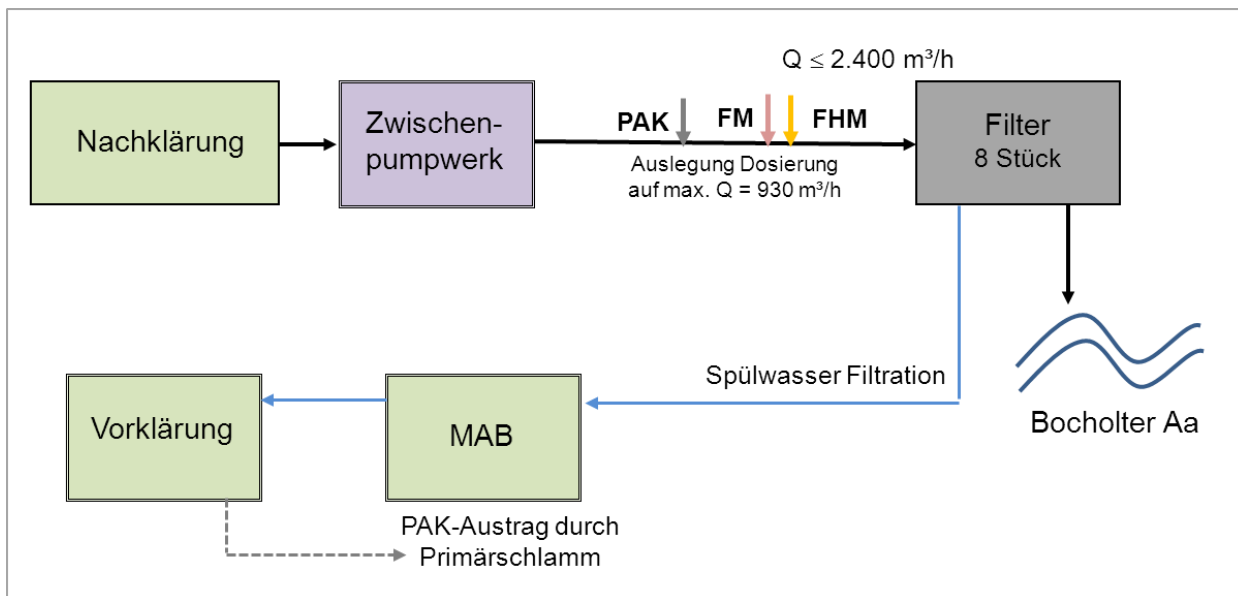


Bild 5: Blockscheema Variante 2: PAK-Dosierung

3.3.2.2 Ausführung

Folgende Anlagenkomponenten sind für die Ausführung erforderlich.

Beschickung

Die Beschickung erfolgt über das vorhandene Schneckenhebwerk der Filtration. Die Dosierung der Hilfsstoffe erfolgt zum Schutz des Pumpwerkes vor Abrasion durch die Aktivkohle nach der Förderung. Bei einer Abwassermenge > 930 m³/h erfolgt eine Begrenzung der Dosiermengen für PAK, FM und FHM.

Kontaktraum Filterüberstau

Der Filterüberstau dient als Kontaktraum. Bei einer Abwassermenge von 930 m³/h ergibt sich die folgende Kontaktzeit:

Überstauhöhe Filtration	2,0 m
Filterfläche je Zelle	27,0 m ²

Betrieb von 8 Filterzellen

Überstauvolumen (8 Zellen)	432 m ³
Aufenthaltszeit	28 min

Betrieb von 7 Filterzellen

Überstauvolumen	378 m ³
Aufenthaltszeit	24 min

Bei einer maximalen Abwassermenge von 2.400 m³/h beträgt die Kontaktzeit bei Betrieb der 8 Filterzellen ca. 11 Minuten.

PAK-Silo

Das PAK-Silo wurde mit einem Inhalt von 125 m³ errichtet. Das Treibwasser (5 bis 7 m³/h) für die PAK-Dosierung wird über eine gesonderte Pumpe aus dem Filtratwasserspeicher entnommen. Alternativ ist eine Entnahme aus dem Betriebswassernetz möglich.

Flockungs- und Flockungshilfsmittel

Als Flockungsmittel wird Eisen-III-Chlorid-Lösung vorgesehen. Derzeit erfolgt auf der Kläranlage Borken eine Simultanfällung mit Eisen-Chlorid-Lösung. Es wird eine Erneuerung der bestehenden Fällmittelstation vorgesehen, die dann für die Simultanfällung und die 4. Reinigungsstufe genutzt wird. Die Bereitungsanlage für das Flockungshilfsmittel wird neu errichtet.

3.3.3 Variante 3: Nachgeschaltete Filtration über granulierte Aktivkohle

3.3.3.1 Allgemeines

Die Aktivkohlefilter werden der bestehenden Filtration nachgeschaltet. Der Suspensarückhalt erfolgt damit in der Mehrschichtfiltration, und ein Teilstrom des partikelarmen Abwassers wird über die GAK-Filter geführt. Es ist mit höheren Standzeiten der Kornkohle zu rechnen, wenn die Konkurrenz um die Adsorptionsplätze zwischen den Spurenstoffen und dem Rest-CSB minimiert wird. Im Mehrschichtfilter wird ein Teil des partikulär gebundenen CSB zurückgehalten. Die GAK-Filter dienen als „Polizeifilter“ für die Spurenstoffe. Nichtsdestotrotz bietet diese zweistufige Filtration besondere Sicherheit im Hinblick auf den Abschlag von Suspensa in den Vorfluter, wenn z. B. Schlamm aus der Nachklärung abtreibt.

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:	189 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 ein Bauwerk realisiert werden kann. Jede Filterkammer weist eine Breite von 4,5 m und eine Länge von 7 m auf.

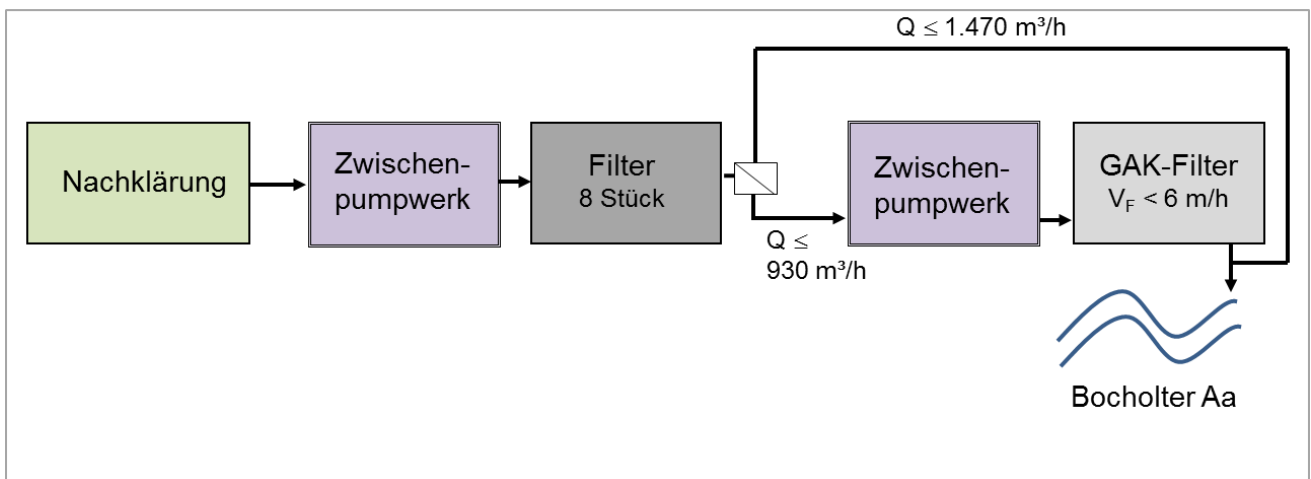


Bild 6: Blockscheema Variante 3: Nachgeschaltete GAK-Filtration

Da die GAK-Filter in erster Linie als Adsorber arbeiten und mit partikelarmem Abwasser beaufschlagt werden, kann von einer täglichen Rückspülung abgesehen werden. Die Rückspülungen sollten bei Bedarf erfolgen. 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. Das Spülwasser wird dann – wie das Spülabwasser der bestehenden Filtration – in das Misch- und Ausgleichsbecken geleitet.

Die Standzeit der granulierten Aktivkohle in den Filtern wird mit 10.000 Bettvolumina (BV) angesetzt. Durch die vorgeschaltete vorhandene Filtration erfolgt schon eine weitgehende Entfernung der Feinsuspensa aus dem Abwasser. In der GAK-Filtration ist – neben der adsorptiven Wirkung – jedoch auch eine weitere Entfernung von suspendiert gelösten Wasserinhaltsstoffen zu erwarten.

3.3.3.2 Ausführung

In einem Bauwerk sind ein Filterblock mit sechs Filterkammern, das Pumpwerk sowie der Spülabwasserspeicher und der Spülwasserspeicher mit der Verbindung zum Ablaufgerinne untergebracht.

Pumpwerk 4. Reinigungsstufe

Die Beschickung der GAK-Filtration erfolgt aus dem Ablauf der bestehenden Filtration. Dazu wird die bestehende Ablaufleitung der Filtration aufgetrennt und in die Pumpenvorlage der GAK-Filtration umgeleitet. Über zwei trocken aufgestellte Pumpen mit Drehzahlregelung wird aus der Pumpenvorlage die GAK-Filtration beschickt. Die Pumpen heben den Teilstrom auf das Niveau in der Zulauf Rinne der Filter. Wassermengen über 930 m³/h werden in die Ablaufleitung der GAK-Filtration abgeschlagen und fließen dem Ablaufschacht der Kläranlage zu.

Filterblock

Der Filterblock besteht aus sechs abwärtsdurchströmten offenen Filtern. Jede Filterkammer weist eine Fläche von 31,5 m² auf. Die Abmessungen einer Filterkammer liegen bei einer Breite von 4,50 m und einer Länge von 7 m.

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

Spülwasserspeicher

Das Filtrat der Adsorptionsstufe wird in einer Spülwasservorlage gespeichert. Der Überlauf des Spülwasserspeichers wird über eine Rohrleitung zum Ablaufschacht der Kläranlage zurückgeführt. Für die Rückspülung der Filter stehen zwei Rückspülpumpen zur Verfügung.

Einhausung E- und Aggregate-Raum

Der Bereich oberhalb des Filtratwasserspeichers wird eingehaust, um das Spülluftgebläse sowie die Schaltanlage aufzunehmen.

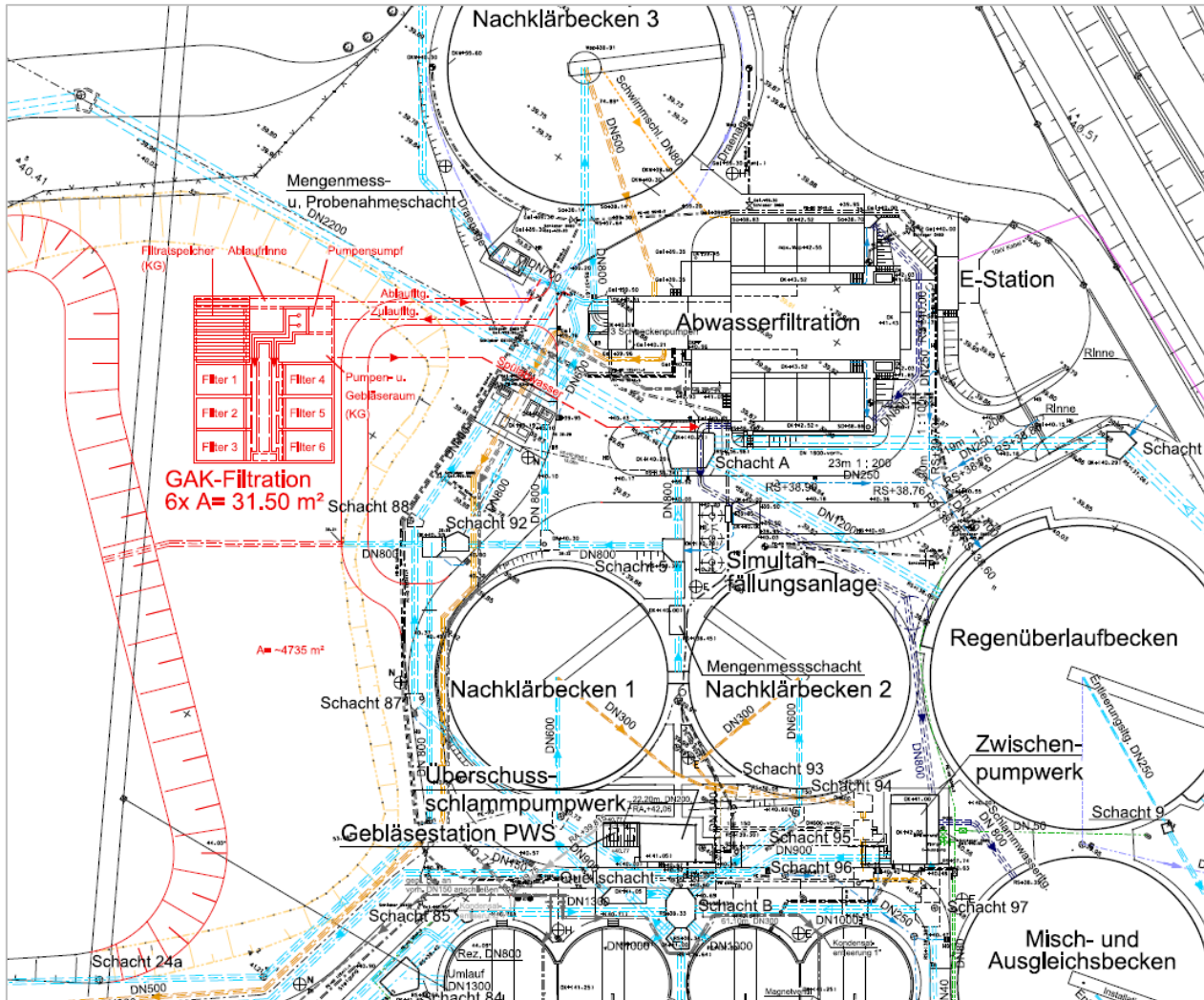


Bild 7: Lageplanausschnitt Variante 3: Nachgeschaltete GAK-Filtration

3.3.4 Variante 4: Ozonung

3.3.4.1 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. Im Filter erfolgt der Abbau eventuell toxikologisch bedenklicher Stoffe auf biologischem Wege. Dieses Vorgehen ist bei der Trinkwasseraufbereitung seit

Jahren Standard (Beispiel: Düsseldorfer Verfahren). Die Ozonung wird daher vor der bestehenden Filtration angeordnet.

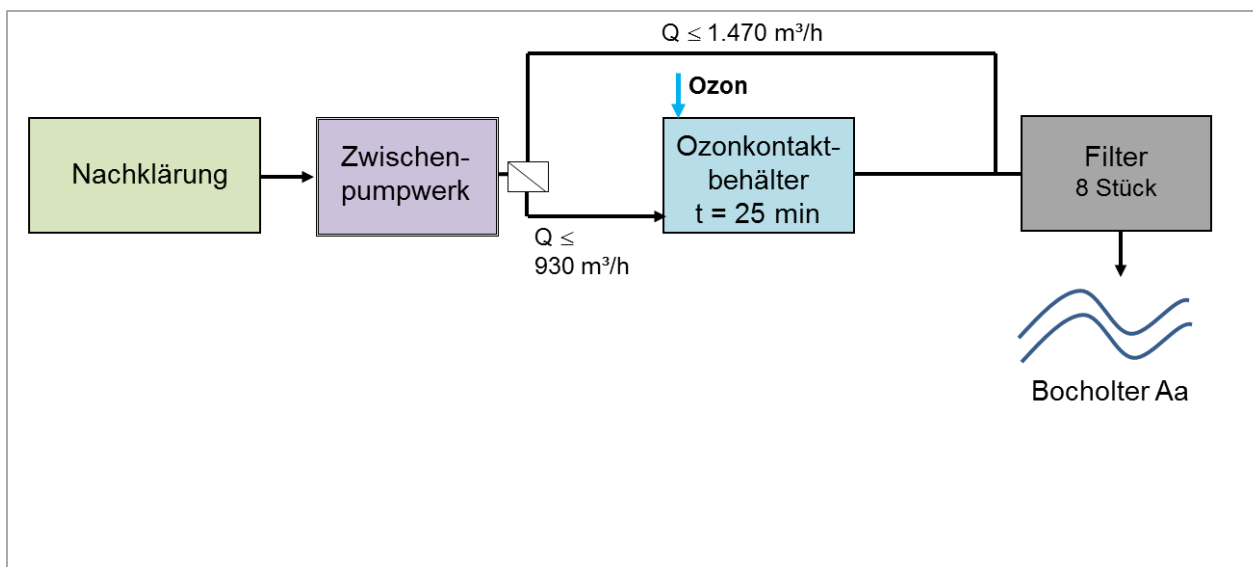


Bild 8: Blockschema Variante 4: Ozonung

Die Ozonung wird anhand folgender Bemessungsparameter ausgelegt:

Ozondosis: 2...10 g/m³

Kontaktzeit im Reaktionsbehälter: 10...30 min

Folgende Werte wurden gewählt:

Anzahl Kontaktbehälter: 2 Stück

Wassertiefe Kontaktbehälter: 6 m

Die Berechnung der mittleren Ozondosis wurde anhand der CSB-Konzentrationen im Ablauf der Nachklärung bestimmt. Im Mittel kann hier ein CSB-Wert von 37 mg/l (Betriebsdaten 2012) angesetzt werden (TOC im Mittel: 14,3 mg/l). Als Verhältnis CSB/DOC wird ein Wert von 3 : 1 angesetzt. Der Einfluss des partikulär gebundenen CSB wird hierbei nicht betrachtet. Damit ergibt sich eine berechnete DOC-Konzentration im Ablauf der Nachklärung von 12 mg/l. Die großtechnischen Versuche in Regensdorf (Abegglen u. a., 2009) kamen zu dem Ergebnis, dass eine Dosis von 0,62 mg O₃/mg DOC hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Wirkung ein Optimum darstellte. Dieser Wert wurde hier übernommen. Damit ergibt sich die mittlere Ozondosis zu:

$$c_{O_3,a} = 12 \text{ mg DOC / l} \cdot 0,62 \text{ mg O}_3/\text{mg DOC} = 7,44 \text{ mg O}_3/\text{l} \approx 7,5 \text{ mg O}_3/\text{l}$$

3.3.4.2 Ausführung

Die Anlagenteile gliedern sich in das zweistraßige Kontaktbecken sowie die Halle für Ozonerzeuger und Schaltanlage mit davor angeordneter Flüssig-Sauerstofftankanlage auf der angefüllten Fläche des Teiches.

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. Dieses wird als Schachtbauwerk neben dem Hebewerk der bestehenden Filtration errichtet. Über eine Rohrleitung wird das Pumpwerk an den Zulaufsumpf des bestehenden Schneckenhebewerks angebunden. Über zwei drehzahlgeregelte Tauchmotorpumpen wird dann die 4. Reinigungsstufe beschickt.

Kontaktbehälter

Die beiden Kontaktbehälterstraßen werden als Betonbauwerk erstellt. 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).

Die Restozonvernichtung erfolgt thermisch/katalytisch.

Die beiden Behälter werden über Rohrleitungen an das Pumpwerk 4. Reinigungsstufe angebunden. Der Ablauf der Behälter wird über eine Rohrleitung in den Zulauf zur bestehenden Filtration geführt.

Ozonerzeugung

Die Ozonerzeuger weisen eine Leistung von 2 x 5.000 g/h auf. Als Prozessgas ist flüssiger Sauerstoff vorgesehen. Die Kühlung erfolgt über einen Nass/Nass-Wärmeüberträger, der ebenfalls im Container untergebracht ist. Das benötigte Kühlwasser im Sekundärkreislauf wird über zwei Pumpen (eine Reserve) aus dem Ablauf der Filtration bereitgestellt.

Die Erzeuger werden mit der zugehörigen Schaltanlage in einer Einhausung untergebracht. Die Sauerstoff-Tankanlage wird ebenfalls auf dem angefüllten Bereich angeordnet.

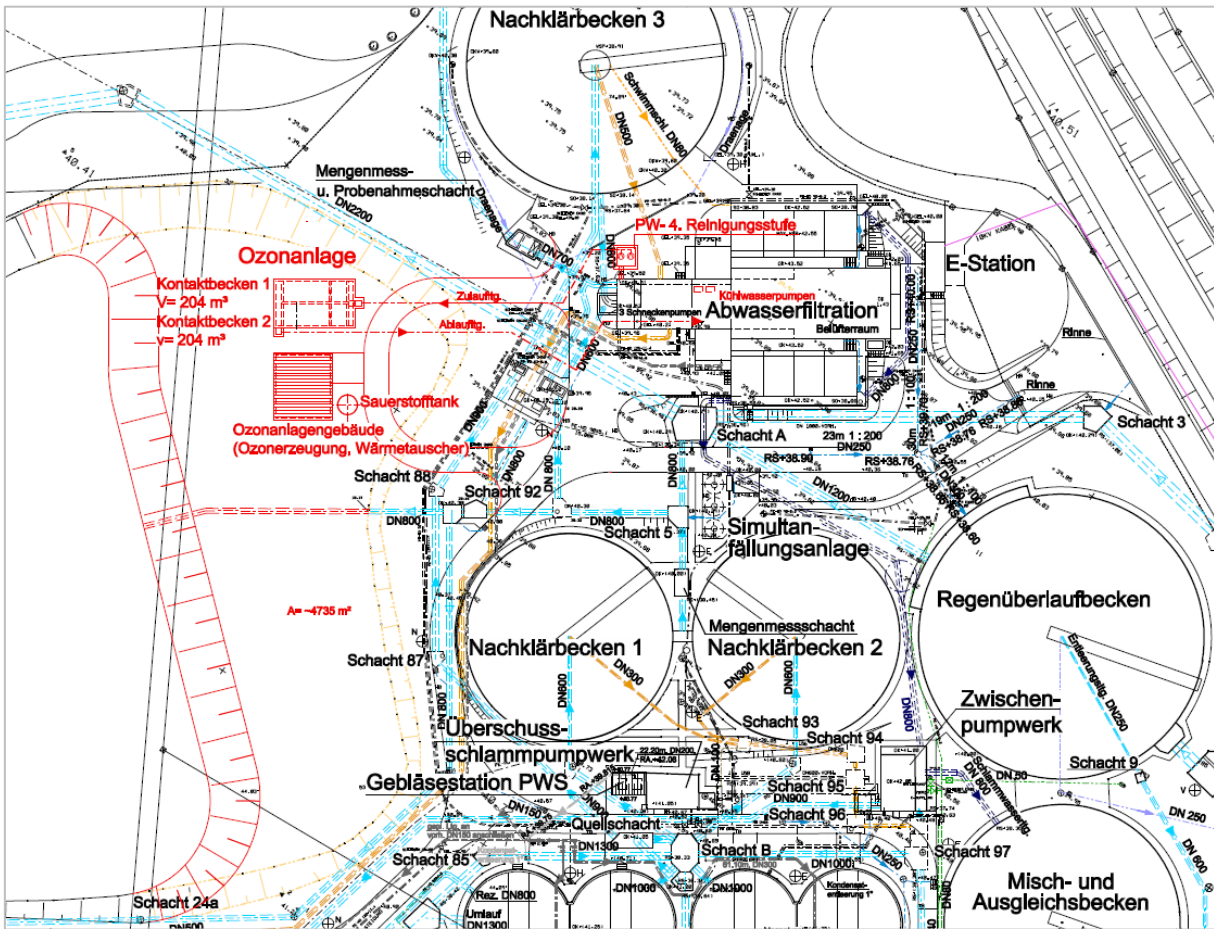


Bild 9: Lageplanausschnitt Variante 4: Ozonung

3.3.5 Variante 5: Ozonung mit nachgeschaltetem Schönungsteich

3.3.5.1 Allgemeines

Bei dieser Variante wird das Klarwasser aus der Filtration zunächst mit Ozon behandelt. Der Ablauf der Ozonung wird in den nachgeschalteten Schönungsteich zum Abbau eventuell toxikologisch bedenklicher Stoffe geführt.

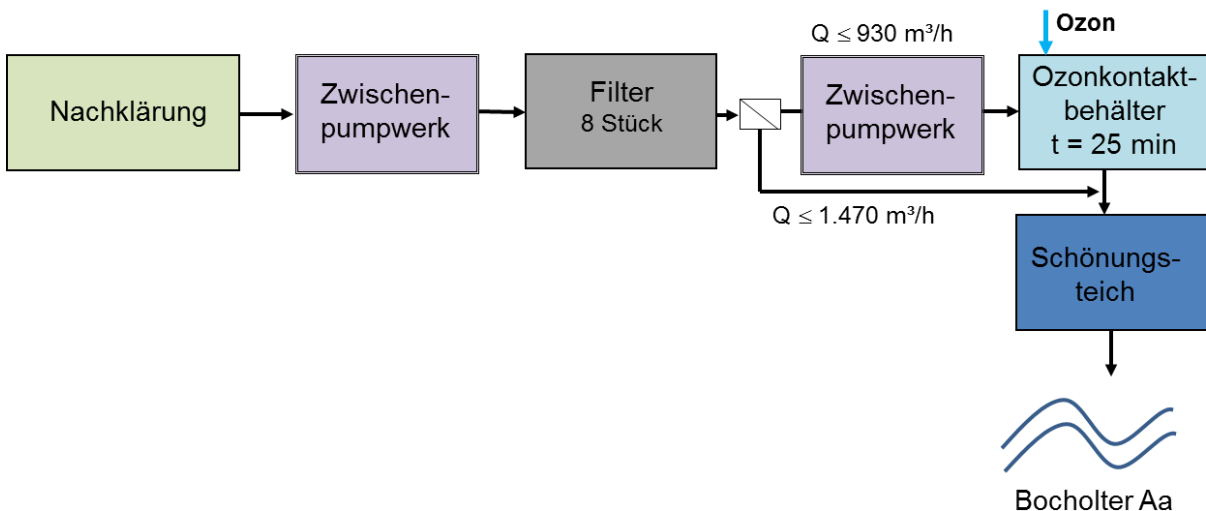


Bild 10: Blockschema Variante 5: Ozonung + Schönungsteich

Die Ozonung wird anhand folgender Bemessungsparameter ausgelegt:

Ozondosis: 2...10 g/m³

Kontaktzeit im Reaktionsbehälter: 10...30 min

Folgende Werte wurden gewählt:

Anzahl Kontaktbehälter: 2 Stück

Wassertiefe Kontaktbehälter: 6 m

Durch die optimierte Filtration ist mit einer Reduktion der Ozondosis zu rechnen. Für die Auslegung dieser Variante wird folgende Ozondosis angenommen:

$$C_{O_3,a} = 4,5 \text{ mg O}_3/\text{l}$$

3.3.5.2 Ausführung

Die Anlagenteile gliedern sich in das zweistraßige Kontaktbecken sowie die Halle für Ozonerzeuger und Schaltanlage mit davor angeordneter Flüssig-Sauerstofftankanlage auf der angefüllten Fläche des Teiches.

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 aus dem Ablauf der bestehenden Filtration. Dazu wird die bestehende Ablaufleitung der Filtration aufgetrennt und in die Pumpenvorlage der Ozonung umgeleitet. Über zwei trocken aufgestellte Pumpen mit Drehzahlregelung wird aus der Pumpenvorlage die Ozonung beschickt.

Kontaktbehälter

Die beiden Kontaktbehälterstraßen werden als Betonbauwerk erstellt. 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. Die Ausführung der Kontaktbehälter entspricht Variante 4.

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). Die Restozonvernichtung erfolgt thermisch/katalytisch.

Die beiden Behälter werden über Rohrleitungen an das Pumpwerk 4. Reinigungsstufe angebunden. Der Ablauf der Behälter wird über eine Rohrleitung in den Zulauf zur bestehenden Filtration geführt.

Ozonerzeugung

Die Ausführung der Ozonerzeugung ist identisch zu Variante 4. Die Ozonerzeuger weisen eine Leistung von 2 x 5.000 g/h auf. Als Prozessgas ist flüssiger Sauerstoff vorgesehen. Die Kühlung erfolgt über einen Nass/Nass-Wärmeüberträger, der ebenfalls im Container untergebracht ist. Das benötigte Kühlwasser im Sekundärkreislauf wird über zwei Pumpen (eine Reserve) aus dem Ablauf der Filtration bereitgestellt.

Die Erzeuger werden mit der zugehörigen Schaltanlage in einer Einhausung untergebracht. Die Sauerstoff-Tankanlage wird ebenfalls auf dem angefüllten Bereich angeordnet.

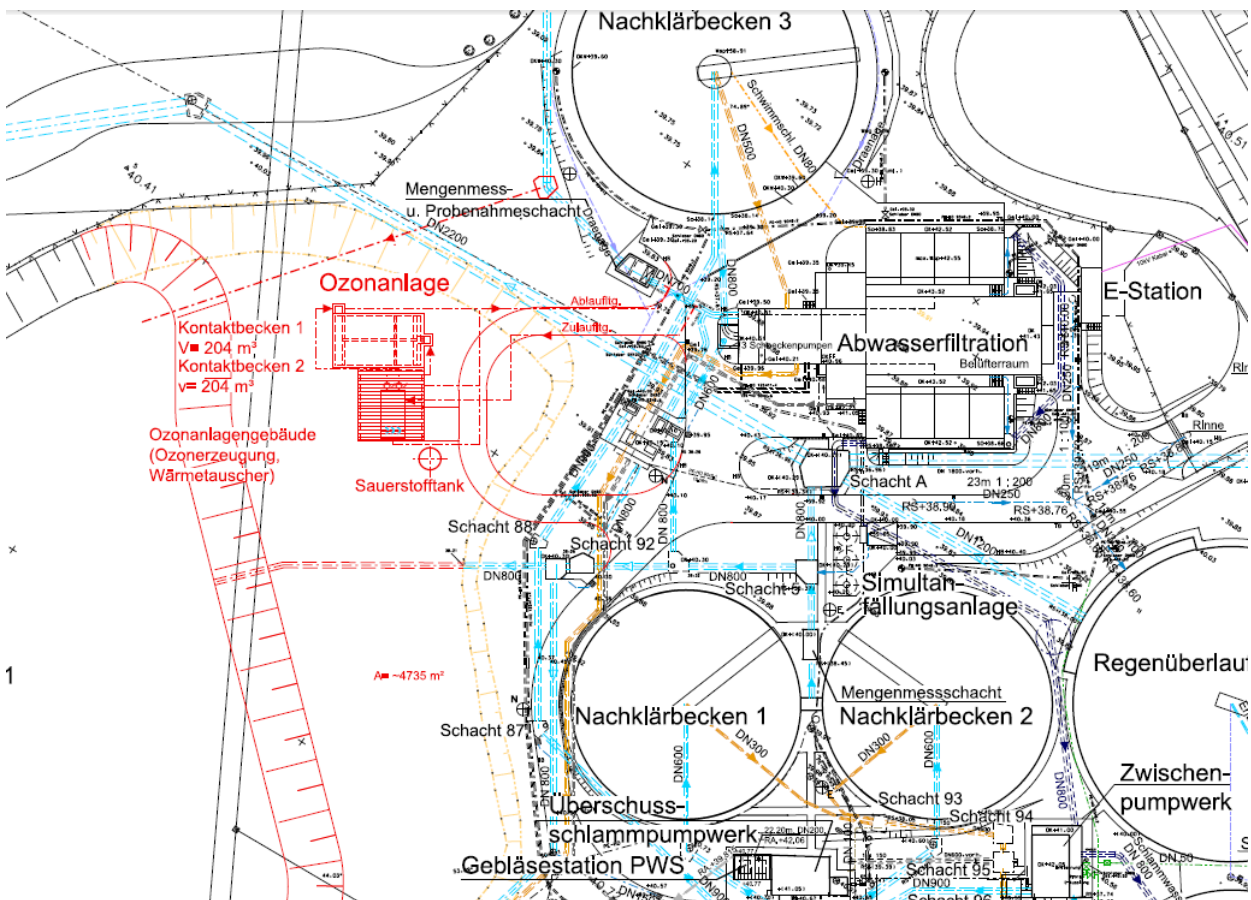
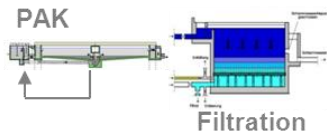
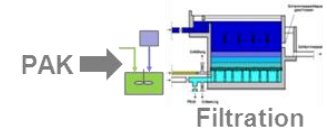
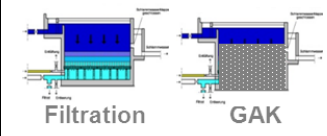
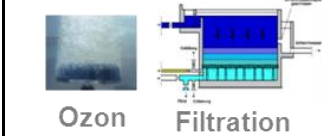



Bild 11: Lageplanausschnitt Variante 5: Ozonung + Schönungsteich

3.4 Ergebnisübersicht Varianten

	Variante 1 Pulverkohle mit Rücklaufkohle	Variante 2 PAK-Dosierung in Filterüberstau	Variante 3 Nachgeschaltete Filtration über granulierte Aktivkohle	Variante 4 Ozonung	Variante 5 Ozonung + Schönungs- teich
Anlagenkomponenten					
	<p>Kontaktbecken: als Umlaufbecken</p> <p>Absetzbecken: $D_i = 26\text{m}$; $h_{2/3} = 4,0\text{ m}$, $A = 511\text{ m}^2$, $V = 2.045\text{ m}^3$</p> <p>PAK-Silo: $V = 125\text{ m}^3$</p> <p>Flockungsmittel Flockungshilfsmitteldosierung</p>	<p>Kontaktraum: Filterüberstau</p> <p>PAK-Silo: $V = 125\text{ m}^3$</p> <p>Flockungsmittel Flockungshilfsmitteldosierung</p>	<p>GAK-Filtration: 6 Filter, $B \times L = 4,5 \times 7,0\text{ m}$ $A = 189\text{ m}^2$, $H_{FB} = 2,5\text{ m}$, $V = 473\text{ m}^3$</p>	<p>Flüssigsauerstoff: Tankanlage und Verdampfer</p> <p>Ozonerzeuger: 10 kg O_3/h</p> <p>Reaktionsbehälter: 2 Straßen, je $L = 10,0$; $B = 3,4\text{ m}$; $V = 204\text{ m}^3$</p> <p>Nachbehandlung in vorhandener Filtration</p>	<p>Flüssigsauerstoff: Tankanlage, Verdampfer</p> <p>Ozonerzeuger: 10 kg O_3/h</p> <p>Reaktionsbehälter: 2 Straßen, je $L = 10,0$; $B = 3,4\text{ m}$; $V = 204\text{ m}^3$</p> <p>Nachbehandlung im Schönungs- teich (Wieder- inbetriebnahme)</p>
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> keine Bildung von Reaktionsprodukten Wirkungsweise der Stoffelimination eindeutig verbesserter Suspensarrückhalt durch Absetzen (Entlastung Filtration) Mehrfachbelastung der PAK 	<ul style="list-style-type: none"> keine Bildung von Reaktionsprodukten Wirkungsweise der Stoffelimination eindeutig 	<ul style="list-style-type: none"> keine Bildung von Reaktionsprodukten Wirkungsweise der Stoffelimination eindeutig Kohle verbleibt im Filter 	<ul style="list-style-type: none"> kleine Bauwerke gut integrierbar in bestehende Anlagen 	<ul style="list-style-type: none"> kleine Bauwerke gut integrierbar in bestehende Anlagen niedrigere Ozondosis als V4 zu erwarten niedrigere Betriebskosten als V4 zu erwarten geringerer Energiebedarf als V4

	Variante 1 Pulverkohle mit Rücklaufkohle	Variante 2 PAK-Dosierung in Filterüberstau	Variante 3 Nachgeschaltete Filtration über granulierte Aktivkohle	Variante 4 Ozonung	Variante 5 Ozonung + Schönungs- teich
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • höhere Klärschlamm-mengen (< Variante 2) 	<ul style="list-style-type: none"> • höhere Klärschlamm-mengen (> Variante 1) • steigende Rückbelas-tung (Filterspülung) • höhere Feststoffbeladung Filtration (Problem Flockenabtrieb NK) • zusätzliche Belastung der bestehenden Stufe (Filtration) 	<ul style="list-style-type: none"> • GAK Austausch 	<ul style="list-style-type: none"> • Reaktionsmechanis-men und -produkte sind teilweise unbekannt, • Wartung erfordert geschultes Personal oder externes Personal, • hohe Sicherheitsanfor-derungen an den Arbeitsschutz, da Ozon toxisch ist und als Reizstoff wirkt • hoher Energiebedarf 	<ul style="list-style-type: none"> • Reaktionsmechanis-men und -produkte sind teilweise unbekannt, • Wartung erfordert geschultes Personal oder externes Personal, • hohe Sicherheitsanfor-derungen an den Arbeitsschutz, da Ozon toxisch ist und als Reizstoff wirkt

4 Kosten

Tabelle 1: Jahreskosten für die Varianten 1 bis 5

Pos.-Nr	Text		Variante 1 PAK m. Rücklaufk.	Variante 2 PAK-Dosierung	Variante 3 GAK-Filtration	Variante 4 Ozonung	Variante 5 Ozonung + Teich
A	Kapitalgebundene Kosten	EUR/a	333.430,46	183.227,02	357.013,77	283.893,63	302.759,83
B	Betriebsgebundene Kosten	EUR/a	125.352,70	90.177,17	118.882,21	103.686,51	106.818,81
C	Verbrauchsgebundene Kosten	EUR/a	160.759,95	286.550,37	337.936,84	190.827,85	151.565,05
Summe Jahreskosten, netto		EUR/a	619.543,10	559.954,56	813.832,81	578.408,00	561.143,69
Mehrwertsteuer: 19%		EUR/a	117.713,19	106.391,37	154.628,23	109.897,52	106.617,30
Summe Jahreskosten, brutto		EUR/a	737.256,29	666.345,93	968.461,04	688.305,52	667.760,99
Anteil			111%	100%	145%	103%	100%

Teilstrommenge (%)		m³/a	5.569.952				
spez. Kosten, netto	EUR/m³	0,11123	0,10053	0,14611	0,10384	0,10074	
spez. Kosten, brutto	EUR/m³	0,13236	0,11963	0,17387	0,12357	0,11989	

Die günstigsten Jahreskosten wurden für die Varianten 2 (PAK-Dosierung in Überstau) und 5 (Ozonung + Schönungsteich) mit ca. 666.000 bzw. 668.000 EUR/a, brutto ermittelt. Variante 4 (Ozon) liegt mit 688.000 EUR/a, brutto auf einem vergleichbaren Niveau. Für Variante 1 (PAK mit Rücklaufkohlen) wurden Jahreskosten in Höhe von rund 737.000 EUR/a, brutto ermittelt. Variante 3 (GAK-Filtration) weist mit 968.000 EUR/a, brutto die höchsten Jahreskosten auf. Die errechneten spezifischen Behandlungskosten beziehen sich auf das im Teilstrom behandelte Abwasservolumen.

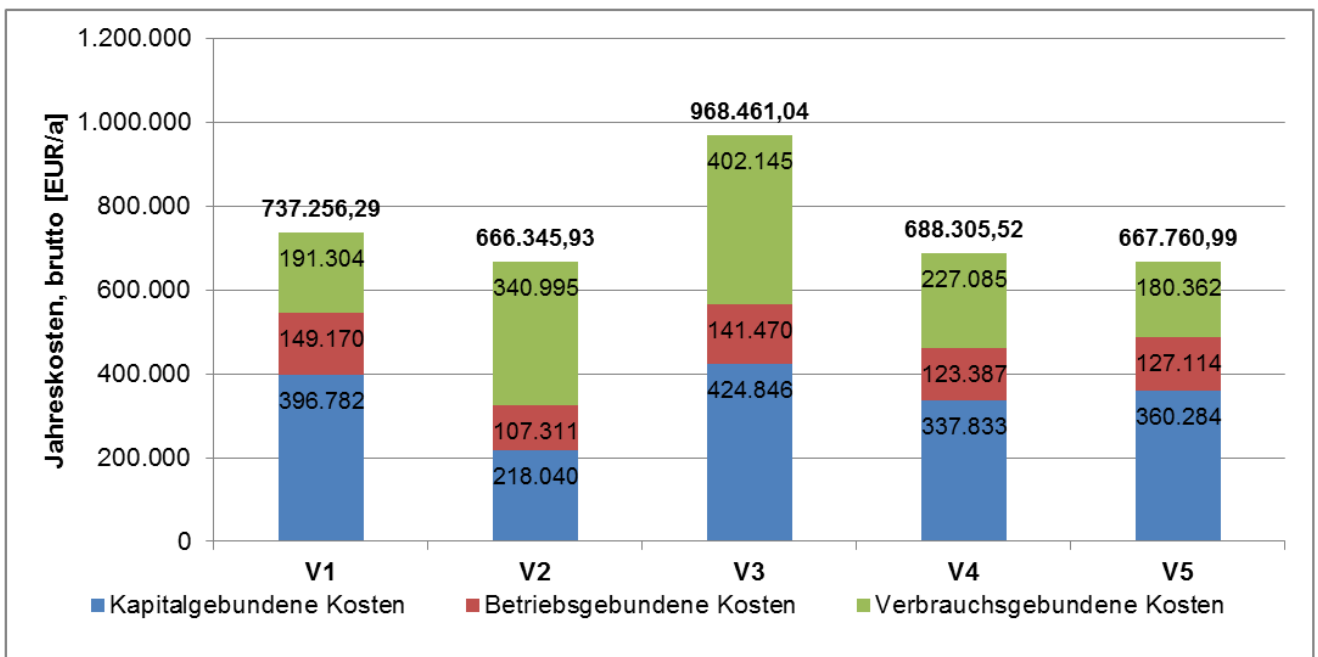


Bild 12: Anteile kapital-, betriebs- und verbrauchsgebundene Kosten an den Jahreskosten der Varianten

Aus der im Bild 12 dargestellten Aufteilung der Jahreskosten ist erkennbar, dass Variante 3 den höchsten Anteil an verbrauchsgebundenen wie auch an kapitalgebundenen Kosten aufweist. In beiden anderen Kostengruppen liegen die Varianten dichter beisammen.

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 5

Kriterium	Wichtung	Variante 1 PAK m. Rücklauf.		Variante 2 PAK-Dosierung		Wertung Variante 3 GAK-Filtration		Variante 4 Ozonung		Variante 5 Ozonung + Teich	
		Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet
Jahreskosten	0,40	3	1,20	4	1,60	2	0,80	4	1,60	4	1,60
Reinigungsleistung P _{ges} /CSB (zusätz. Reduk.)	0,16	5	0,80	4	0,64	4	0,64	3	0,48	3	0,48
Bildung Nebenprodukte	0,06	5	0,30	5	0,30	5	0,30	4	0,24	4	0,24
Erfahrungen/Referenzen	0,06	5	0,30	3	0,18	4	0,24	4	0,24	4	0,24
Betriebs- und Wartungsaufwand	0,06	3	0,18	3	0,18	5	0,30	4	0,24	3	0,18
Betriebssicherheit	0,06	4	0,24	1	0,06	5	0,30	4	0,24	4	0,24
Sensitivität Kostensteigerungen	0,14	4	0,56	3	0,42	2	0,28	3	0,42	4	0,56
CO ₂ -Bilanz	0,06	4	0,24	3	0,18	2	0,12	4	0,24	5	0,30
Summe	1,00	33	3,82	26	(3,56)	29	2,98	30	3,70	31	3,84
Kommentar				Ungenügende Betriebssicherheit führt zur Ablehnung des Verfahrens							
Rangfolge		1		keine Einstufung		4		3		1	

Wertung nach Punkten
(steigende Punkte → bessere Wertung)

1 = ungenügend
5 = sehr gut

Die ungenügende Betriebssicherheit bei V2 führt zur Ablehnung dieser Variante (keine Einstufung). In der **Summe** schneiden Variante 1 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung) mit 3,82 Punkten und Variante 5 (Ozonung + Schönungsteich) mit 3,84 Punkten am besten ab. Gefolgt von Variante 4 (Ozonung) mit 3,70 Punkten. Variante 3 (GAK-Filtration) liegt mit 2,98 Punkten auf dem letzten Rang.

6 Zusammenfassung

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

- Variante 1: Pulverkohledosierung mit Rücklaufkohle,
- Variante 2: Pulverkohledosierung,
- Variante 3: Nachgeschaltete GAK-Filtration,
- Variante 4: Ozonung,
- Variante 5: Ozonung mit nachgeschaltetem Schönungsteich.

Die ausgewählten Varianten wurden auf ihre Umsetzbarkeit geprüft. Hierbei zeigte sich, dass die in Variante 2 (PAK-Dosierung in den Überstau der Filter) vorgesehene zusätzliche Abtrennung der Pulveraktivkohle, in manchen Belastungssituationen im derzeit schon stark beaufschlagten Filter, zu einer Überschreitung der empfohlenen Maximalbelastung des Filters mit abfiltrierbaren Stoffen führen kann. Das Verfahren wurde damit für die KA Borken als ungeeignet eingestuft.

Alle fünf Varianten wurden im Fließbild dargestellt. Für die V1, sowie V3-V5 wurden Lageplanausschnitte erstellt. Basierend auf den Abschätzungen der Betriebs- und Investitionskosten wurden für diese Varianten 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 5 (Ozonung + Schönungsteich) mit 3,84 Punkten. Variante 1 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle) kommt auf den zweiten Platz mit 3,82 Punkten. Die Variante 4 (Ozonung) liegt mit 3,7 Punkten auf dem dritten Platz. Variante 3 (GAK-Filtration) erhält die niedrigste Bewertung mit 2,98 Punkten.

Die geringsten Jahreskosten fallen bei den Varianten 2 (PAK-Dosierung in den Filterüberstau) mit 666.000 EUR, brutto und 5 (Ozonung + Schönungsteich) mit ca. 668.000 EUR, brutto an. Variante 4 (Ozonung) folgt mit 688.000 EUR, brutto. Bei Variante 1 (PAK mit Rücklaufkohle) ergeben sich Jahreskosten in Höhe von 737.000 EUR, brutto. Die Variante 3 (GAK-Filtration) weist mit 969.000 EUR, brutto deutlich höhere Jahreskosten auf.

Mit Ausnahme der Variante 2 (PAK-Dosierung in den Überstau) steht aufgrund der bestehenden Flächensituation nur der bestehende Teich auf dem Anlagengelände als Bauplatz zur Verfügung. Dieser muss dazu in einem Teilbereich angeschüttet werden. In den Investitionskosten ist bei allen Varianten die Anfüllung (außer bei V2) berücksichtigt. Die Rohrleitungsführung zur Anbindung der 4. Reinigungsstufe an den Bestand ist bei allen Varianten aufgrund der Kreuzung der vorhandenen Rohrleitungstrassen aufwendig.

Variante 1 (PAK mit Rücklaufkohle) lag in der Bewertungsmatrix zusammen mit Variante 5 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). Im Hinblick auf die Reduzierung weiterer Abwasserparameter hat es im Vergleich zu den anderen Verfahren die größte Wirkung. Die Ozonung mit nachgeschaltetem Schönungsteich (Variante 5) lag ebenfalls auf dem ersten Platz. Die Jahreskosten dieses Verfahrens sind stark von der angewandten Ozondosis abhängig. In der Berechnung wurde derzeit von einer gegenüber V4 niedrigen Dosis ausgegangen. Sollte sich diese Annahme bestätigen oder noch geringere Dosen möglich sein, so wird dieses Verfahren wirtschaftlich interessanter. Weitere Forschungsergebnisse hinsichtlich der Bildung von Transferprodukten sollten in die Entscheidungsfindung einfließen.

Die Ozonung (Variante 4) ist auf dem dritten Rang. Für dieses Verfahren spricht die hohe Betriebssicherheit. Die höhere Ozondosis als bei V5 führt zu den etwas höheren verbrauchsgebundenen Kosten. Diese Variante ist gegenüber Steigerungen des Strompreises sehr anfällig.

Die GAK-Filtration (Variante 3) ist aufgrund der hohen verbrauchsgebundenen Kosten und die hohe Empfindlichkeit gegenüber Kostensteigerungen auf dem vierten Rang. Für dieses Verfahren spricht analog zu Variante 4 die hohe Betriebssicherheit. Die relativ geringe prognostizierte Standzeit der Aktivkohle im Filter führt in diesem Fall zu den hohen Verbrauchskosten. Der Energiebedarf von Variante 3 ist von allen Variante am geringsten.

Die TUTTAHS & MEYER Ing.-GmbH empfiehlt für weitere Untersuchungen auf der Kläranlage Borken Variante 1 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung) und Variante 5 (Ozonung + Schönungsteich) zu berücksichtigen.