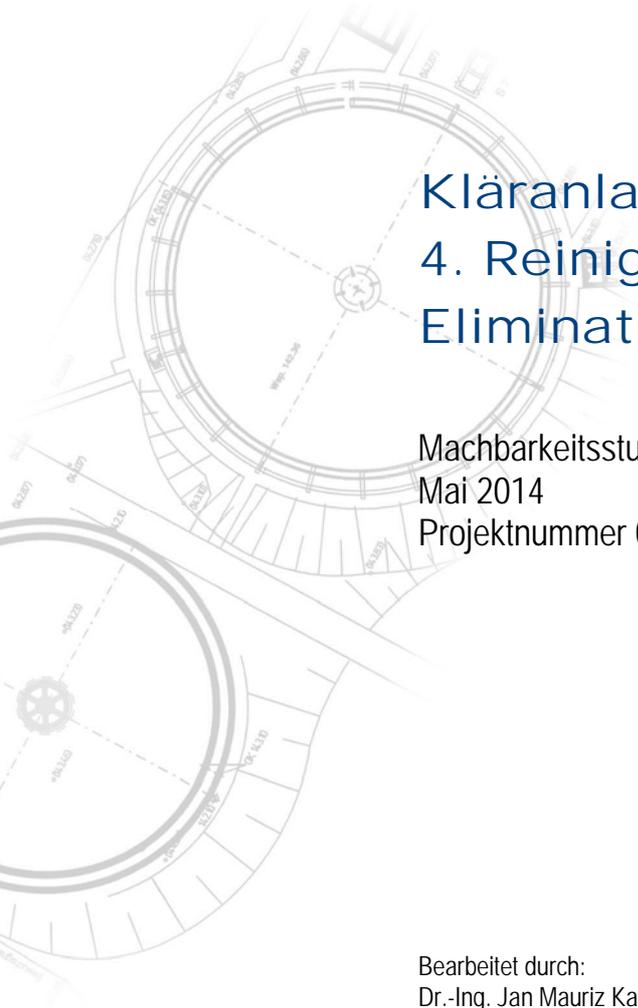


Kläranlage Wesel

4. Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroschadstoffen

Machbarkeitsstudie - Kurzbericht
Mai 2014
Projektnummer 0675 009





Kläranlage Wesel 4. Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroschadstoffen

Machbarkeitsstudie - Kurzbericht
Mai 2014
Projektnummer 0675 009

Bearbeitet durch:
Dr.-Ing. Jan Mauriz Kaub

Aufgestellt:
Bochum, im Mai 2014

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Veranlassung und Aufgabenstellung..... | 2 |
| 2 | Anlagenbestand | 2 |
| 3 | Darstellung der untersuchten Verfahrenskombinationen..... | 3 |
| 3.1 | Beschickungsmenge | 3 |
| 3.2 | Verfahrensfestlegung | 4 |
| 3.3 | Varianten..... | 4 |
| 3.3.1 | Variante 1: PAK mit Rücklaufkohle | 4 |
| 3.3.1.1 | Allgemein | 4 |
| 3.3.1.2 | Ausführung..... | 5 |
| 3.3.2 | Variante 2: Filtration über granulierte Aktivkohle | 6 |
| 3.3.2.1 | Allgemeines..... | 6 |
| 3.3.2.2 | Ausführung..... | 7 |
| 3.3.3 | Variante 3: Ozonung mit nachgeschaltetem Sandfilter | 8 |
| 3.3.3.1 | Allgemeines..... | 8 |
| 3.3.3.2 | Ausführung..... | 9 |
| 3.3.4 | Variante 4: Ozonung mit nachgeschaltetem biologisch aktiviertem Aktivkohlefilter..... | 10 |
| 3.3.4.1 | Allgemeines..... | 10 |
| 3.3.4.2 | Ausführung..... | 11 |
| 3.4 | Ergebnisübersicht Varianten | 13 |
| 4 | Kosten | 15 |
| 5 | Bewertung..... | 16 |
| 6 | Zusammenfassung und Empfehlung | 16 |

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 Liste der prioritären Stoffe nach der Wasser-Rahmenrichtlinie vom November 2012 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 Stadtwerke Wesel haben die TUTTAHS & MEYER Ing.-GmbH beauftragt, für die Kläranlage Wesel eine solche Studie auszuarbeiten.

Mit der Studie soll eine Entscheidungsgrundlage geschaffen werden, um die Auswahl eines möglichen Verfahrens durch die Stadtwerke Wesel 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 vier Verfahrenskombinationen;
- Darstellung der Varianten im Lageplan und im Verfahrensfießbild (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

Die Kläranlage Wesel weist eine Ausbaugröße von 98.000 EW auf. Der Vorfluter der Anlage ist der Rhein. Die Anlage gliedert sich in eine mechanische und eine biologische Reinigungsstufe. Der anfallende Schlamm wird anaerob in einer mesophilen Faulung stabilisiert. Der entwässerte Schlamm aus der Schlammbehandlung wird thermisch verwertet.

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 Wesel eine Kapazität zur Behandlung von 2.000 m³/h vorgehalten werden. Die Auswertung der Abwassermengen zeigt jedoch deutlich, dass bereits Abwassermengen > 1.550 m³/h an weniger als 400 h überschritten werden.

Bild 15 stellt den Anteil der behandelten Abwassermenge [% der gesamten Abwassermenge] in Abhängigkeit des Bemessungszuflusses der Verfahrensstufe zur Spurenstoffelimination dar. Wenn die Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination auf 1.000 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 bei einer Behandlung von 90 % der Jahresabwassermenge im Vergleich zur Vollstrombehandlung um 50 % kleiner ausgeführt werden. Im Verhältnis der erreichbaren Wirkungsgrade von 79 % oder 85 % wird die Teilstrombehandlung mit einem Volumenstrom von 1.000 m³/h als geeignet betrachtet.

Bei einem Teilstrom von maximal 1.000 m³/h wird eine Abwassermenge von **5.269.025 m³/a** in der 4. Reinigungsstufe behandelt (Eigene Auswertung Stundenwerte 08/2012 bis 07/2013).

Um einen zukünftigen Zuwachs im Einzugsgebiet der Kläranlage zu berücksichtigen, wurde die 4. Reinigungsstufe auf einem 20 % größeren Volumenstrom ausgelegt. Für die Bemessung und Auslegung der Stufe wird ein Volumenstrom von **1.200 m³/h** angesetzt. Für die Berechnung der Betriebskosten wird die oben schon dargestellte Jahresmenge von 5.269.025 m³/a, die auf einem Teilstrom von maximal 1.000 m³/h beruht, genutzt.

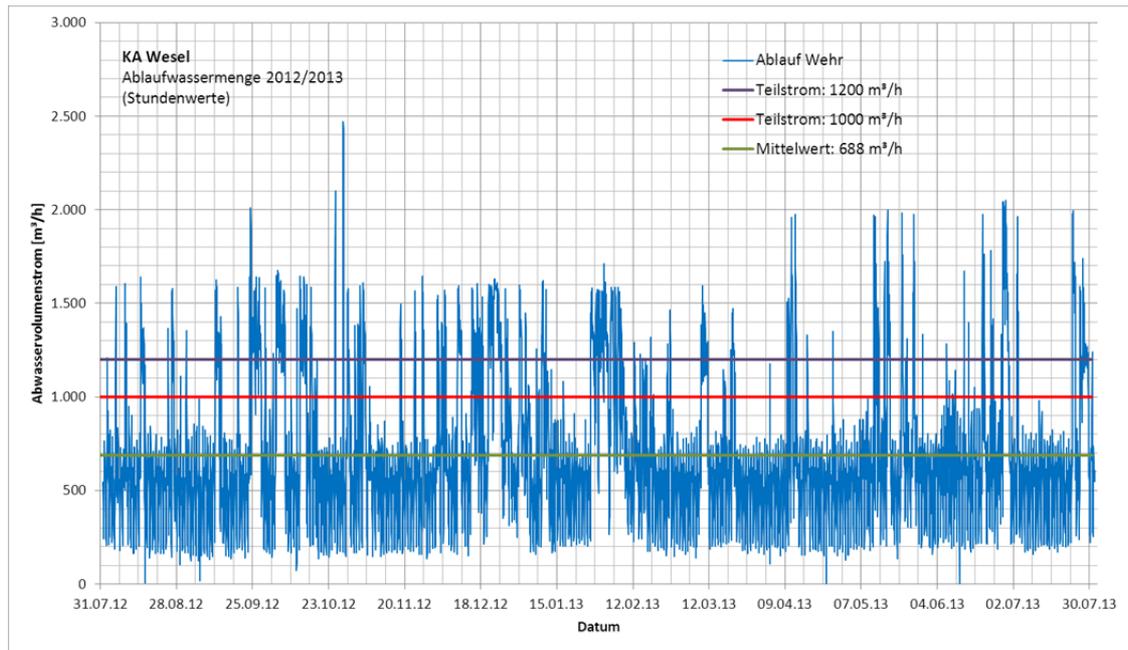


Bild 1: Behandelte Abwassermenge in Abhängigkeit des Bemessungszuflusses der Verfahrensstufe zur Spurenstoffelimination

3.2 Verfahrensfestlegung

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie werden die folgenden vier Verfahrenskombinationen untersucht:

1. **Pulverkohle mit Rücklaufkohleführung.** Abtrennung der PAK in einem Absetzbecken und in der nachgeschalteten Tuchfiltration.
2. **Filtration über granulierte Aktivkohle.** Festbettadsorber werden der bestehenden Anlage nachgeschaltet.
3. **Ozonung mit Sandfilter.** Ablauf der Nachklärung wird mit Ozon behandelt und anschließend über einen kontinuierlichen Sandfilter als biologisch aktive Stufe geführt.
4. **Ozonung mit biologisch aktiviertem Aktivkohlefilter.** Ablauf der Nachklärung wird mit Ozon behandelt und anschließend durch einen Festbettadsorber geleitet, der als biologisch aktive Stufe fungiert.

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 zurückgeführt. Entsprechend der Frischkohledosierung wird ein Teil der rück-

geführten Kohle als Überschussschleim aus dem System entnommen. Besonderer Vorteil dieses Verfahrens ist, dass die Pulverkohle mehrfach mit dem Abwasser in Kontakt kommt, um die Beladungskapazität möglichst gut auszunutzen zu können.

Für die Kläranlage Wesel würde dies bedeuten, dass ein Kontakt- und ein Absetzbecken sowie eine Filtration gebaut werden müssen. Weiterhin ist ein Silo einschließlich der Dosiertechnik für die Pulveraktivkohle notwendig. Für die Dosierung des ME-Salzes (Fe(III)-Chlorid) als Flockungsmittel ist die Erweiterung der bestehenden Dosieranlage am Zwischenpumpwerk notwendig.

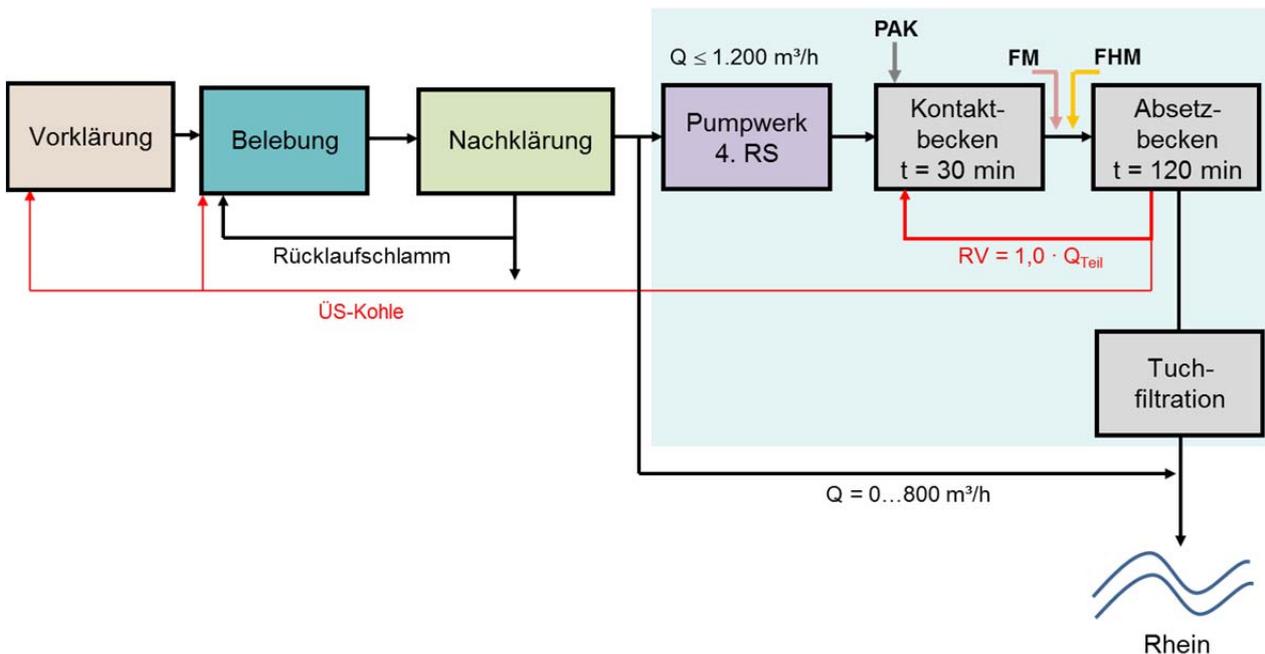


Bild 2: Blockschema Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle

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 1.200 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

Die Variante ist zweistraßig aufgebaut. In jeder Beckenhälfte ist eine Straße, bestehend aus Kontakt- und Absetzbecken sowie Filtration, untergebracht. Des Weiteren sind im Baufeld des bestehenden Spitzenausgleichsbeckens noch das Beschickungspumpwerk, das PAK-Silo mit Dosiereinrichtung sowie die Bereitungsanlage für das Flockungshilfsmittel untergebracht.

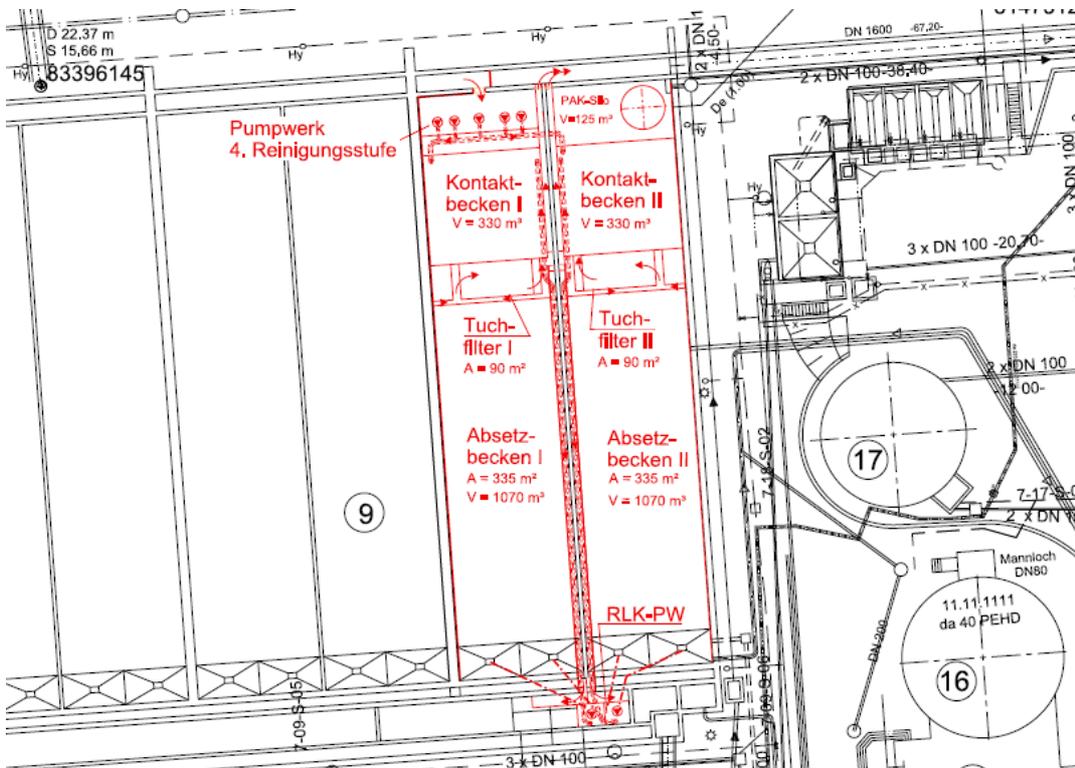


Bild 3: Lageplanausschnitt Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle

3.3.2 Variante 2: Filtration über granulierte Aktivkohle

3.3.2.1 Allgemeines

Der ausgewählte Teilstrom (Ablauf Nachklärung) von maximal 1.200 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: | 6 Stück |
| Betthöhe GAK: | 2,5 m |
| Leerbettkontaktzeit (EBCT): | 30 min |
| Filterfläche gesamt: | 240 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 ein Bauwerk im bestehenden Becken realisiert werden kann.

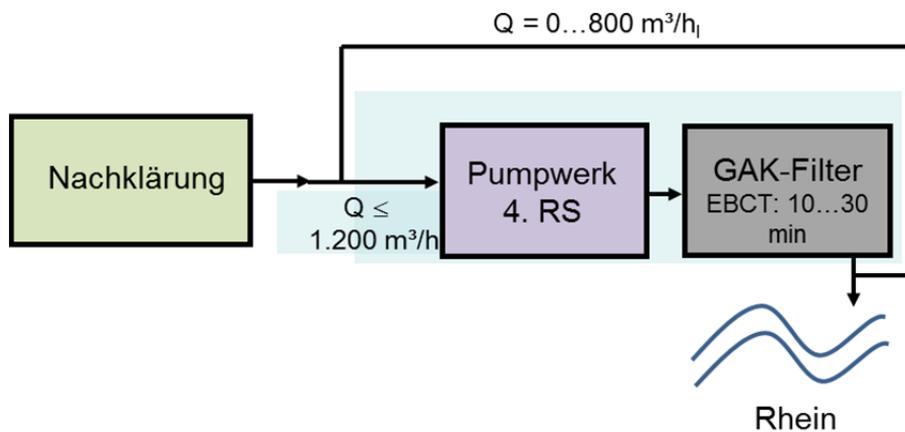


Bild 4: Blockschema Variante 2: GAK-Filtration

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: 25...35 m/h

Spülwassergeschwindigkeit: 60...80 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

Ein Filterblock mit sechs Filterkammern, der die komplette Breite des bestehenden Doppelbeckens einnimmt, wird in das Spitzenausgleichsbecken eingesetzt. Im hinteren Bereich sind das Pumpwerk sowie der Spülabwasserspeicher und der Spülwasserspeicher mit der Verbindung zum Ablaufgerinne untergebracht. Der Bereich des Beckens vor dem Filterblock wird für die 4. Reinigungsstufe nicht benötigt und wird verfüllt.

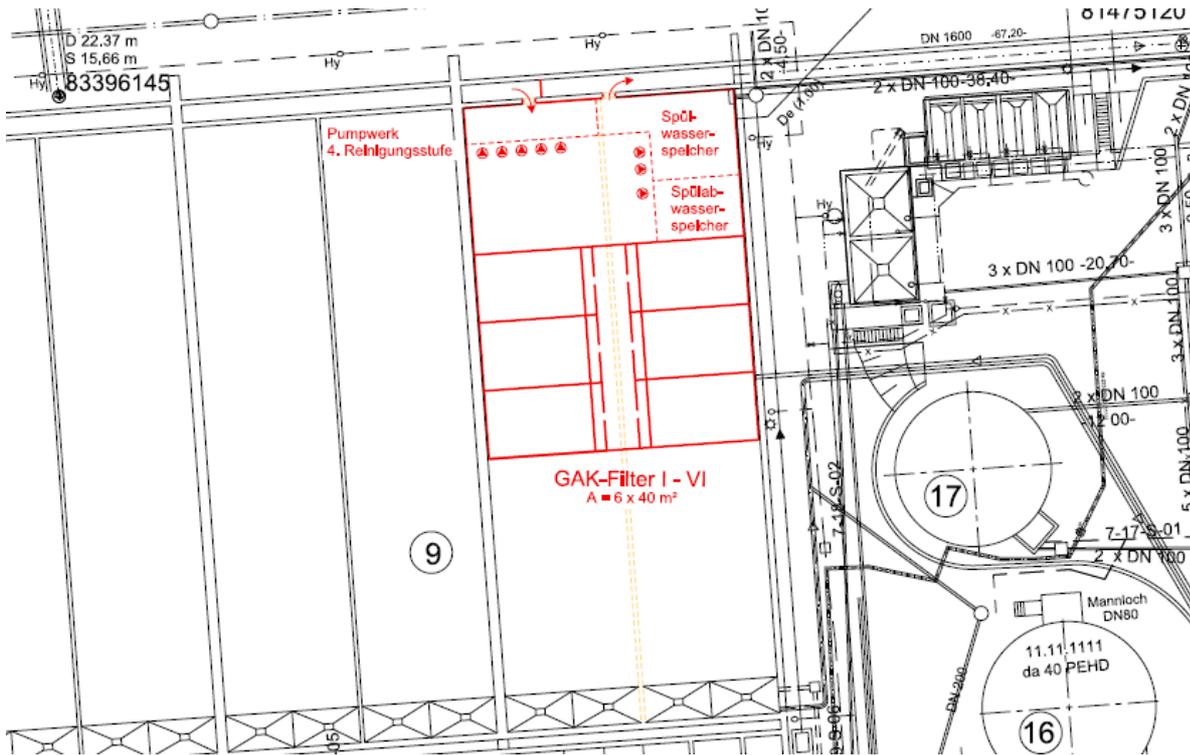


Bild 5: Lageplanausschnitt Variante 2: GAK-Filtration

3.3.3 Variante 3: Ozonung mit nachgeschaltetem Sandfilter

3.3.3.1 Allgemeines

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

Zu berücksichtigen ist, dass durch den Einsatz von Ozon Oxidationsprodukte gebildet werden können, die toxisch sind. Daher wird empfohlen, eine biologisch arbeitende Stufe der Ozonung nachzuschalten. Dies kann eine Filtration sein, wie 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. Im konkreten Fall wird der Ozonung ein kontinuierlich gespülter Sandfilter nachgeschaltet.

Die Ozonung wird anhand folgender Bemessungsparameter ausgelegt:

| | |
|-----------------------------------|-------------------------|
| Ozondosis: | 2...10 g/m ³ |
| Kontaktzeit im Reaktionsbehälter: | 10...30 min |

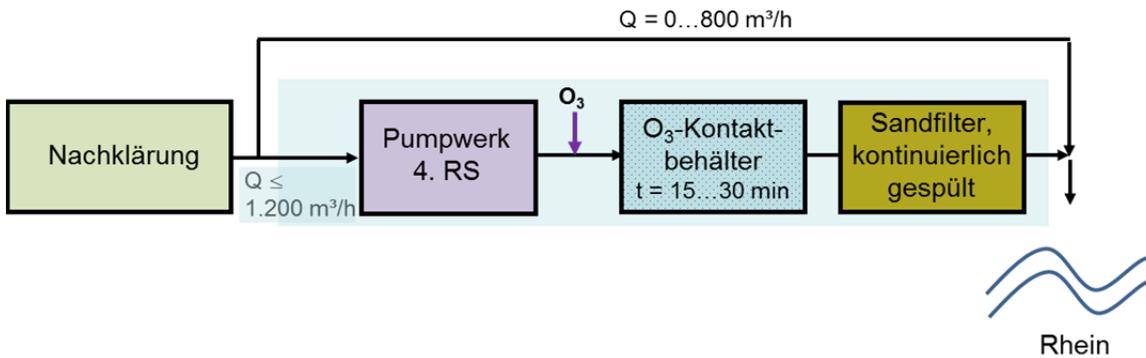


Bild 6: Blockschema Variante 3: Ozonung mit nachgeschaltetem Filter

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 24,3 mg/l (Betriebsdaten 2012) angesetzt werden. 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 8,1 mg/l. Die großtechnischen Versuche in Regensburg (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:

$$c_{O_3,a} = 8,1 \text{ mg DOC / l} \cdot 0,62 \text{ mg O}_3/\text{mg DOC} = 5,02 \text{ mg O}_3/\text{l}$$

Um eine gewisse Sicherheit gegenüber weiteren Einflüssen zu berücksichtigen wird in der weiteren Auslegung eine mittleren Ozondosis angesetzt von:

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

3.3.3.2 Ausführung

Die gesamte Stufe wird in der linken Beckenhälfte des Spitzenausgleichsbeckens untergebracht. So kann die rechte Seite bei Bedarf wieder als Ausgleichsbecken genutzt werden.

Die Anlagenteile gliedern sich von hinten (Ablaufseite) nach vorne in Pumpwerk, Sandfilter, Ozon-Kontaktbecken sowie Ozonanlage und Flüssig-Sauerstofftankanlage im aufgefüllten vorderen Beckenbereich.

Die Ozonung mit Ozonerzeuger und Kontaktbecken ist zweistraßig ausgeführt. Bei geringem Durchfluss (z. B. in der Nacht) kann eine Straße außer Betrieb genommen werden.

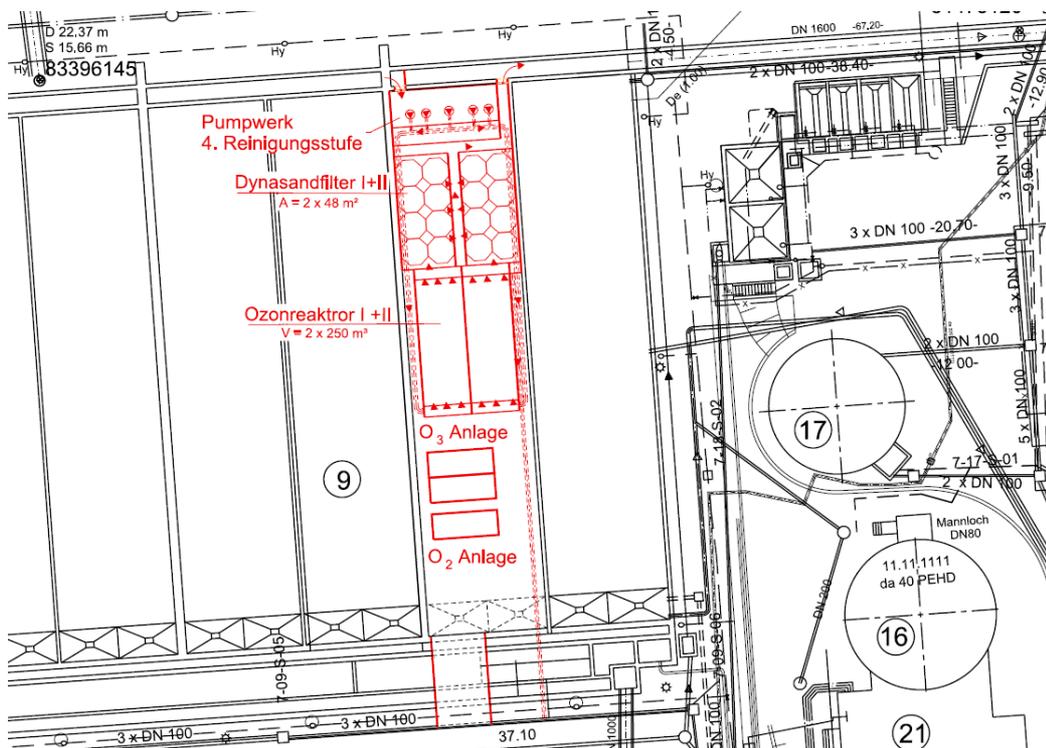


Bild 7: Lageplanausschnitt Variante 3: Ozonung mit nachgeschaltetem Sandfilter

3.3.4 Variante 4: Ozonung mit nachgeschaltetem biologisch aktiviertem Aktivkohlefilter

3.3.4.1 Allgemeines

Dieses Verfahren ist eine Kombination der Varianten 2 (GAK-Filtration) und 3 (Ozonung). Das Abwasser wird zunächst mit Ozon behandelt und anschließend über einen Aktivkohlefilter geführt. Im Unterschied zur reinen GAK-Filtration verbleibt das Filtermaterial sehr lange im Filter. In der Berechnung wird von einer Standzeit von 5 a ausgegangen. Ziel ist es, dass im Filter neben der Adsorption vor allem ein biologischer Abbau stattfindet. Neben den Spurenstoffen sollen auch biologisch abbaubare Rest-Organika (BDOC) hier eliminiert werden. In der Trinkwasseraufbereitung findet dieses Verfahrenskonzept seit den 1970er-Jahren schon Anwendung. In diesem Zusammenhang wird von einem biologisch aktivierten Aktivkohlefilter (BAK) gesprochen.

Im nachfolgenden Blockschema ist das Verfahren dargestellt:

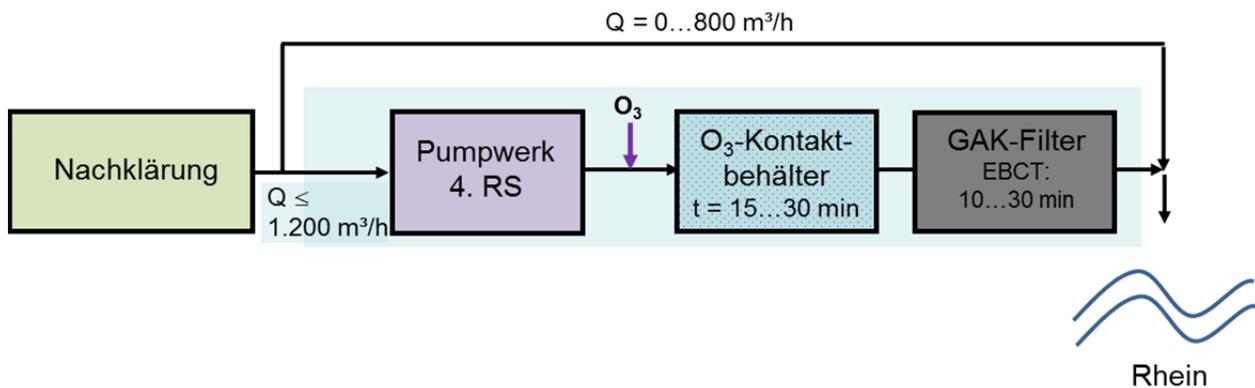


Bild 8: Blockschema Variante 4: Ozonung mit BAK

Die Auslegung der Ozonung und der Kontaktbehälter folgt Variante 3.

Die mittlere Ozondosis wurde analog zur Variante 3 gewählt. Es ist davon auszugehen, dass hier noch eine deutliche Optimierung erfolgen kann. Jedoch liegen hierzu noch keine belastbaren Ergebnisse vor.

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

Die GAK-Filtration entspricht in ihrer Auslegung der Variante 2:

3.3.4.2 Ausführung

Die Ausführung entspricht der Variante 2 (GAK-Filtration); jedoch werden zwischen dem Filterblock und dem Aggregate-Raum die beiden Kontaktbehälter für die Ozonung platziert. Die Ozonanlage wird über dem Aggregate-Raum platziert.

Die Ozonung mit Ozonerzeuger und Kontaktbecken ist wieder zweistraßig ausgeführt. Bei geringem Durchfluss (z. B. in der Nacht) kann eine Straße außer Betrieb genommen werden.

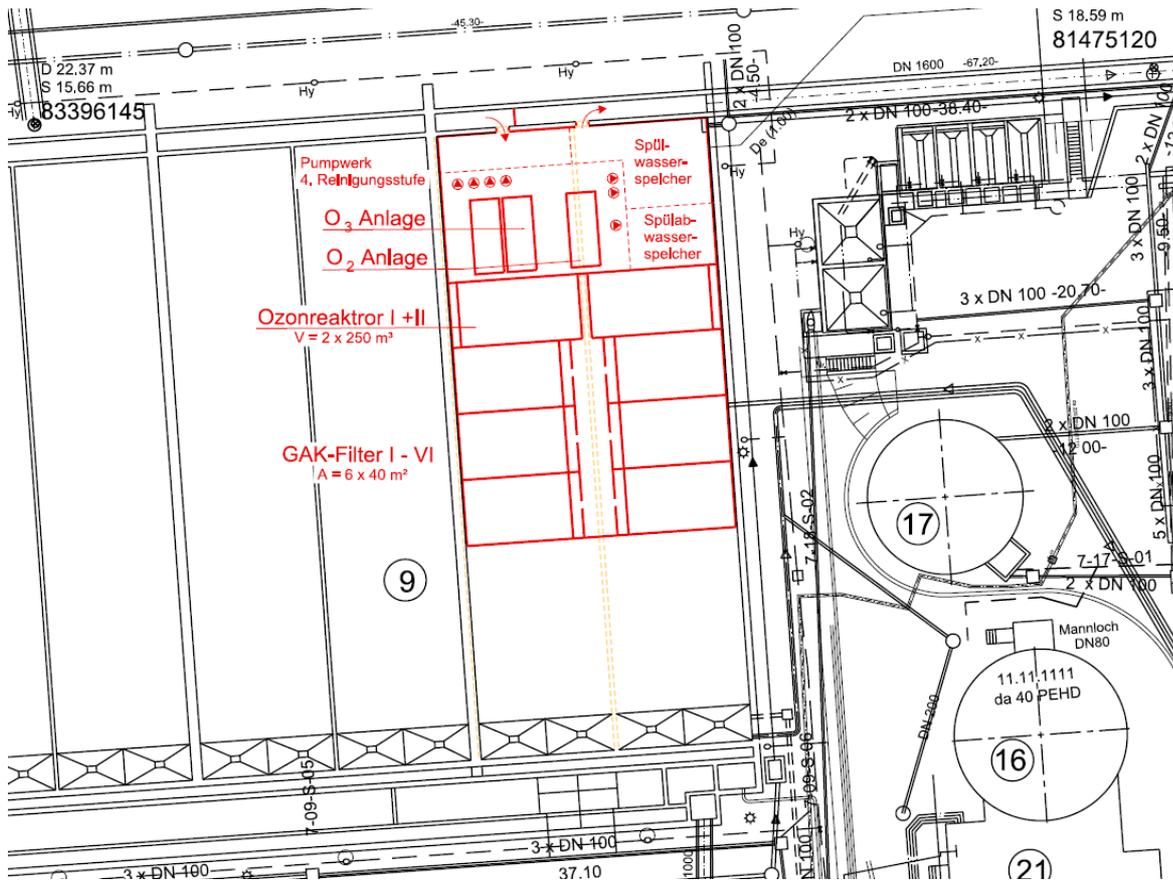


Bild 9: Lageplanausschnitt Variante 4: Ozonung mit nachgeschaltetem BAK-Filter

3.4 Ergebnisübersicht Varianten

| | Variante 1 | Variante 2 | Variante 3 | Variante 4 |
|--------------------|--|---|--|---|
| | Pulverkohle mit Rücklaufkohle | GAK-Filtration | Ozon mit nachges. Filtration | Ozonung + BAK-Filtration |
| Anlagenkomponenten | | | | |
| | <p>PW 4. RS $Q = 1.200 \text{ m}^3/\text{h}$</p> <p>Kontaktbecken (2-straßig): 1 Stück je Straße: $t_A = 30 \text{ min}$, jeweils 330 m^3</p> <p>Absetzbecken(2-straßig): 1 Stück je Straße: $l_i=32,5 \text{ m}$ $b_i=10,3 \text{ m}$ $h_{Rand}=3,2 \text{ m}$; $A_{ges} = 670 \text{ m}^2$, $V_{ges} = 2.144 \text{ m}^3$</p> <p>Tuchfiltration (2-straßig): 1 Stück je Straße: $A_{F,ges} = 180 \text{ m}^2$</p> <p>PAK-Silo: $V = 125 \text{ m}^3$</p> <p>Flockungsmittel Flockungshilfsmitteldosierung</p> | <p>PW 4. RS $Q = 1.200 \text{ m}^3/\text{h}$</p> <p>GAK-Filtration: 6 Filter, $B \times L = 5,0 \times 8,0 \text{ m}$ $A = 240 \text{ m}^2$, $H_{FB} = 2,5 \text{ m}$, $V = 600 \text{ m}^3$</p> | <p>PW 4. RS $Q = 1.200 \text{ m}^3/\text{h}$</p> <p>Flüssigsauerstoff: Tankanlage und Verdampfer</p> <p>Ozonerzeuger: $12 \text{ kg O}_3/\text{h}$</p> <p>Reaktionsbehälter: 2 Straßen, je $L = 11,0$; $B = 3,8 \text{ m}$; $V = 251 \text{ m}^3$</p> <p>Sand-Filtration (kont. gespült): 2 Straßen je 8 Filter mit $A_F = 6 \text{ m}^2$ $A_{F,ges} = 96 \text{ m}^2$</p> | <p>PW 4. RS $Q = 1.200 \text{ m}^3/\text{h}$</p> <p>Flüssigsauerstoff: Tankanlage und Verdampfer</p> <p>Ozonerzeuger: $12 \text{ kg O}_3/\text{h}$</p> <p>Reaktionsbehälter: 2 Straßen, je $L = 11,0$; $B = 3,8 \text{ m}$; $V = 251 \text{ m}^3$</p> <p>GAK-Filtration: 6 Filter, $B \times L = 5,0 \times 8,0 \text{ m}$ $A = 240 \text{ m}^2$, $H_{FB} = 2,5 \text{ m}$, $V = 600 \text{ m}^3$</p> |

| | Variante 1 Pulverkohle mit Rücklaufkohle | Variante 2 GAK-Filtration | Variante 3 Ozon mit nachges. Filtration | Variante 4 Ozonung + BAK-Filtration |
|------------------|--|---|---|---|
| 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"> Sehr gut in Baufeld integrierbar Suspensarückhalt durch Filtration Optimierungspotential bei Ozondosis zu erwarten | <ul style="list-style-type: none"> Komplexe Wirkung → Forschungsbedarf Suspensarückhalt durch Filtration minimierte Bildung von Reaktionsprodukten biologische Mitwirkung im GAK-Filter → biologisch aktivierter GAK-Filter = BAK Optimierungspotenzial bei Ozondosis gegenüber V3 möglich |
| Nachteile | <ul style="list-style-type: none"> höherer Schlammanfall als bei den anderen Varianten betreuungsintensiv, da Dosierung von PAK, FHM und FM | <ul style="list-style-type: none"> GAK-Austausch Hoher Kohlebedarf im 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 | <ul style="list-style-type: none"> derzeit noch keine breite Referenzbasis vorhanden Investitionskosten hoch, da Bau von 2 Stufen (Ozonung + GAK-Filtration) |

4 Kosten

Tabelle 1: Jahreskosten und spezifische Kosten für die Varianten 1 bis 4

| Pos.-Nr | Text | | Variante 1 PAK m. Rücklaufk. | Variante 2 GAK-Filtration | Variante 3 Ozonung + SF | Variante 4 Ozonung + BAK |
|-----------------------------------|----------------------------|--------------|---------------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| A | Kapitalgebundene Kosten | EUR/a | 262.010,58 | 209.437,16 | 226.371,44 | 337.476,56 |
| B | Betriebsgebundene Kosten | EUR/a | 134.651,16 | 112.068,33 | 122.732,74 | 158.984,96 |
| C | Verbrauchsgebundene Kosten | EUR/a | 171.324,32 | 384.819,22 | 200.315,99 | 227.864,06 |
| Summe Jahreskosten, netto | | EUR/a | 567.986,07 | 706.324,72 | 549.420,18 | 724.325,58 |
| Mehrwertsteuer: 19% | | EUR/a | 107.917,35 | 134.201,70 | 104.389,83 | 137.621,86 |
| Summe Jahreskosten, brutto | | EUR/a | 675.903,42 | 840.526,41 | 653.810,01 | 861.947,44 |
| Anteil | | | 103% | 129% | 100% | 132% |

| | | |
|-----------------------------|-------------|------------------|
| Abwassermenge (100%) | m³/a | 5.848.275 |
| Teilstrommenge (90%) | m³/a | 5.269.026 |

| | | | | | |
|-----------------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| spez. Kosten, netto | EUR/m³ | 0,10780 | 0,13405 | 0,10427 | 0,13747 |
| spez. Kosten, brutto | EUR/m³ | 0,12828 | 0,15952 | 0,12409 | 0,16359 |

Die günstigsten Jahreskosten wurden für die Variante 1 (PAK) und Variante 3 (Ozonung mit Sandfilter) mit ca. 654.000 bis 676.000 EUR/a, brutto ermittelt. Die Varianten 2 (GAK-Filtration) und 4 (Ozonung mit BAK) liegen mit 833.000 EUR/a, brutto bzw. 852.000 EUR/a, brutto auf einem vergleichbaren Niveau.

Die errechneten spezifischen Behandlungskosten beziehen sich auf das im Teilstrom behandelte Abwasservolumen. Zusätzlich ist in der Tabelle neben dem Jahresteilstrom noch die Gesamtmenge (100 %) angegeben. Die Mengen beruhen auf der in **Kapitel 3.1** beschriebenen Auswertung der Mengenummessung im Ablauf der Kläranlage.

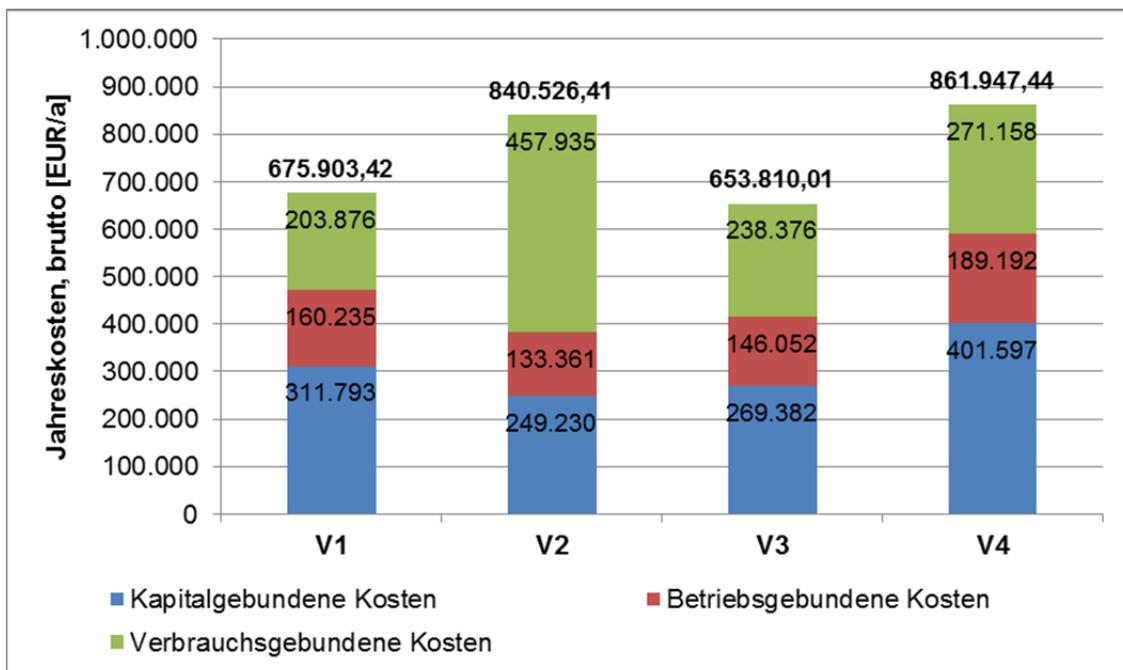


Bild 10: Anteile kapital-, betriebs- und verbrauchsgebundene Kosten an den Jahreskosten der Varianten

Aus der im **Bild 28** dargestellten Aufteilung der Jahreskosten ist erkennbar, dass Variante 2 den höchsten Anteil an verbrauchsgebundenen Kosten aufweist.

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 4

| Kriterium | Wichtung | Wertung | | | | | | | |
|---|-------------|-----------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------------|-------------|-------------------------|-------------|
| | | Variante 1 | | Variante 2 | | Variante 3 | | Variante 4 | |
| | | PAK m. Rücklaufk. Punkte | gewichtet | GAK-Filtration Punkte | gewichtet | Ozonung + Sandfilter Punkte | gewichtet | Ozonung + BAK Punkte | gewichtet |
| Jahreskosten | 0,40 | 4 | 1,6 | 2 | 0,8 | 4 | 1,6 | 2 | 0,8 |
| Reinigungsleistung P_{ges}/CSB (zusätz. Reduk.) | 0,16 | 5 | 0,8 | 4 | 0,64 | 3 | 0,48 | 4 | 0,64 |
| Bildung Nebenprodukte | 0,06 | 5 | 0,3 | 5 | 0,3 | 4 | 0,24 | 4 | 0,24 |
| Erfahrungen/Referenzen | 0,06 | 5 | 0,3 | 4 | 0,24 | 4 | 0,24 | 3 | 0,18 |
| Betriebs- und Wartungsaufwand | 0,06 | 3 | 0,18 | 5 | 0,3 | 4 | 0,24 | 4 | 0,24 |
| Betriebssicherheit | 0,06 | 4 | 0,24 | 5 | 0,3 | 4 | 0,24 | 4 | 0,24 |
| Sensitivität Kostensteigerungen | 0,14 | 3 | 0,42 | 2 | 0,28 | 3 | 0,42 | 3 | 0,42 |
| CO ₂ -Bilanz | 0,06 | 4 | 0,24 | 4 | 0,24 | 4 | 0,24 | 4 | 0,24 |
| Summe | 1,00 | 33 | 4,08 | 31 | 3,10 | 30 | 3,70 | 28 | 3,00 |

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

In der **Summe** schneidet Variante 1 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung) mit 4,08 Punkten am besten ab. Gefolgt von Variante 3 (Ozonung mit Sandfilter) mit 3,70 Punkten. Die Variante 2 (GAK-Filtration) und Variante 4 (Ozonung mit BAK-Filtration) liegen 3,08 Punkte bzw. 3,00 Punkte auf einem vergleichbaren Niveau.

6 Zusammenfassung und Empfehlung

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

Variante 1: Pulverkohledosierung mit Rücklaufkohle,

Variante 2: GAK-Filtration,

Variante 3: Ozonung mit Sandfilter,

Variante 4: Ozonung mit biologisch aktiviertem GAK-Filter (BAK).

Die ausgewählten Varianten wurden auf ihre Umsetzbarkeit geprüft und zeichnerisch in Lageplanausschnitten sowie in einem Fließbild dargestellt. Basierend auf den Abschätzungen der Betriebs- und Investitionskosten wurden die Jahreskosten ermittelt. Die Bewertung der einzelnen Varianten

erfolgte anhand einer Entscheidungsmatrix, in der neben den Jahreskosten noch weitere Kriterien berücksichtigt wurden. Maximal konnte eine Punktzahl von 5 Punkten erreicht werden.

Die höchste Punktzahl erreicht Variante 1 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle) mit 4,08 Punkten; die Ozonung mit Sandfilter (Variante 2) kommt auf den zweiten Platz, mit 3,70 Punkten. Die Varianten 3 (GAK-Filtration) und 4 (Ozonung mit BAK) liegen mit 3,10 bzw. 3,00 Punkten auf dem dritten bzw. vierten Platz.

Bei den Jahreskosten liegt Variante 3 (Ozonung + Sandfilter) mit 654.000 EUR/a, brutto vorn. Aufgrund der geringen verbrauchsgebundenen Kosten folgt Variante 1 (PAK-Dosierung) dicht mit 676.000 EUR/a, brutto. Die Varianten 2 (GAK-Filtration) und 4 (Ozon + BAK) liegen mit 841.000 EUR/a, brutto bzw. 862.000 EUR/a, brutto etwa auf einem vergleichbaren Niveau.

Alle Verfahren können gut auf der KA Wesel umgesetzt werden. Der zur Verfügung stehende Bauplatz im ehemaligen Spitzenausgleichsbecken ist ausreichend. Bei Variante 3 kann eine Beckenhälfte sogar als Ausgleichsbecken wieder hergerichtet werden. Durch den direkten Zugang vom Baufeld zum Ablauf der Kläranlage kann die 4. Reinigungsstufe ohne aufwendige Rohrleitungsführung an den Bestand angebunden werden. Bei allen Varianten ist eine Filtration vorgesehen, die auch im Teilstrom suspendiert gelöste Abwasserinhaltsstoffe reduziert. Damit ist eine leichte Erhöhung der Schlammmenge bei allen Verfahren zu erwarten.

Variante 1 (PAK mit Rücklaufkohle) lag in der Bewertungsmatrix auf dem ersten Rang. Sie stellt das derzeit verbreitetste Verfahren zur Spurenstoffelimination dar (in Baden-Württemberg derzeit sieben Anlagen in Betrieb, weitere in Planung und Bau). Das Verfahren nimmt den kompletten zur Verfügung stehenden Bauplatz auf der KA Wesel ein.

Neben der Pulverkohle wird in diesem Verfahren noch Flockungs- und Flockungshilfsmittel dosiert. Auf der einen Seite führt dies zu einem erhöhten Betriebsaufwand; auf der anderen Seite kann damit auch direkt auf eine Veränderung der Rohwasserbeschaffenheit bzw. der Ablaufziele reagiert werden. Die Erfahrungen aus Baden-Württemberg zeigen, dass ein sehr sicherer Betrieb möglich ist. Durch die Rückführung der Aktivkohle ist eine sehr gute Nutzung der Adsorptionskapazität der Kohle gegeben. Dadurch reduziert sich insgesamt der benötigte Kohlebedarf. Das Verfahren reagiert damit auf Preisschwankungen bei der Aktivkohle weniger sensitiv.

Das Verfahren führt neben der Spurenstoffelimination noch zu einer deutlichen Reduzierung bei den Parametern CSB und P_{ges} . Gegenüber den anderen Verfahren ist der Einfluss hier höher zu bewerten.

Bei der PAK-Dosierung ist der zusätzliche Schlammanfall im Vergleich zu den anderen Verfahren erhöht. Der Schlamm enthält neben der Kohle noch Fällprodukte und Organik.

Der Energiebedarf liegt im Vergleich zu den Ozonverfahren auf einem unteren Niveau.

Die Ozonung mit 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 zeigen, dass diese reduziert werden kann, so wird dieses Verfahren wirtschaftlich interessant. Die weiteren Forschungsergebnisse hinsichtlich der Bildung von Transferprodukten sollten in die Entscheidungsfindung einfließen. Der Einsatz von Ozon bedingt einen hohen Energiebedarf auf der Kläranlage für die Erzeugung des Ozons. Damit reagieren die Ozonvarianten generell sensitiver auf Kostensteigerungen beim Strombezug.

Die GAK-Filtration (Variante 2) ist aufgrund der hohen verbrauchsgebundenen Kosten auf dem dritten Rang. Für dieses Verfahren spricht die hohe Betriebssicherheit. Die relativ geringe prognostizierte Standzeit der Aktivkohle im Filter führt zu den hohen Verbrauchskosten. Die GAK-Filtration ist gegenüber Kostensteigerungen bei den Verbrauchsmaterialien am anfälligsten. Der Energiebedarf liegt, wie auch bei Variante 1, auf einem niedrigen Niveau.

Die Kombination Ozonung mit biologisch aktiviertem Aktivkohlefilter (Variante 4) ist technisch sehr interessant. Jedoch liegen derzeit noch keine validierten Erfahrungen im Abwasserbereich zu diesem Verfahren vor, sodass die Eliminationsleistungen nur unzureichend eingeschätzt werden können. Hinsichtlich der Investitionskosten ist nachteilig, dass in Wesel zwei Stufen (Ozonung und GAK-Filtration) gebaut werden müssen. Dieses Verfahren bietet jedoch noch ein großes Entwicklungspotenzial, das durch Forschungsprojekte begleitet werden sollte.

Bei den Varianten 2 (GAK-Filtration) und 4 (Ozonung + BAK-Filtration) ist grundsätzlich neben dem beschriebenen Einsatz von Frischkohlen bzw. reaktivierten Kohlen auch der Einsatz von vorbeladenen Kohlen aus der Trinkwasseraufbereitung möglich. Das Konzentrationsniveau der Spurenstoffe ist in der Trinkwasseraufbereitung i. d. R. niedriger als im Abwasserbereich, sodass diese Kohlen in der vierten Reinigungsstufe weiterbeladen werden könnten. Die Eignung sollte vor dem Einsatz in jedem Fall durch Versuche bzw. eine Pilotierung untersucht werden. In Abhängigkeit von den erreichbaren Standzeiten dieser Kohlen ist dann die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes zu bewerten.

Aufgrund der vorhandenen Anlagentechnik sollten sich die weiteren Untersuchungen in Wesel auf die Varianten 1 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung) und 2 (Ozonung mit Sandfilter) konzentrieren.