

TBR Technische Betriebe Rheine AöR
Entsorgung • Entwässerung • Grün • Straßen

Kläranlage Rheine-Nord

4. Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroschadstoffen

Machbarkeitsstudie
Februar 2015 | Kurzbericht
Projektnummer 1539 001

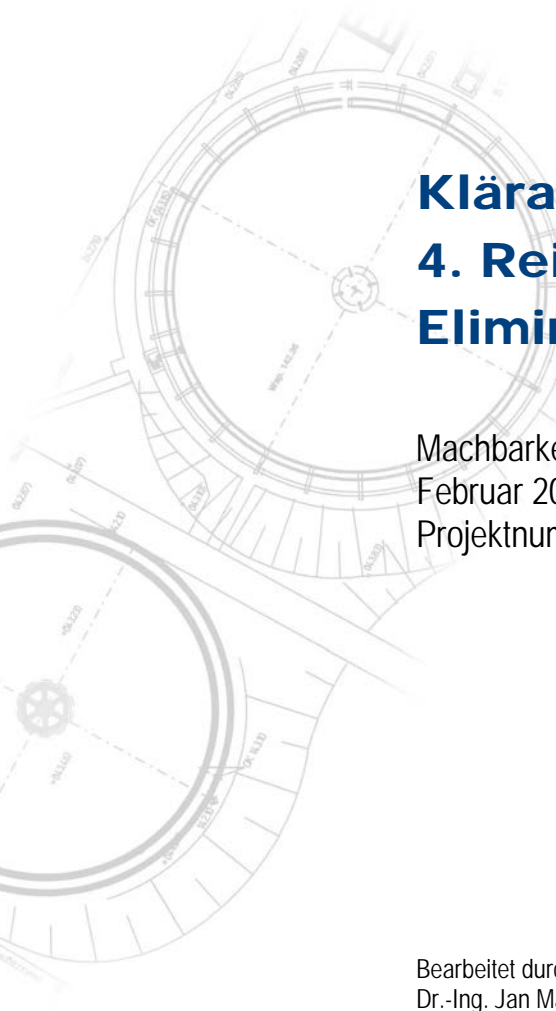


TUTTAHS & MEYER
INGENIEURGESELLSCHAFT
für Wasser-, Abwasser- und Energiewirtschaft mbH





TBR Technische Betriebe Rheine AöR
Entsorgung • Entwässerung • Grün • Straßen



Kläranlage Rheine-Nord

4. Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroschadstoffen

Machbarkeitsstudie
Februar 2015 | Kurzbericht
Projektnummer 1539 001

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

Aufgestellt:
Bochum, im Februar 2015

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Aufgabenstellung	1
2	Anlagenbestand	1
3	Darstellung der untersuchten Verfahrenskombinationen	2
3.1	Beschickungsmenge	2
3.2	Verfahrensfestlegung	3
3.3	Randbedingungen	3
3.4	Varianten.....	4
3.4.1	Variante 1: Pulveraktivkohle mit Rücklaufkohle (PAK)	4
3.4.1.1	Allgemein	4
3.4.1.2	Ausführung.....	5
3.4.2	Variante 2: Filtration über granulierte Aktivkohle (GAK).....	7
3.4.2.1	Allgemeines.....	7
3.4.2.2	Ausführung.....	8
3.4.3	Variante 3: Ozonung mit nachgeschaltetem Sandfilter	9
3.4.3.1	Allgemeines.....	9
3.4.3.2	Ausführung.....	10
3.5	Ergebnisübersicht Varianten.....	12
4	Kosten	13
5	Bewertung.....	14
6	Zusammenfassung.....	14

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 Technischen Betriebe Rheine (TBR) haben die TUTTAHS & MEYER Ing.-GmbH beauftragt, für die Kläranlage Rheine-Nord eine solche Studie auszuarbeiten.

Mit der Studie soll eine Entscheidungsgrundlage geschaffen werden, um die Auswahl eines möglichen Verfahrens durch die TBR 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 Rheine-Nord wurde in den Jahren 2011/2012 letztmalig umfangreich erweitert. Die Anlage ist auf eine Anschlussgröße von 251.000 EW ausgelegt und gliedert sich in eine mechanische und eine biologische Reinigungsstufe.

Der Mischwasserabfluss gelangt im freien Gefälle in eine Grobrechenanlage. Unmittelbar nach der Grobrechenanlage befindet sich ein Trennbauwerk. Dort wird der Abwasseranteil oberhalb des in die

Kläranlage zu übernehmenden Anteils abgeschlagen und in ein Regenüberlaufbecken geführt. Der zweistraßigen Feinrechenanlage ist das Hauptpumpwerk vorgeschaltet. Die Pumpen werden frequenzgeregelt betrieben. Das Abwasser aus der Feinrechenanlage gelangt in den zweistraßigen belüfteten Sandfang. Dort erfolgt die Rückhaltung von mineralischen Abwasserinhaltsstoffen.

Eine Flotationsanlage ist der Belebungsstufe vorgeschaltet. Durch die Zugabe von Überschussschlamm aus der Belebung ist es möglich, die CSB- und BSB₅-Belastungen gezielt zu reduzieren. Es besteht auch die Möglichkeit, ein Teil des Abwasserstroms an der Flotationsanlage vorbei und anschließend direkt in die Belebung zu führen.

Zur Phosphatelimination ist ein kombiniertes Selektor- und De-Phosphatierungsbecken vorgesehen. Dort wird unter anaeroben Milieubedingungen die Rücklösung der Phosphationen in die Wasserphase und eine später erhöhte biologische Phosphorelimination ermöglicht. Die biologische Phosphorelimination wird durch eine Simultanfällung unterstützt.

Das Abwasser-Schlamm-Gemisch aus dem De-Phosphatierungsbecken wird über ein Verteilerbauwerk in die sechs Belebungsbecken geführt. Die Belebungsanlage ist für die intermittierende weitergehende Stickstoffelimination ausgelegt. Die Belebungsbecken auf der Kläranlage Rheine-Nord werden mit Fuzzy-Logik zur Verbesserung und Stabilisierung der Reinigungsleistung geregelt. In Abhängigkeit der Nitrat- und Ammoniumkonzentrationen in den Belebungsbecken können die Dosierung einer externen Kohlenstoffquelle sowie der Energieverbrauch zur Sauerstoffversorgung optimiert werden.

Der Ablauf der Belebungsstufe gelangt zum Zwischenpumpwerk. Dieses fördert das Abwasser-Schlamm-Gemisch auf einen Wasserspiegel von 40,80 m ü. NN in die als Rundbecken ausgeführten Nachklärbecken. Die Antriebe der Förderschnecken werden mit Fuzzy-Logik zur Energieoptimierung geregelt.

Das Klarwasser aus der Nachklärung fließt im letzten Abschnitt der Ablaufmengenmessung zu. An dieser Stelle befindet sich die behördliche Überwachungsstelle. Nach der Ablaufmessung wird das gereinigte Abwasser im freien Gefälle in das Gewässer „Krafelds Beksken“ eingeleitet.

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 Rheine-Nord eine Kapazität zur Behandlung von 4.493 m³/h vorgehalten werden. Die berechnete Gesamtabwassermenge nach dieser Auswertung beträgt **8.752.920 m³/a (Vollstrom)**. Wenn die Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination auf **1.600 m³/h** ausgelegt wird, werden **92,43 %** der gesamten Jahresabwassermenge behandelt; dies entspricht **8.090.400 m³/a**. Unter den gewählten Ansätzen kann somit eine Elimination von 82 %

erreicht werden. Die Verfahrensstufe kann so bei einer Behandlung von 92,4 % der Jahresabwassermenge im Vergleich zur Vollstrombehandlung um ca. 64 % kleiner ausgeführt werden.

Die Teilstrombehandlung wurde basierend auf dem Vorschlag von TUTTAHS & MEYER auf einen Volumenstrom von **1.600 m³/h** (≈ 444 l/s) ausgelegt. Die Mengen beziehen sich auf die eigene Auswertung der 1-h-Werte der Ablaufmessung von 01/2013 bis 12/2013.

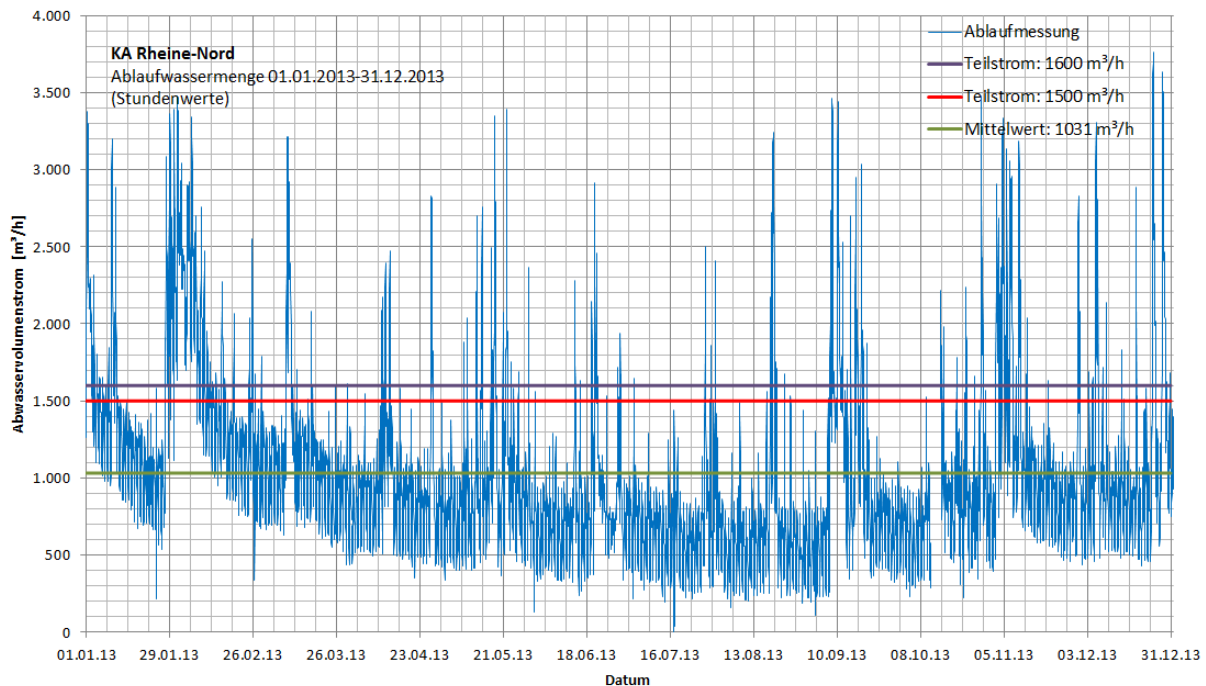


Bild 1: Behandelte Abwassermenge in Abhängigkeit des Bemessungszuflusses der Verfahrensstufe zur Spurenstoffelimination

3.2 Verfahrensfestlegung

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie werden die folgenden drei Verfahrenskombinationen untersucht:

1. **Pulveraktivkohle mit Rücklaufkohleführung.** Neubau Kontaktbecken/Abtrennung der PAK im zum Absetzbecken umgebauten Belebungsbecken II/Feinreinigung in der nachgeschalteten Tuchfiltration.
2. **Filtration über granulierte Aktivkohle.** Festbettadsorber werden der bestehenden Anlage nachgeschaltet.
3. **Ozonung mit nachgeschaltetem Sandfilter.** Ablauf der Nachklärung wird mit Ozon behandelt und anschließend in den nachgeschalteten Sandfilter als biologisch aktive Stufe geführt.

3.3 Randbedingungen

- Als Baufeld für die 4. Reinigungsstufe stehen Flächen im Westen der Anlage neben der Ablaufmessung sowie zwischen den beiden Belebungsbeckengruppen zur Verfügung. Vom Arbeitgeber wurde ein Belebungsbecken zur Umnutzung für die 4. Reinigungsstufe vorgeschlagen.

- Aufgrund der hohen Wasserspiegellage in den Nachklärbecken soll die 4. Reinigungsstufe so ausgelegt werden, dass sie im freien Gefälle durchfließen wird. Für die Teilung des Abwasserstroms ist anstatt eines Zulaufpumpwerkes, eine Verteilrinne vorgesehen.

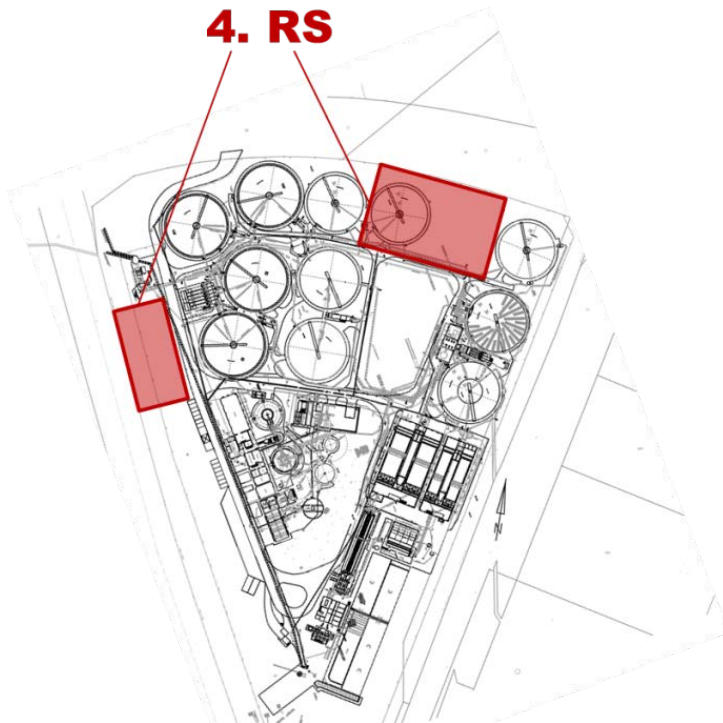


Bild 2: Baufeld 4. Reinigungsstufe

3.4 Varianten

3.4.1 Variante 1: Pulveraktivkohle mit Rücklaufkohle (PAK)

3.4.1.1 Allgemein

Dieses Verfahren wurde an einigen Standorten in Baden-Württemberg umgesetzt. Für die Rückführung der Kohle ist ein Absetzbecken notwendig. Die Rücklaufkohle wird zusammen mit der Frischkohle in den Zulauf des Kontaktbeckens dem Ablauf der Nachklärung zugegeben. In dem Absetzbecken vorgeschalteten Kontaktbecken erfolgt der eigentliche Adsorptionsvorgang. Der im Absetzbecken zurückgehaltene Kohleschlamm wird über eine Pumpe als Rücklaufkohle wieder in den Zulauf des Kontaktbeckens zurückgefördert. Entsprechend der Frischkohledosierung wird ein Teil der rückgeführten Kohle als Überschussskohle aus dem System entnommen. Besonderer Vorteil dieses Verfahrens ist, dass die Pulverkohle mehrfach mit dem Abwasser in Kontakt kommt, um die Beladungskapazität möglichst gut ausnutzen zu können.

Für die Kläranlage Rheine-Nord würde dies bedeuten, dass ein Kontaktbecken sowie eine Filtration gebaut werden müssen. Das Belebungsbecken soll zum Absetzbecken umfunktioniert und umgebaut werden. Weiterhin ist ein Silo einschließlich der Dosiertechnik für die Pulveraktivkohle notwendig. Fällmittel wird über die bestehende Anlage bezogen.

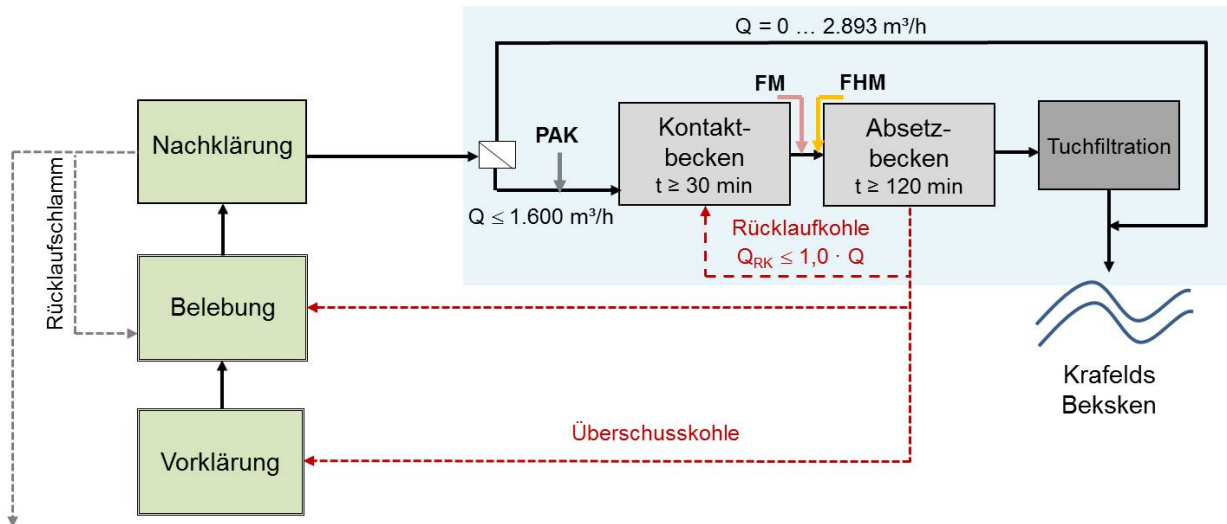


Bild 3: Blockschema Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle

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 $1.600 \text{ m}^3/\text{h}$ 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.

3.4.1.2 Ausführung

Kontaktbecken

Es werden drei Kontaktbecken eingesetzt. Jedes Kontaktbecken ist als quadratisches Becken mit einer Wasserspiegellhöhe von 3,5 m ausgeführt. Bei einer Innenkantenlänge von 10 m ergibt sich ein Volumen von 350 m^3 je Kontaktbecken. Die Aufenthaltszeit ist größer als 39 Minuten. Des Weiteren ist die Rücklaufkohleführung auf ein Rückführverhältnis von 1 ausgelegt. Insgesamt ist durch diese Maßnahmen sichergestellt, dass die Adsorptionskapazität der eingesetzten Kohle sehr gut genutzt werden kann. Jedes Kontaktbecken ist mit einem Vertikalrührwerk ausgestattet. Die Kontaktbecken werden in Reihe durchflossen.

Absetzbecken

Das derzeitige Belebungsbecken II wird als Absetzbecken für die PAK-Sedimentation umgenutzt. Da es sich um ein ehemaliges Nachklärbecken handelt, bietet es sich für die Umwidmung an. Der Innendurchmesser des Beckens beträgt 34 m. Die Beckentiefe im 2/3-Punkt liegt bei 3 m. Es ergibt sich ein Gesamtvolumen von 2.655 m^3 . Damit ergibt sich eine Aufenthaltszeit von 100 Minuten. Dies

liegt unterhalb der Bemessungsempfehlung aus Baden-Württemberg von 120 Minuten. Diesem Umstand wird begegnet, indem die Kontaktbecken größer ausgeführt werden (ca. 40 Min. statt 30 Min. Aufenthaltszeit) und die Rücklaufkohleführung auf ein Rücklaufverhältnis von 1 ausgelegt wird.

Für die Räumung des anfallenden Schlammes wird eine Schildräumung vorgesehen. Der gesammelte Schlamm wird mittels zweier Schneckenpumpen wieder in den Zulauf der Kontaktbecken zurückgeführt. Die Überschusskohle wird aus dem ÜSK-Schacht entnommen und der Belebung zur weiteren Beladung zugeführt.

Tuchfiltration

Dem Absetzbecken wird eine Filtrationsstufe (vier Tuchfilter) zur Suspensa-Restentfernung nachgeschaltet. Es wird hier eine Filterfläche von 75 m² je Tuchfilter vorgesehen. Damit ergibt sich eine Gesamtfiltrationsfläche von 300 m². Die Tuchfiltration wurde in Bezug auf die Abtrennung von Aktivkohle in verschiedenen Forschungsprojekten untersucht. Derzeit wird auf der Kläranlage Lahr die erste Anlage im technischen Maßstab umgesetzt. Vorteile der Tuchfiltration sind der geringe Platzbedarf und die geringen Energiekosten im Betrieb (Rückspülung und hydraulische Verluste) gegenüber Raumfiltern. Zu beachten ist, dass die Filtertücher in regelmäßigen Abständen (ca. alle 5 a) erneuert und jährlich einer Intensiv-Reinigung unterzogen werden müssen.

PAK-Silo

Zur Lagerung der Aktivkohle ist ein Silo mit einem Inhalt von 125 m³ vorgesehen.

Flockungs- und Flockungshilfsmittel

Als Flockungsmittel wird die Dosierung von FeCl₃ 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.

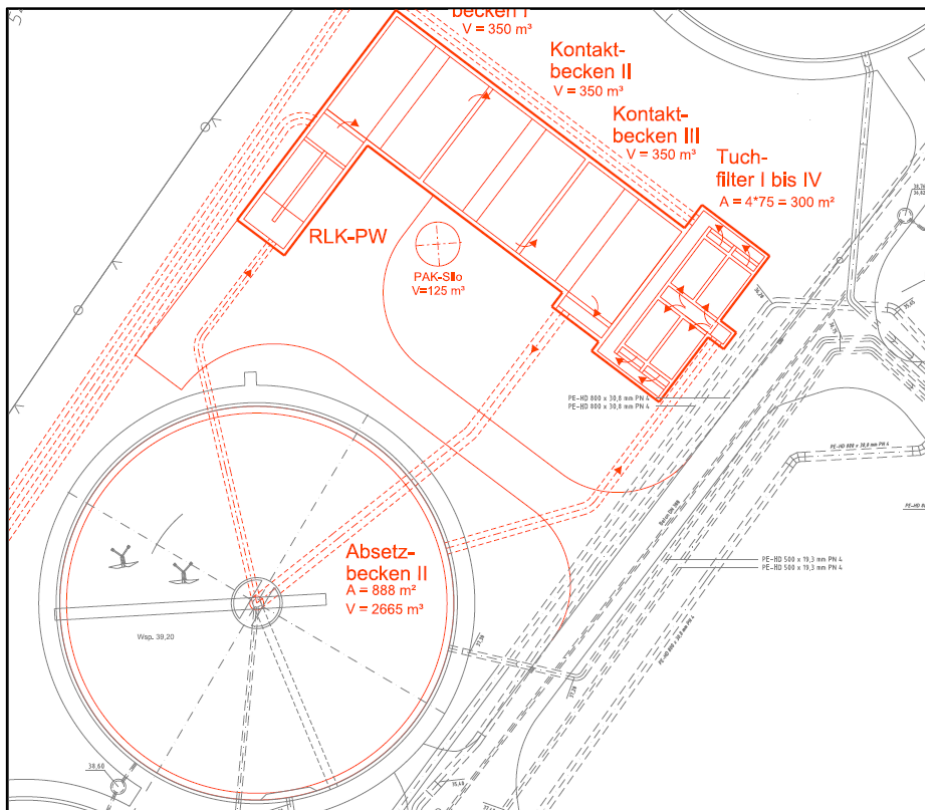


Bild 4: Lageplanausschnitt Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle

3.4.2 Variante 2: Filtration über granulierte Aktivkohle (GAK)

3.4.2.1 Allgemeines

Der ausgewählte Teilstrom von maximal 1.600 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:	330 m ²

Die Stufe kann als Druckfiltration – zumeist in Filterkesseln aus Stahl – oder als offene Filtration realisiert werden. Für den Anwendungsfall wurde eine Ausführung als offener Rechteckfilter aus Beton gewählt, da so der Filterblock zusammen mit der benötigten Spülwasservorlage als kompaktes Bauwerk realisiert werden kann.

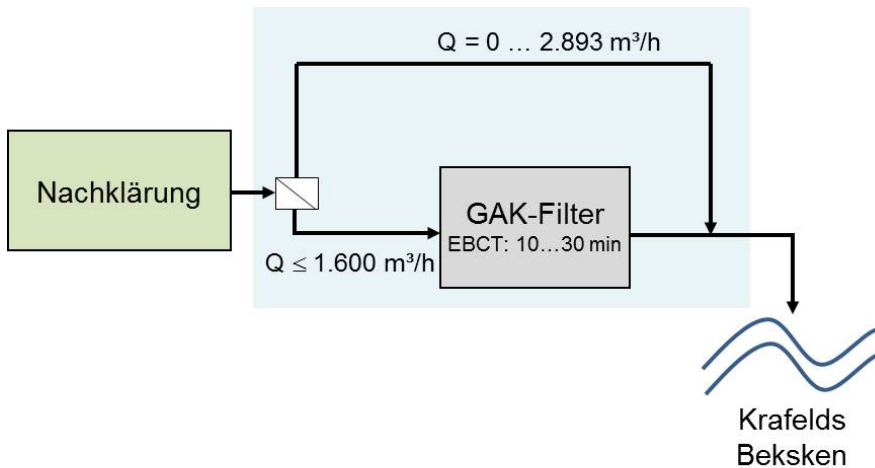


Bild 5: Blockschema Variante 2: GAK-Filtration

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.

3.4.2.2 Ausführung

Filterblock

Der Filterblock besteht aus sechs abwärtsdurchströmten offenen Filtern. Jede Filterkammer weist eine Fläche von 55 m² auf. Die Abmessungen einer Filterkammer liegen bei einer Breite von 5 m und einer Länge von 11 m.

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

Spülwasserspeicher/Spülabwasserspeicher

Das Filtrat der Adsorptionsstufe wird in einer Spülwasservorlage mit 400 m³ Inhalt gespeichert. Der Überlauf des Spülwasserspeichers wird wieder in das Ablaufgerinne der Kläranlage zurückgeführt. Für die Rückspülung der Filter stehen zwei Rückspülpumpen zur Verfügung.

Das bei der anfallenden Rückspülung anfallende Spülabwasser wird zwischengespeichert und über eine Pumpe dosiert dem Zulauf der Kläranlage zugeführt.

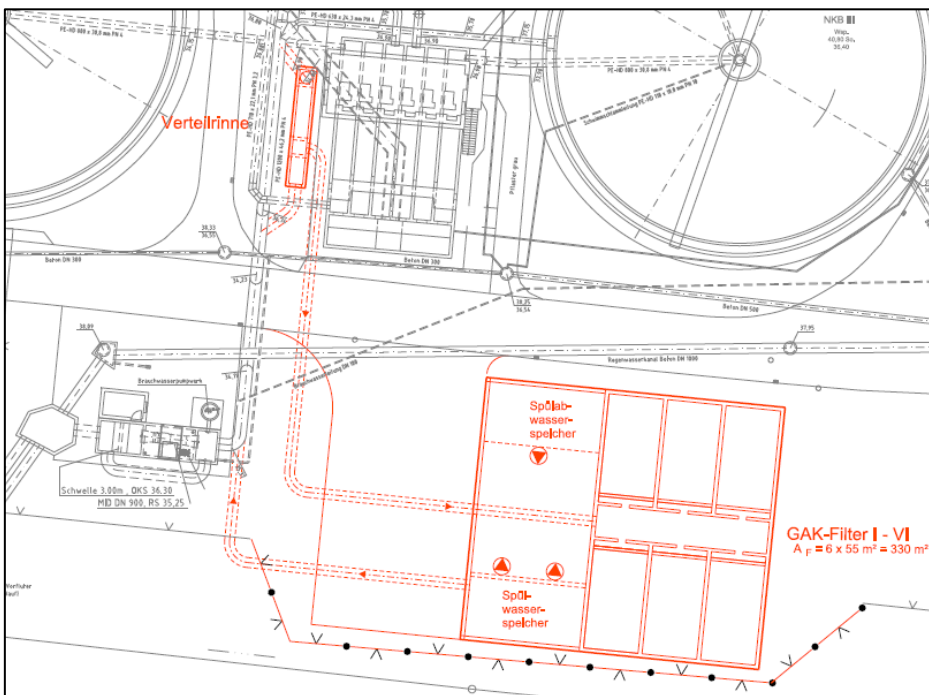


Bild 6: Lageplanausschnitt Variante 2: GAK-Filtration

3.4.3 Variante 3: Ozonung mit nachgeschaltetem Sandfilter

3.4.3.1 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.

Die Ozonung wird anhand folgender Bemessungsparameter ausgelegt:

Ozondosis: 2...10 g/m³

Kontaktzeit im Reaktionsbehälter: 10...30 min

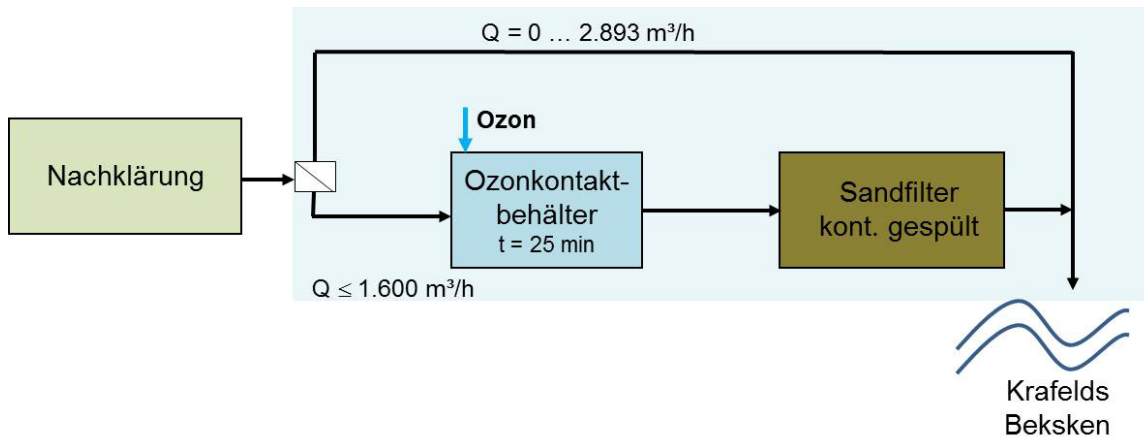


Bild 7: Blockschema Variante 3

Folgende Werte wurden gewählt:

Anzahl Kontaktbehälter: 2 Stück
 Wassertiefe Kontaktbehälter: 6 m

Es wurde eine mittlere Ozondosis angenommen von:

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

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

3.4.3.2 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.

Kontaktbehälter

Die beiden Kontaktbehälterstraßen werden als Betonbauwerk ausgeführt. Die Behälter verfügen über keine Einbauten, außer einer unterströmten Tauchwand im letzten Drittel des Behälters. Dieser Bereich dient als Entspannungszone. Untersuchungen von Herbst u. a. (2011) zeigten, dass weitere Einbauten (Leitwände) die Effizienz nicht nachhaltig verbessern.

Der Ozoneintrag kann über eine Teilstrombegasung mit Injektoren erfolgen, oder über Diffusoren direkt in das Abwasser. Im konkreten Fall wird der Eintrag über Diffusoren gewählt, da er verfahrenstechnisch einfacher zu realisieren ist (kein weiterer Kreislauf mit Pumpe). Der Ablauf der Ozonbehandlung wird anschließend in den nachgeschalteten Sandfilter geführt.

Ozonerzeugung

Die Ozonerzeuger weisen eine Leistung von 2 x 8.000 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.

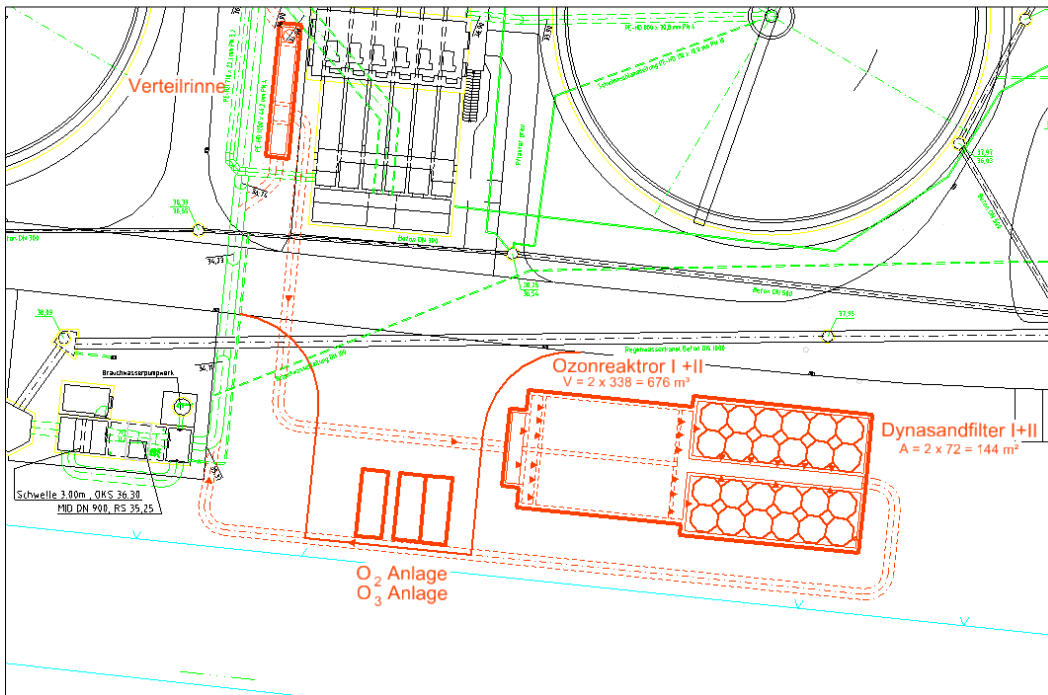
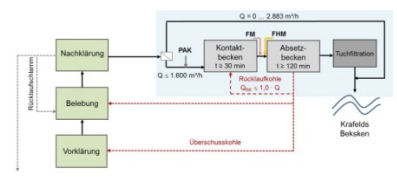
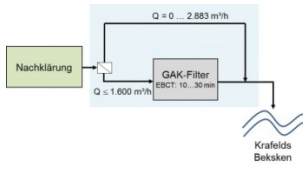
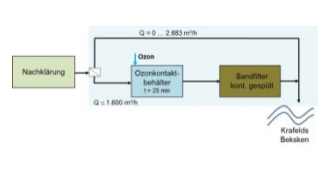


Bild 8: Lageplanausschnitt Variante 3: Ozonung mit nachgeschaltetem Dyna-Sandfilter Sandfilter (kontinuierlich gespült)

Als Nachreaktor wird ein kontinuierlich arbeitender Sandfilter (Dyna-Sandfilter) eingesetzt. Das Sandbett im Filter wird von unten nach oben durchströmt. Die im Abwasser enthaltenen Suspensa werden im Sand zurückgehalten. Über eine Mammutpumpe wird der verunreinigte Sand aus dem Filterbett von unten nach oben transportiert. In einem Sandwäscher wird dieser Sand mit Filtrat gereinigt. Der gereinigte Sand fällt auf das Filterbett zurück. Das anfallende Schlammwasser aus dem Sandwäscher fließt über den Waschwasserablauf ab. Für den Betrieb der Mammutpumpe ist eine Druckluftversorgung (Kompressor) notwendig. Rückspülpumpen werden nicht benötigt. Es sind insgesamt 24 Filter aufgeteilt auf zwei Straßen vorgesehen. Jeder Filter weist eine Filterfläche von 6 m² auf, sodass sich eine Gesamterfläche von 144 m² ergibt. Jeweils 12 Filter werden in ein Betonbecken eingebaut. Der Zulauf auf die einzelnen Filterstraßen erfolgt über Gerinne. Jede Straße kann über ein Schütz abgeschiebert werden.

3.5 Ergebnisübersicht Varianten

	Variante 1 Pulverkohle mit Rücklaufkohle/ Umbau Belebungsbecken	Variante 2 GAK-Filtration	Variante 3 Ozonung + Sandfilter
Anlagenkomponenten	 <p>Kontaktbecken: $t_A = 39 \text{ min}$, $V_{\text{ges}} = 1.050 \text{ m}^3$</p> <p>Absetzbecken: $D_i = 34 \text{ m}$, $h_{2/3} = 3 \text{ m}$ $A_{\text{ges}} = 888 \text{ m}^2$, $V_{\text{ges}} = 2.665 \text{ m}^3$</p> <p>Tuchfiltration: $A_{F,\text{ges}} = 300 \text{ m}^2$</p> <p>PAK-Silo: $V = 125 \text{ m}^3$</p>	 <p>GAK-Filtration: 6 Filter, $B \times L = 5 \times 11 \text{ m}$ $A = 330 \text{ m}^2$, $H_{FB} = 2,5 \text{ m}$, $V = 825 \text{ m}^3$</p>	 <p>Flüssigsauerstoff: Tankanlage und Verdampfer</p> <p>Ozonerzeuger: 2 x 8 kg O_3/h</p> <p>Reaktionsbehälter: 2 Straßen, je $L = 12 \text{ m}$; $B = 4,7 \text{ m}$; $V_{\text{ges}} = 676 \text{ m}^3$</p> <p>Sandfiltration (kont. gespült): 24 Filter mit $A_F = 6 \text{ m}^2$ $A_{F,\text{ges}} = 144 \text{ m}^2$</p>
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - keine Bildung von Reaktionsprodukten - Wirkungsweise der Stoffelimination eindeutig - sehr guter Suspensarückhalt im AB und durch Filtration - sehr gute Reduzierung P_{ges} und CSB - Mehrfachbeladung der PAK - Nutzung vorhandener Bausubstanz 	<ul style="list-style-type: none"> - keine Bildung von Reaktionsprodukten - Wirkungsweise der Stoffelimination eindeutig - Sicherer und einfacher Betrieb - Suspensarückhalt durch Filtration 	<ul style="list-style-type: none"> - geringer Platzbedarf - Suspensarückhalt durch Filtration - Optimierungspotential bei Ozon dosis zu erwarten
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - höhere Schlammanfall als bei den anderen Varianten - betreuungsintensiv, da Dosierung von PAK, FHM und FM 	<ul style="list-style-type: none"> - GAK-Austausch - Hoher Kohlebedarf in Vergleich zu anderen Varianten 	<ul style="list-style-type: none"> - Reaktionsmechanismen und -produkte sind teilweise unbekannt, - Wartung erfordert durch geschultes oder externes Personal, - hohe Sicherheitsanforderungen an den Arbeitsschutz, da Ozon toxisch ist und als Reizstoff wirkt - hoher Energiebedarf

4 Kosten

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

Pos.-Nr	Text		Variante 1 PAK m. Rücklaufk.	Variante 2 GAK-Filtration	Variante 3 Ozonung + SF
A	Kapitalgebundene Kosten	EUR/a	329.045,00	290.206,31	292.460,61
B	Betriebsgebundene Kosten	EUR/a	124.283,30	102.128,19	112.609,50
C	Verbrauchsgebundene Kosten	EUR/a	292.669,37	529.304,26	240.876,62
Summe Jahreskosten, netto		EUR/a	745.997,67	921.638,76	645.946,73
Mehrwertsteuer: 19%		EUR/a	141.739,56	175.111,36	122.729,88
Summe Jahreskosten, brutto		EUR/a	887.737,22	1.096.750,12	768.676,61
Anteil			115%	143%	100%
spez. Kosten, netto		EUR/m³	0,09447	0,11671	0,08180
spez. Kosten, brutto		EUR/m³	0,11242	0,13889	0,09734

Die günstigsten Jahreskosten wurden für die Variante 3 (Ozonung + SF) und Variante 1 (PAK) mit ca. 770.000 bis 890.000 EUR/a, brutto ermittelt. Variante 2 (GAK) weist mit rund 1.100.000 EUR/a, brutto die höchsten Jahreskosten auf.

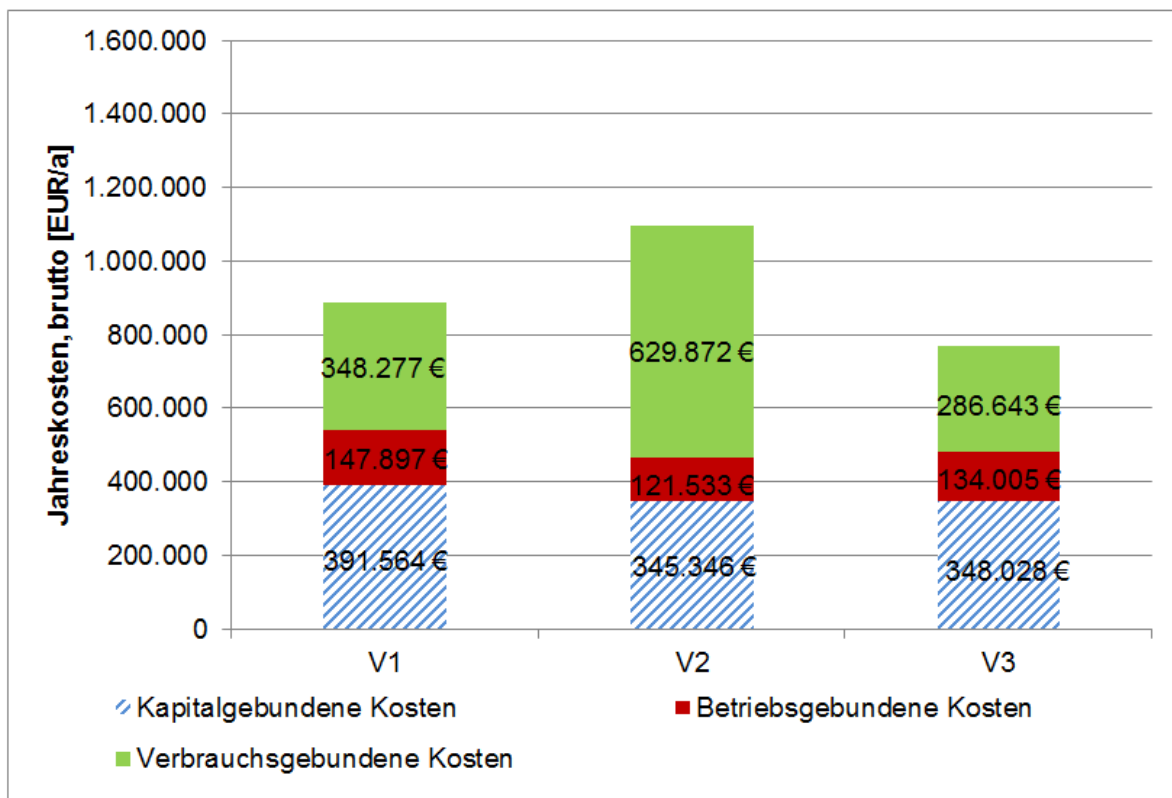


Bild 9: Anteile kapital-, betriebs- und verbrauchsgebundene Kosten an den Jahreskosten

Aus der im Bild 9 dargestellten Aufteilung der Jahreskosten ist erkennbar, dass Variante 1 den höchsten Anteil an kapitalgebundenen 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 3

Kriterium	Wichtung	Wertung					
		Variante 1		Variante 2		Variante 3	
		PAK m. Rücklaufk.		GAK-Filtration		Ozonung + Sandfilter	
		Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet
Jahreskosten	0,30	4	1,2	2	0,6	5	1,5
Reinigungsleistung P_{ges}/CSB (zusätz. Reduk)	0,30	5	1,5	4	1,2	4	1,2
Bildung Nebenprodukte	0,10	5	0,5	5	0,5	4	0,4
Erfahrungen/Referenzen	0,10	5	0,5	5	0,5	5	0,5
Betriebssicherheit	0,05	4	0,2	4	0,2	4	0,2
Sensitivität Kostensteigerungen	0,10	4	0,4	3	0,3	4	0,4
CO ₂ -Bilanz	0,05	4	0,2	4	0,2	4	0,2
Summe	1,00	31	4,50	27	3,50	30	4,40

Wertung nach Punkten
(steigende Punkte → bessere Wertung)

1 = ungenügend
5 = sehr gut

In der **Summe** schneidet Variante 1 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung) mit 4,50 Punkten am besten ab. Gefolgt von Variante 3 (Ozonung + Sandfilter) mit 4,40 Punkten. Die Variante 2 (GAK) hat mit 3,50 Punkten die niedrigste Bewertung.

6 Zusammenfassung

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

Im Rahmen der Studie zur Ertüchtigung und Erweiterung der Kläranlage Rheine-Nord 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: Ozonierung mit nachgeschaltetem Sandfilter.

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 fünf Punkten erreicht werden.

Die höchste Punktzahl erreicht Variante 1 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle) mit 4,50 Punkten; die Ozonung mit nachgeschaltetem Sandfilter (Variante 3) kommt auf den zweiten Platz, mit 4,40 Punkten. Die Variante 2 (GAK) liegt mit 3,50 Punkten auf dem dritten Platz.

Bei den Jahreskosten liegt Variante 3 (Ozonung) mit 770.000 EUR/a, brutto vorn. Aufgrund der vergleichbaren verbrauchsgebundenen Kosten folgt Variante 1 (PAK) mit 890.000 EUR/a, brutto. Die Variante 2 (GAK) liegt mit 1.100.000 EUR/a, brutto auf dem dritten Platz.

Variante 1 (PAK mit Rücklaufkohle) lag in der Bewertungsmatrix auf dem ersten Rang. Sie stellt das derzeit verbreitetste Verfahren zur Spurenstoffelimination dar (in Baden-Württemberg derzeit sieben Anlagen in Betrieb, weitere in Planung und Bau). Neben der Pulverkohle wird in diesem Verfahren noch Flockungs- und Flockungshilfsmittel dosiert. Auf der einen Seite führt dies zu einem erhöhten Betriebsaufwand; auf der anderen Seite kann damit auch direkt auf eine Veränderung der Rohwasserbeschaffenheit bzw. der Ablaufziele reagiert werden. Die Erfahrungen aus Baden-Württemberg zeigen, dass ein sehr sicherer Betrieb möglich ist.

Durch die Rückführung der Aktivkohle ist eine sehr gute Nutzung der Adsorptionskapazität der Kohle gegeben. Dadurch reduziert sich insgesamt der benötigte Kohlebedarf. Das Verfahren reagiert damit auf Preisschwankungen bei der Aktivkohle weniger sensitiv. Das Verfahren führt neben der Spurenstoffelimination noch zu einer deutlichen Reduzierung bei den Parametern CSB und P_{ges} . Gegenüber den anderen Verfahren ist der Einfluss hier höher zu bewerten.

Bei der PAK-Dosierung ist der zusätzliche Schlammanfall im Vergleich zu den anderen Verfahren erhöht. Der Schlamm enthält neben der Kohle noch Fällprodukte und Organik. Der Energiebedarf liegt im Vergleich zu den Ozonverfahren auf einem unteren Niveau.

Die Ozonung mit nachgeschaltetem 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 noch interessanter. Die weiteren Forschungsergebnisse hinsichtlich der Bildung von Transferprodukten sollten in die Entscheidungsfindung einfließen. Der Einsatz von Ozon bedingt einen hohen Energiebedarf auf der Kläranlage für die Erzeugung des Ozons. Damit reagieren die Ozonvarianten generell sensitiver auf Kostensteigerungen beim Strombezug.

Die GAK-Filtration (Variante 2) ist aufgrund der hohen verbrauchsgebundenen Kosten und die hohe Empfindlichkeit gegenüber Kostensteigerungen auf dem dritten Rang. Für dieses Verfahren spricht die hohe Betriebssicherheit. Die kurze Standzeit der Aktivkohle im Filter und die hohen Bezugskosten führen zu den hohen Verbrauchskosten bei dieser Variante.

Die TUTTAHS & MEYER Ing.-GmbH empfiehlt Variante 1 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung) und 3 (Ozonung mit nachgeschaltetem Sandfilter) für weitere Untersuchungen auf der Kläranlage Rheine-Nord.