

Auftraggeber:

Stadt Lage

Städtischer Abwasserbetrieb

Lange Straße 67

32791 Lage

Betriebsleiter

Städt. Abwasserbetrieb

Dipl.-Ing. T.Paulussen

Betriebsleitung

Kläranlage

Dipl.-Ing. A.Ziesel

Aufgestellt durch:

Hydro-Ingenieure Planungsgesellschaft für Siedlungswasserwirtschaft mbH

Beratende Ingenieure

Stockkampstraße 10

40477 Düsseldorf

Düsseldorf, September 2015

4252_00 / KA / LD

20160111_Kurzbericht_Lage_Spurenstoffe_ohne_Deckblatt.docx

Projektleiter: Dipl.-Ing. Klaus Alt

Projektingenieur: B. Eng. Lars Dorn

ZUSAMMENFASSUNG

Der Abwasserbetrieb der Stadt Lage untersuchen im Rahmen einer aktualisierten Machbarkeitsstudie verfahrenstechnische Möglichkeiten zur Spurenstoffelimination. Im Jahre 2011 hat die Hydro-Ingenieure GmbH bereits eine Studie zur Spurenstoffelimination erarbeitet, in welcher der Einsatz von Aktivkohle in granulierter wie auch in pulverisierter Form näher untersucht wurde. Aufgrund sich veränderter Zulaufbedingungen zur Kläranlage und weiter entwickelten Erkenntnissen bei der Mikroschadstoffelimination wurde die Machbarkeitsstudie überarbeitet. Auf der Basis einer gemeinsamen Abstimmung und gemäß des Angebots der Hydro-Ingenieure GmbH vom 15.09.2014 sollen folgende Varianten untersucht werden:

- Variante 1: Neubau einer GAK-Stufe (granulierte Aktivkohle) im Anschluss an die Flockungsfiltration (nachgeschaltete Druckkessel)
- Variante 2: Granulierte Aktivkohle im vorhandenen Flockungsfilter
- Variante 3 Neubau einer Ozonung zwischen Nachklärung und bestehender Flockungsfiltration

Als Lösungsvarianten wurden die favorisierte Variante aus 2011, die Günstigste, sowie die Ozonung welche in 2011 nicht betrachtet wurde, gewählt.

Ziel der Vorplanung ist die Bewertung der unterschiedlichen Lösungskonzepte im Hinblick auf die technische Machbarkeit, ihrer Wirtschaftlichkeit sowie eine Bewertung der Vor- und Nachteile einschließlich der nicht monetären Aspekte.

EINFÜHRUNG

Die Stadt Lage betreibt das Zentralklärwerk Lage mit einer Ausbaugröße von 125.000 EW, wobei die aktuelle Auslastung 80.000 EW beträgt. Sie reinigt das Abwasser der Stadt Lage, einiger Ortsteile der Gemeinden Detmold, Oerlinghausen und Leopoldshöhe sowie die Fäkalien von ca. 335 Liegenschaften mit Kleinkläranlagen. Die Belebungsstufe besteht aus einer Kaskadendenitrifikation (2-straßig) und einer 2-straßigen Nachklärbeckenanlage. Daran angeschlossen ist eine Schlammbehandlung einschließlich Schlammentwässerung. Als 3. Reinigungsstufe steht eine Filtrationsanlage mit 7 BIOFOR-Filtern à 40 m² zur Verfügung. Der Vorfluter ist die östlich des Klärwerkes verlaufende Werre.

AUFGABENSTELLUNG

Die Aufgabenstellung für die vorliegende Vorplanung besteht im Einzelnen aus:

1. Grundlagenermittlung einschl. Auswertung der Wassermengen zur Dimensionierung der Verfahrenskomponenten
2. Klärtechnische Berechnungen der Verfahrenskomponenten
3. Zeichnerische Darstellung in Verfahrensschemata und Lageplanskizzen
4. Bewertung der verschiedenen Möglichkeiten im Hinblick auf Vor- und Nachteile, insbesondere der nicht-monetären Aspekte, z. B. betrieblicher Risiken sowie zukünftiger Erweiterungsmöglichkeiten etc.
5. Überprüfung der technischen Machbarkeit
6. Wirtschaftlichkeitsuntersuchung einschl. Abschätzung der Investitionskosten, der Betriebskosten sowie der Jahreskosten
7. Bewertung und Diskussion der Ergebnisse

KURZBESCHREIBUNG DER LÖSUNGSMÖGLICHKEITEN

Im Folgenden werden die für das Zentralklärwerk Lage möglichen Varianten der Spurenstoffelimination sowie ein erster Überblick über die möglichen Verfahrenstechniken gegeben.

Granulierte Aktivkohle

Bei den Aktivkohlefiltern wird die Kohle je nach Beschickungsrichtung der Filter von oben nach unten oder anders herum mit den Schadstoffen beladen. Es bildet sich eine Beladungsfront, die mit der Zeit durch den Filter wandert bis es zu einem Durchbruch kommt. Die Aktivkohle kann dann aus dem Filter entnommen und regeneriert werden. Um die volle Beladungskapazität eines Filters ausnutzen zu können, ohne das ein Durchbruch zu einem Konzentrationsanstieg im Ablauf führt, kann ein 2-stufiges Verfahren (zwei hintereinander geschaltete Filter) gewählt werden.

Mögliche Anwendungen in der Abwasserbehandlung sind die Umrüstung bereits bestehender Filteranlagen zu GAK-Filtern und der Bau von neuen Filtern, die einer bestehenden Filtration nachgeschaltet sind.

Die Möglichkeit der nachgeschalteten GAK-Filter hat den Vorteil, dass die komplette vorhandene Filtration als Sicherheitsstufe gegen einen möglichen

Eintrag von Feststoffen aus der Nachklärung fungiert. Je nach Auslastung der Filtration können einige Filterzellen mit granulierter Aktivkohle gefüllt werden und der Filtration in den restlichen Filterzellen nachgeschaltet betrieben werden.

Ozonung

Für die Ozonbehandlung wird die Ozonerzeugung aus Flüssigsauerstoff vorgesehen. Der Reaktionsbehälter wird 2-straßig ohne Leitwände geplant. Theoretisch kommen wie bereits beschrieben sowohl ein Eintrag über einen Injektor als auch über ein Diffusorsystem in Frage. Für die Kostenschätzung im Rahmen der Variantenuntersuchung wird zunächst von einem Injektorsystem ausgegangen.

Pulverisierte Aktivkohle

Weitere alternative Lösungsmöglichkeiten, wie beispielsweise die Verwendung von pulverisierter Aktivkohle, wurden im Rahmen der vorliegenden Studie nicht näher betrachtet. Der Grund für die Nichtberücksichtigung ist zum Einen das bereits in der Studie aus dem Jahre 2010 die wirtschaftliche Bewertung einer separaten Adsorptionsstufe mit Zugabe von pulverisierter Aktivkohle infolge der relativ hohen Baukosten für eine separate Sedimentation nicht zu einer wirtschaftlich positiven Bewertung führte. Ein analoges Ergebnis ließ sich für die verfahrenstechnische Möglichkeit, die Pulveraktivkohle auf direktem Wege in den Überstand der Filtration zu leiten, verzeichnen. Vor diesem Hintergrund erscheint eine vertiefte Betrachtung der Verwendung von PAK auf der Kläranlage Lage nicht sinnvoll.

PLANUNGS- UND BEMESSUNGSGRUNDLAGEN

Planungsgrundlagen

Seitens der städtischen Abwasserbetriebe Lage wurden für die Bearbeitung folgende Unterlagen zur Verfügung gestellt:

- Messdaten der ZKA Lage, Wassermengen 2-Stunden Werte für die Jahre 2012 bis 2014
- Lagepläne der ZKA Lage
- Grundrisse und Seitenansichten des Filtergebäudes
- Fließbild der ZKA Lage
- Bemessungs-, Auslegungs- und Bestandsdaten wesentlicher Anlagenteile der ZKA Lage

Hydraulische Bemessungsgröße

Die Hydro-Ingenieure GmbH hat eine Auswertung der 2-Stunden-Zulaufwassermengen der Jahre 2012 bis 2014 durchgeführt. Hierbei wurden sowohl Ganglinien erstellt als auch Summenhäufigkeiten ermittelt (siehe Anlage 2), zusätzlich wurde die Wassermengenauswertung der Studie von 2011 mit der vorliegenden Machbarkeitsstudie verglichen und grafisch aufgearbeitet. Der Trockenwetterzufluss wurde nach DWA ATV A 198 berechnet. Der maximale Ablauf liegt bei 618 l/s und der 85 %-Wert bei 267 l/s (siehe Tabelle 1).

Tabelle 2: Ablaufmengen ZKA Lage, 2012-2014

Ablaufmenge (l/s)	RW + TW
Mittelwert	172
85%-Wert	267
Maximum	618

Die Bemessungswassermenge für die Spurenstoffbehandlung wurde auf max. 170 l/s festgelegt. Der Zulauf zur Kläranlage Lage unterschreitet an ca. 65% aller Tage eine maximale Menge von 170 l/s. Mit einem maximalen Zulauf von 170 l/s zur Spurenstoffelimination können im Mittel der Jahre 2012 und 2014 ca. 81% der anfallenden Abwassermenge im Zulauf des Klärwerks behandelt werden.

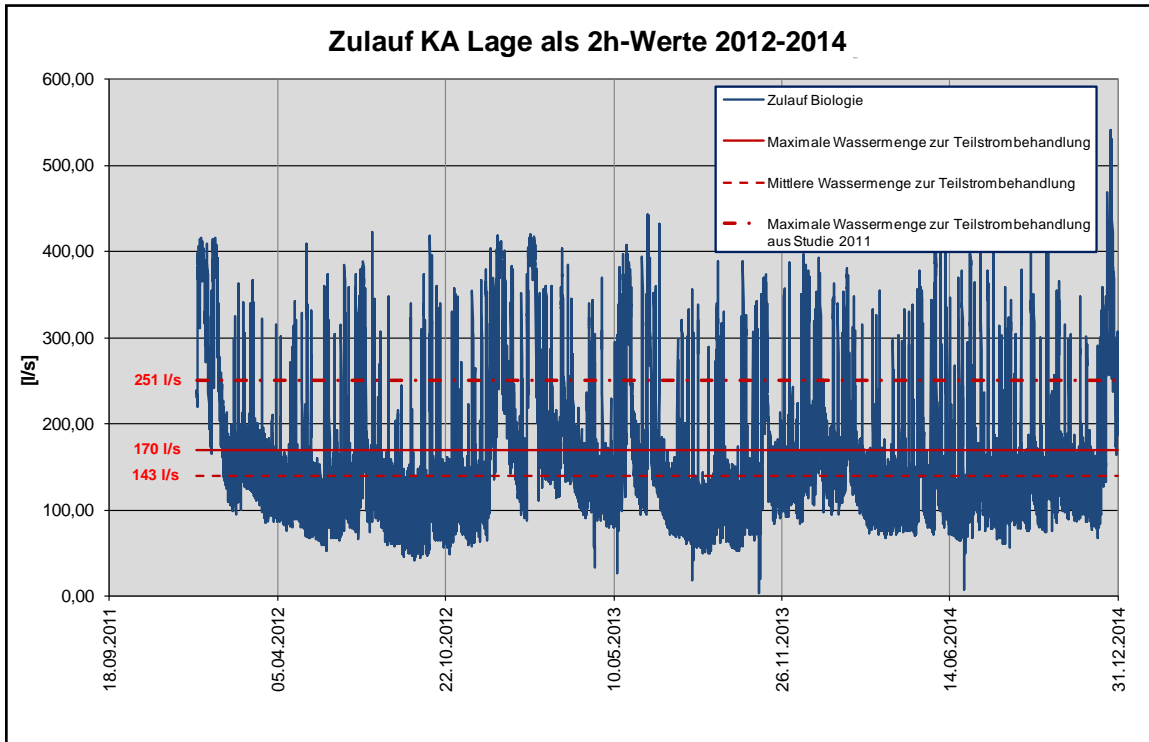


Abbildung 1: Auswertung Anteil der behandelten Abwassermenge an der Jahresschmutzwassermenge, ZKA Lage 2012 – 2014

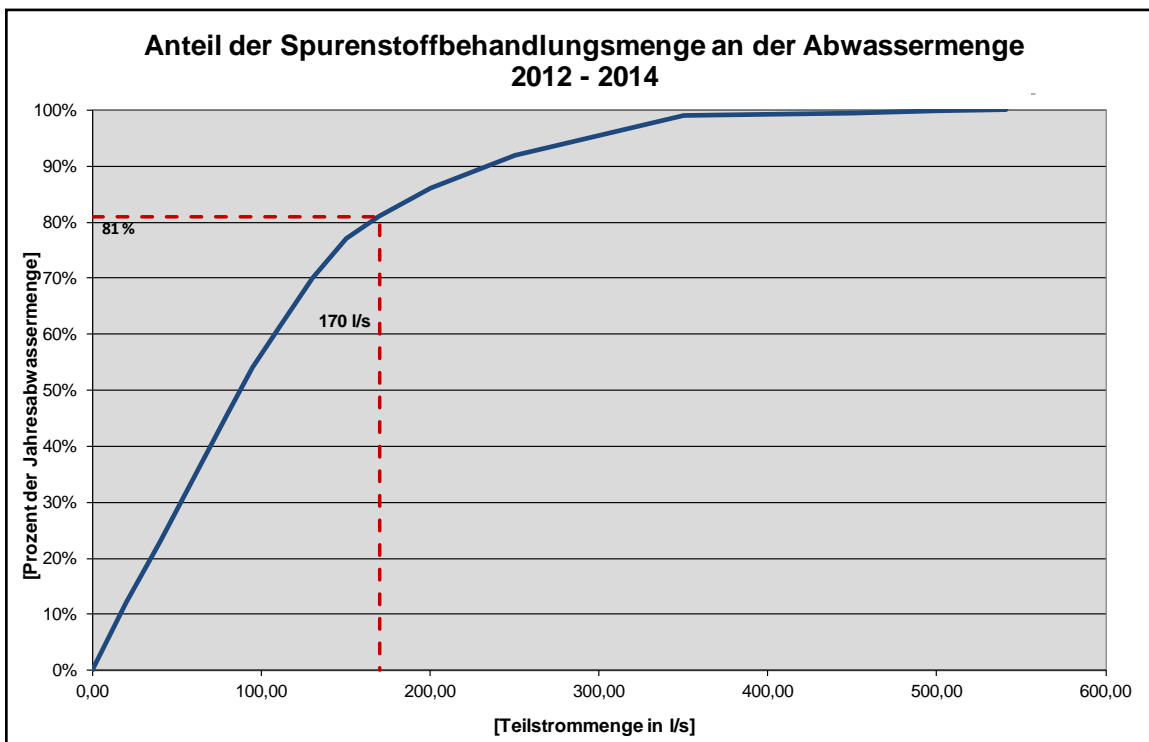


Abbildung 2: Auswertung Zulaufmenge, ZKA Lage, 2012 - 2014

PLANUNGSKONZEPTE ZUR SPURENSTOFFELIMINATION

Variante 1 - nachgeschaltete GAK-Filtration (nachgeschaltete Druckkessel)

Bei einem 1-stufigen Verfahren sind insgesamt 6 Adsorber notwendig, die alle parallel gefahren werden. Dadurch kann auf eine aufwändige Karussellschaltung verzichtet werden, wodurch die Investitionskosten für die Adsorber halbiert werden können. Es bestehen 2 Möglichkeiten der Betriebsweise von 1-stufigen GAK-Adsorber:

1. Alle Adsorber werden bis zum vollständigen Durchbruch betrieben, sodass jeder Adsorber über einen gewissen Zeitraum mit einer sehr geringen Filterwirksamkeit betrieben wird und die Ablaufkonzentration insgesamt etwas ansteigt
2. Jeder Adsorber wird nur bis zu einem definierten Durchbruchpunkt betrieben und die Aktivkohle wird ausgetauscht, bevor die Filterwirksamkeit stark nachlässt

Letzteres ist gängige Praxis in vielen Trinkwasseraufbereitungsanlagen mit 1-stufigen GAK-Adsorbieren, da in der Trinkwasseraufbereitung eine große Sicherheit erforderlich ist. In der Abwasserbehandlung ist, insbesondere aufgrund noch nicht vorhandener gesetzlicher Anforderungen, solch eine Sicherheit bisher nicht erforderlich. Da bei der 2. Möglichkeit der Betriebsweise die Standzeiten deutlich kürzer sind und dadurch die Betriebskosten stark ansteigen, wird empfohlen, die 1. Möglichkeit der Betriebsweise zu verfolgen. Es besteht jedoch die Möglichkeit diese Variante zu einem späteren Zeitpunkt um eine 2. Stufe zu erweitern, falls gesetzliche Anforderungen dies notwendig machen sollten.

Der Teilstrom für die Behandlung in der GAK-Anlage wird über 2 + 1 Pumpen aus dem Klarwasserspeicher zu den GAK-Adsorbieren gepumpt, welche im jetzigen Speicherbecken aufgestellt werden. Der Ablauf erfolgt über die jetzige Deponiesickerwasserrinne in den Messschacht. Das Gerinne dient auch als Spülwasserspeicher. Zum Spülen der Aktivkohle-Adsorber sind 1 + 1 Spülwasserpumpen mit einer maximalen Spülwassergeschwindigkeit von 15 m/h und 1 + 1 Spülluftgebläse mit einer maximalen Spülluftgeschwindigkeit von 35 m/h vorgesehen. Das Spülabwasser fließt dem Zulauf zur Filtrationsanlage zu. Es ist eine komplette Einhausung der Reaktoren mit einer Leichtbaukonstruktion vorgesehen.

Die wesentlichen verfahrenstechnischen Bemessungsgrundlagen werden im Weiteren kurz zusammengefasst:

- Verfahrenstechnik GAK-Filter 1-stufig
- 1. Stufe 6 Reaktoren mit 4,0 m Ø
- Festbetthöhe 4,0 m
- Aufenthaltszeit 18 - 22 min

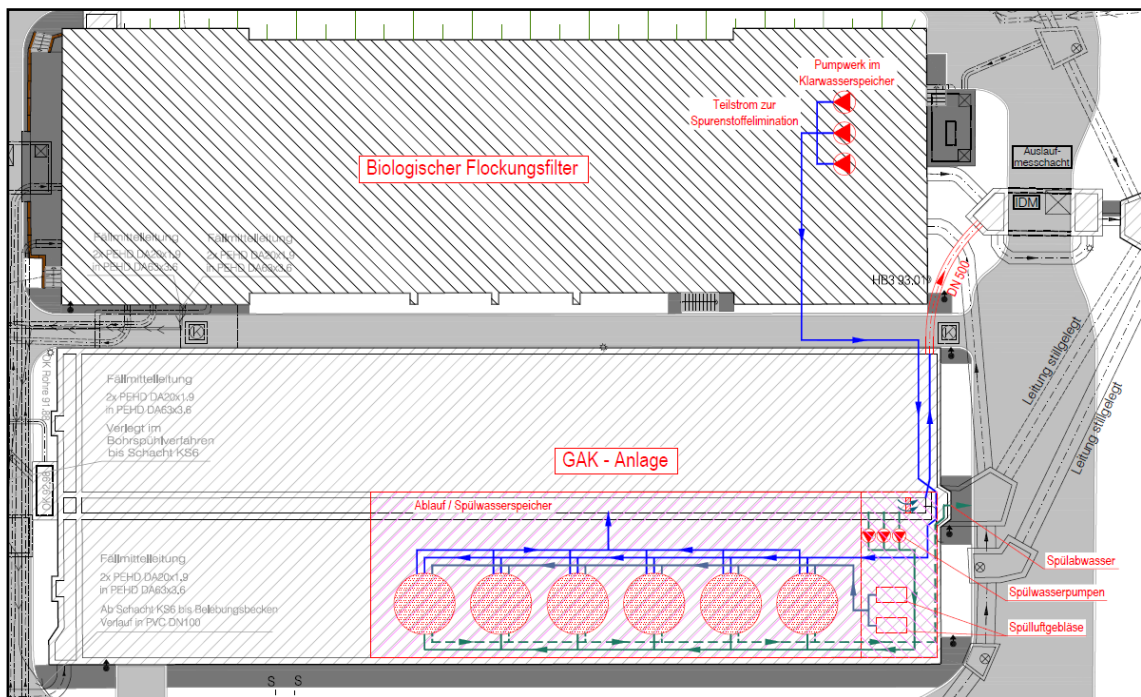


Abbildung 3: Lösungsvariante 1 - GAK - Nachgeschaltete Druckkessel (1-stufig)

Variante 2 - GAK in vorhandenen Flockungsfilter

Die Variante 2 untersucht eine weitergehende Abwasserreinigung durch das Einbringen granulierter Aktivkohle in 2 der 7 vorhandenen Flockungsfilter. Es ist ein 1-stufiges Lösungskonzept vorgesehen. Zur Umsetzung dieser Variante ist ein Umbau der vorhandenen Filtration notwendig.

In Variante 2 ist es vorgesehen, dass das Abwasser zunächst 5 Filterzellen der Flockungsfiltration durchfließt, damit eine möglichst weitgehende Elimination von Feststoffen in der Flockungsfiltration eine hohe Reinigungsleistung der anschließend durchströmten GAK-Filter sicherstellen kann. Zudem dienen die ersten Filterzellen der Phosphorelimination. Da die Filter mit einer maximalen

Filtergeschwindigkeit von 15 m/h bei Regenwetter und Außerbetriebnahme eines Filters zum Spülen betrieben werden können, kann mit den übrig bleibenden Filterzellen die maximale Abwassermenge von ca. 618 l/s behandelt werden. Bei dieser Variante ist keinen Bypass vom Rohwasserbecken zur Ablaufleitung der Flockungsfiltration mehr erforderlich, wie es aufgrund des höher gewählten Teilstromes in der Studie von 2011 noch nötig war.

Das zu filternde Wasser fließt über die Rohwasserrinne, die durch eine Trennwand in 2 Teile geteilt ist (Flockungsfilter, GAK-Filter), in die Filterzulaufschächte und von dort in die Filter. Nach Durchströmen der Flockungsfilter von unten nach oben fließt das gefilterte Wasser über die Klarwasserrinne, von der durch eine Trennwand der Teil der letzten 2 Filter abgetrennt ist, in das Klarwasserbecken. Hier fördern 2 + 1 Pumpen den Teilstrom für die Behandlung in den GAK-Filtern in den hinteren Teil der Rohwasserrinne, von wo es über die Filterzulaufschächte in die GAK-Filter fließt (siehe Abbildung 4).

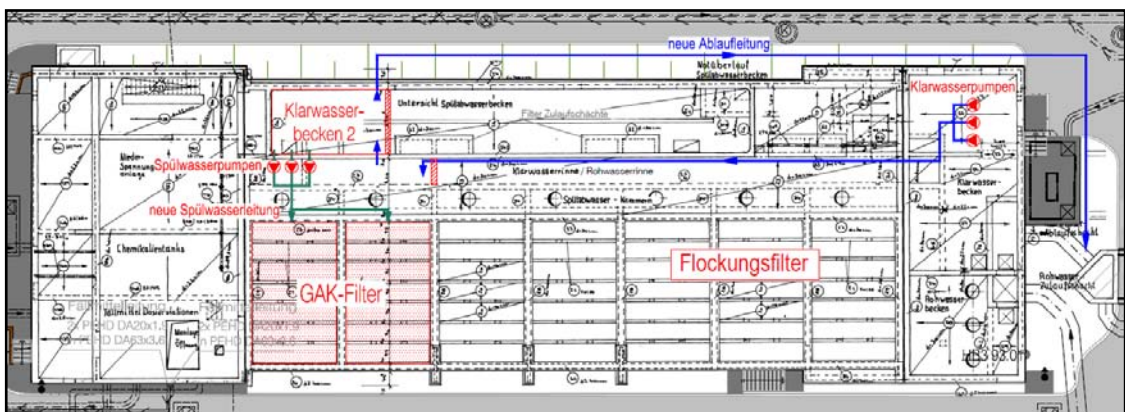


Abbildung 4: Variante 2 GAK in vorhandenen Filterzellen

Die 2 gewählten Filter werden mit einer 1,9 m hohen Filterschicht granulierter Aktivkohle ausgestattet. So bleibt ausreichend Freibord, um einen Abtrieb der Filterkohle mit einer Filterbettexpansion von etwa 50 % bei der Rückspülung zu verhindern. Die GAK-Filter haben eine Oberfläche von je ca. 40 m² und ein Gesamtvolumen von insgesamt 155 m³. Die maximale Filtergeschwindigkeit soll bei der Außerbetriebnahme eines Filters 15 m/h nicht übersteigen und eine Kontaktzeit von mindestens 8 Minuten bei maximalem Zufluss erreichen.

Das Wasser durchfließt die GAK-Filter von unten nach oben und gelangt über die abgetrennte Klarwasserrinne in ein 2. Klarwasserbecken. Dies wird durch eine Trennwand im vorhandenen Spülabwasserbecken geschaffen. Das Spülabwasserbecken verfügt über ein deutlich größeres Volumen als es gemäß Bemessung der Filter durch die Firma Philipp Müller Wasseraufbereitung

erforderlich ist, so dass ausreichend Volumen für ein 2. Klarwasserbecken vorhanden ist, zumal sich die Menge des Spülabwassers durch die geringeren Spülgeschwindigkeiten (ca. 15 m/h) der Spülung der GAK-Filter verringert.

Vom 2. Klarwasserbecken ist eine neue erdverlegte Ablaufleitung außerhalb des Filtergebäudes zum MID-Schacht vorgesehen. Das Klarwasserbecken 2 dient außerdem als Spülwasservorlage für die 2 + 1 Spülwasserpumpen für die GAK-Filter. Des Weiteren sind die vorhandenen Spülwasserleitungen der als GAK-Filter genutzten Filterzellen zu demontieren und durch neue Leitungen zu ersetzen.

Zusammengefasst lassen sich die wesentlichen Bemessungsergebnisse der klärtechnischen Berechnung des GAK-Filters wie auf der kommenden Seite folgt darstellen:

- | | |
|--------------------------------|-----------------------------|
| • Verfahrenstechnik GAK-Filter | 1-stufig |
| • 1. Stufe | 2 Filter mit 8,18 m x 5,0 m |
| • Festbetthöhe | 2,30 m |
| • Aufenthaltszeit | 18 min |

Variante 3.1 - Neubau Ozonreaktor

Bei der Variante 3.1 ist eine Ozonung des Ablaufes der Flockungsfiltration vorgesehen. Der neue zweistraßige Ozonreaktor soll südlich der Flockungsfiltration in dem Speicherbecken entstehen. Die Zulaufleitung der Filtration läuft an diesem Becken vorbei, sodass der Teilstrom mittels des vorhandenen Schachtbauwerkes entnommen werden kann. Dazu wird ein Teil des Wassers im Schacht angestaut und durch 2 + 1 Pumpen zum Reaktionsbecken gefördert.

Die Auslegungswassermenge zur Bemessung der Ozonanlage wurde auf die gewählten 170 l/s festgesetzt.

Für den Ozoneintrag kommen prinzipiell Mischinjektion oder Diffusoren in Frage. Nach neuesten Erkenntnissen liefern beide Systeme bei einem vergleichbaren Energieverbrauch ähnliche Eliminationsraten (HERBST ET AL. 2011). Für die Ausführung auf der Kläranlage Lage wird der Ozoneintrag über ein Injektorsystem vorgesehen. Dies bietet den Vorteil, dass bei einem im Filtrationsgebäude aufgestellten Ozonerzeuger und Injektor die Vermischung des Ozons mit dem Beschickungsvolumenstrom der Ozonreaktoren noch im Gebäude erfolgen kann. Es muss dann keine separate Ozonleitung aus dem

Gebäude zu den neu zu errichtenden Reaktoren gelegt werden. Dieser Teilstrom wird aus dem Ablauf des Behandlungsbeckens umgeleitet, mit Ozon gesättigt und in den Zulauf der Ozonreaktoren zurückgeführt.

Im Anschluss an das Durchfließen der Ozonreaktoren wird das Abwasser dann über eine Rohrleitung wieder der Zulaufleitung der Filtration zugeführt. Anschließend erfolgt die biologische Nachbehandlung in den Flockungsfiltern der Kläranlage.

Die Auslegung der Ozonerzeugung erfolgt auf eine maximale Dosierung von 10 mg O₃/l bei der Bemessungswassermenge von 170 l/s.

Gewählt wird eine Aufenthaltszeit im Ozonreaktor von insgesamt 20 Minuten. Dabei wird jedoch das letzte Viertel der Ozonreaktoren durch eine Leitwand vom Rest des Reaktors getrennt und als Ausgasungszone definiert, sodass eine Aufenthaltszeit im Reaktor von 15 Minuten verbleibt. Der Ozonreaktor wird 2-straßig ausgeführt. Die lichten Abmessungen einer Straße inkl. Ausgasungszone betragen 12,5 m x 4 m x 4,0 m. Das Gesamtvolumen der beiden Reaktorstraßen inklusive Ausgasungszonen ergibt sich zu 200 m³, von denen $\frac{3}{4}$ als Reaktionsraum und $\frac{1}{4}$ als Ausgasungszone genutzt wird. Die Anordnung der neu geplanten Anlagenteile ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

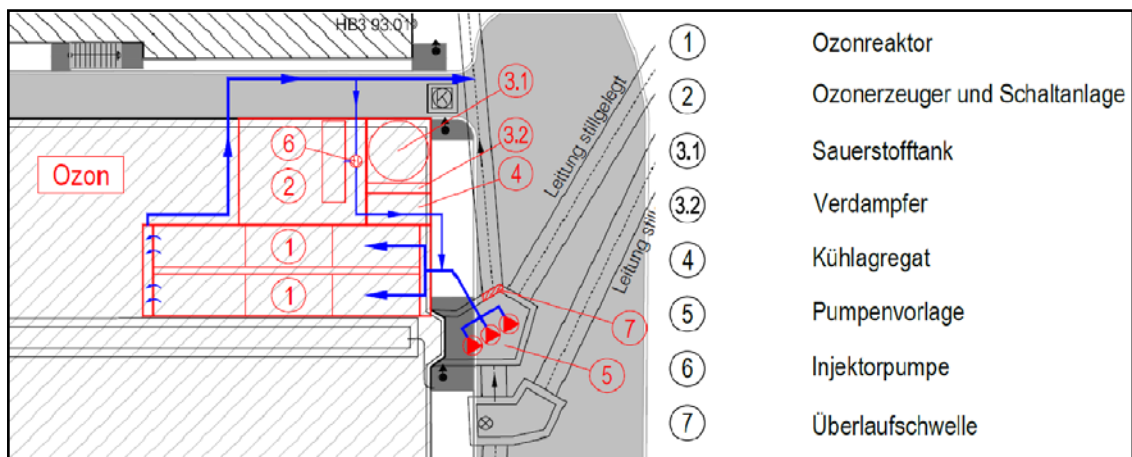


Abbildung 5: Variante 3.1: Nachgeschaltete Ozonung

Für eine optimale Regelung des Ozoneintrags erfolgen im Zulauf der Anlage die Messung der Wassermenge und DOC-Konzentration online. Um eine Überdosierung zu vermeiden und eine Bilanzierung des Ozoneintrags vornehmen zu können, werden zudem die Ozonkonzentration im Gasstrom nach dem Ozonerzeuger in der Abluft der Reaktionsbehälter und in der Wasserphase im Ablauf des Ausgasungsbehälters gemessen. Die Abluft aus der Injektorstraße

wird gezielt über einen Restozonvernichter behandelt, um eventuelle Restkonzentrationen vor Austritt in die Atmosphäre sicher zu eliminieren. Aus Gründen der Arbeitssicherheit werden im Raum zur Aufstellung des Ozonerzeugers die Ozon- und Sauerstoffkonzentrationen in der Raumluft gemessen. Bei Bedarf erfolgt eine optisch/akustische Warnung bzw. eine Abschaltung der Anlagen.

Die wesentlichen verfahrenstechnischen Bemessungsgrundlagen werden nachfolgend kurz zusammengefasst:

- Aufenthaltszeit im Reaktionsbehälter (inkl. Ausgasungszone) 15 + 5 = 20 Min.
- Ozondosierung bezogen auf Q_{Bem} 6 bis 10 mg O_3/l
- Sauerstoffbedarf 10 g $O_2/g O_3$

Aufgrund der o. g. Problematik der Transformationsprodukte wird in der Regel eine Stufe der biologischen Behandlung der Ozonung nachgeschaltet. Durch den nachfolgenden Aufenthalt in den Schönungsteichen der Kläranlage, in denen aufgrund des noch im Abwasser enthaltenen Sauerstoffes auch biologische Abbauprozesse ablaufen, werden zudem die während der Oxidation entstehenden, biologisch abbaubaren Verbindungen abgebaut.

Variante 3.2 - Ozonreaktor in vorhandener Filterzellen

Analog zur Variante 2 ist es ebenso möglich den Ozonreaktor in eine der bestehenden Filterzellen unterzubringen.

Dafür wird eine der Filterzellen in einen Ozonreaktor umgebaut und mit Stahltrennwänden für eine Erhöhung der Aufenthaltszeit versehen. Um ein Austreten des Ozongases in die Filterhalle und die Luft zu verhindern, müsste die Filterzelle sowie der Ablauf luftdicht mit einer Betondecke geschlossen werden. Der Zulauf zum Ozonreaktor wird über 2 + 1 Pumpen auf 170 l/s begrenzt werden. Hierfür ist auch ein Umbau des vorhandenen Rohwasserbeckens nötig. Da sowohl der Zu- wie auch der Ablauf aus dem oder in das Rohwasserbecken führen soll, muss dafür gesorgt werden, dass bereits behandeltes Wasser nicht wieder in den Ozonreaktor gepumpt wird. Dazu wird ein Teil des Rohwasserbeckens durch eine Wand mit Überfallkante abgetrennt. Die Zulaufpumpen werden hinter dieser Trennwand aufgestellt, während der Ablauf der Ozonanlage in das größere, nicht abgetrennte Rohwasserbecken zurückfließt. Die Planung sieht eine 2-straßige Anlage vor, in der beide Kammern

zusammen auf Aufnahme und Behandlung des gesamten Teilstroms ausgelegt werden.

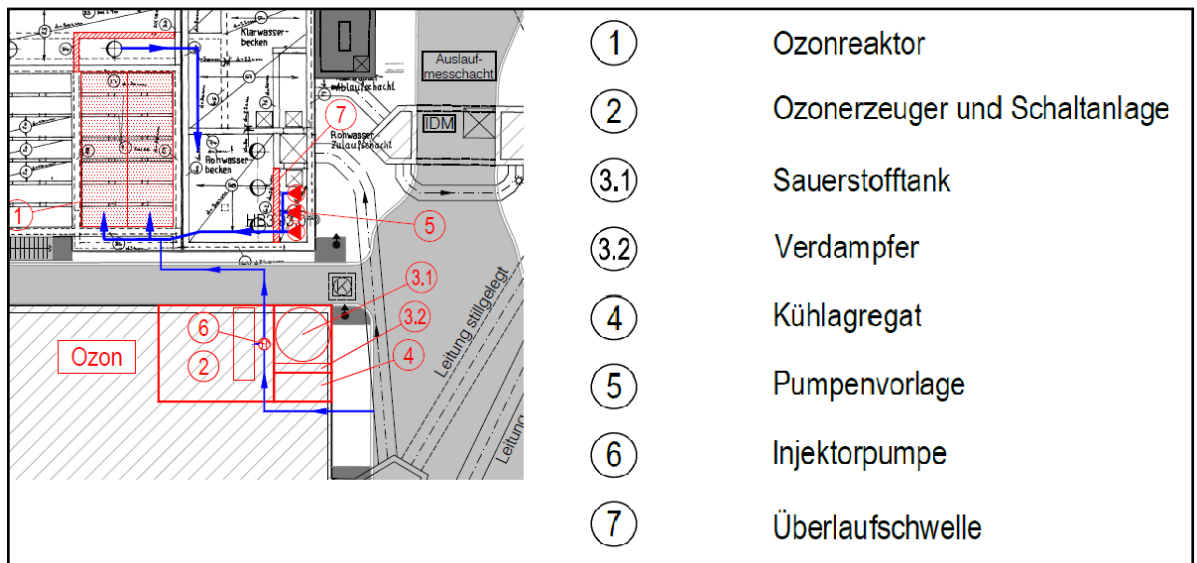


Abbildung 6: Variante 3.2 Ozonung in vorhandener Filterzelle

Auch bei dieser Variante wird, wie bei der nachgeschalteten Ozonbehandlung, ein Injektorsystem zur Ozoneintragung vorgesehen. Es könnte jedoch auch ein Diffusorsystem angewendet werden. Dann müsste jedoch die Zuleitung des Ozongases gesondert gesichert werden.

Alternativ wäre es auch denkbar die anliegende Filterzelle als Aufstellungsraum für Ozongenerator, Restozonvernichter und Schaltanlagen umzubauen und mit einem Zugang von außen auszustatten. Der benötigte Sauerstofftank und das Kühlaggregat müssten jedoch nördlich des Filtergebäudes an der vorhandenen Straße errichtet werden.

KOSTENSCHÄTZUNG

Es wurde eine Wirtschaftlichkeitsanalyse der vier zu untersuchenden Varianten für die Spurenstoffelimination durchgeführt. Für die Wirtschaftlichkeitsanalyse wurden sowohl die Investitionskosten als auch die Betriebskosten ermittelt und daraus die Jahreskosten errechnet. Die Ergebnisse werden im Folgenden dargestellt. Die Kostenschätzung ist in Anlage 4.1 beigefügt.

Investitionskosten

Basierend auf den klärtechnischen Berechnungen (siehe Anlage 3.1) und den Lageplanskizzen wurden die Investitionskosten für die verschiedenen

Lösungsvarianten geschätzt. Hierbei wurden Kosten für Bau-, Maschinen- sowie EMSR-Technik unterschieden. Die Kosten wurden anhand spezifischer Preise, basierend auf aktuellen Submissionsergebnissen sowie aktuellen Einheitspreisen ermittelt. Die Ergebnisse der Investitionskostenschätzung sind in Tabelle 3 unten zusammengefasst.

Tabelle 3: Investitionskosten

Kurztext	Variante 1	Variante 2	Variante 3.1	Variante 3.2
Bau	515.130 €	387.676 €	379.596 €	192.340 €
Maschinen	734.580 €	490.796 €	459.264 €	555.535 €
EMSR	249.942 €	175.694 €	167.772 €	149.575 €
Summe netto	1.499.652 €	1.054.166 €	1.006.632 €	897.451 €
19 % MwSt.	<u>284.934 €</u>	<u>200.293 €</u>	<u>191.260 €</u>	<u>170.516 €</u>
Summe brutto	1.775.318 €	1.254.458 €	1.197.892 €	1.067.967 €
Prozente	167 %	117 %	112%	100 %

Variante 1: GAK in nachgeschalteten Druckkesseln
 Variante 2: GAK in vorh. Flockungsfilter
 Variante 3.1: nachgeschaltete Ozonbehandlung
 Variante 3.2: Ozonanlage im Festbett

Die Investitionskosten für die Ozon Variante 3.2, welche eine Ozonbehandlung in einem vorhanden Filter vorsieht, sind mit ca. 1,07 Mio. € am niedrigsten. Die Kosten für die Varianten 3.1 und 2 liegen mit knapp 1,20 und 1,25 Mio. € brutto etwas höher. Die höchsten Kosten erreicht die nachgeschaltete GAK-Filtration mit 1,80 Mio. €

Betriebskosten

Um eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung durchzuführen, werden Jahreskosten berechnet. Hierbei sind die Betriebskosten der verschiedenen Konzepte von besonderer Bedeutung.

Für die Berechnung der Betriebskosten wurden die Kosten für Personal, Energie, Chemikalien sowie Wartung und Versicherungen ermittelt. Einsparungen in der Abwasserabgabe wurden bisher nicht berücksichtigt.

Nachfolgende Randbedingungen wurden bei der Ermittlung der Betriebskosten zugrunde gelegt.

- Energiekosten 0,19 €/kWh (brutto) = 0,16 €/kWh (netto)
- Facharbeiter 46.900 €/a
- Wartung/Versicherung 1 bzw. 2 % Investitionskosten

In die Ermittlung des Energiebedarfs wurden der Energiebedarf für Pumpen, Gebläse, Ozonerzeugung sowie die Messtechnik eingerechnet. Die Kosten für Chemikalien beinhalten im Wesentlichen die Kosten für die Aktivkohle und den Sauerstoff.

Als spezifischer Preis für die granuliert Aktivkohle wurden Kosten in Höhe von 1.600 €/t angesetzt. Bei der Berechnung der Investitionskosten wurden für die erste Füllung der granulierten Aktivkohlefilter ebenfalls die Kosten für neue Aktivkohle angesetzt. Die erforderlichen Mengen der GAK wurden in der klärtechnischen Berechnung ermittelt. Zur Betriebskostenberechnung wurden die mittleren Standzeiten der Aktivkohlefilter angesetzt.

Bei den Varianten 3.1 und 3.2 wurden Kosten in Höhe von 0,25 €/kg Sauerstoff angesetzt. Dies beinhaltet den Sauerstoff sowie die Tankmiete. Die erforderlichen Sauerstoffmengen wurden in der klärtechnischen Berechnung ermittelt.

In Tabelle 4 sind die Betriebskosten der unterschiedlichen Varianten zusammengefasst.

Tabelle 4: Betriebskosten

Kurztext	Variante 1	Variante 2	Variante 3.1	Variante 3.2
Personal	9.384 €	9.384 €	9.384 €	9.384 €
Energie	15.869 €	13.759 €	87.954 €	85.839 €
Chemikalien	148.800 €	148.800 €	66.226 €	66.226 €
Wartung/ Versicherungen	24.842 €	17.207 €	16.337 €	16.026 €
Summe netto	198.895 €	189.150 €	179.900 €	177.474 €
19 % MwSt.	<u>37.790 €</u>	<u>35.939 €</u>	<u>34.181 €</u>	<u>33.720 €</u>
Summe brutto	236.685 €	225.089 €	214.081 €	211.195 €
Prozente	112 %	105 %	101 %	100 %

Variante 1: GAK in nachgeschalteten Druckkesseln

Variante 2: GAK in vorh. Flockungsfilter

Variante 3.1: nachgeschaltete Ozonbehandlung

Variante 3.2: Ozonanlage im Festbett

Alle vier Varianten liegen mit Betriebskosten zwischen 225.000 € und 248.000 € nahe beinander. Variante 2 weist mit 225.000 € die niedrigsten Betriebskosten auf und unterscheidet sich um ca. 14.000 € von der Variante 3.1 mit den höchsten Betriebskosten.

Die Betriebskosten setzen sich im Wesentlichen aus Energiekosten und Kosten für Chemikalien zusammen. Während bei den Aktivkohlevarianten (Varianten 1 und 2) die höchsten Kosten bei den Chemikalien (Aktivkohle) auftreten, sind bei den Varianten 3.1 und 3.2 (Ozonanlage) die Energiekosten für die Ozonerzeugung der wesentliche Kostenfaktor.

Jahreskosten

Für die bessere Vergleichbarkeit der Varianten mit der Studie von 2011 wurden bei der Ermittlung der Jahreskosten die Randbedingungen von 2011 berücksichtigt. Bei der zweiten Jahreskostenberechnung sind dann die aktuellen Werte für die Abschreibungszeiträume und den Zinssatz gewählt worden.

Werte aus der Studie von 2011:

- Nutzungsdauer Bau 40 Jahre
- Nutzungsdauer Maschinenteknik 20 Jahre
- Nutzungsdauer EMSR-Technik 10 Jahre
- Kalkulatorischer Zinssatz 5 %

Tabelle 5: Vergleich der Jahreskosten (Kalkulatorische Grundlagen 2011)

Kurztext	Variante 1	Variante 2	Variante 3.1	Variante 3.2
Jahreskosten netto	320.229 €/a	273.879 €/a	261.689 €/a	251.549 €/a
19 % MwSt.	<u>60.844 €/a</u>	<u>52.037 €/a</u>	<u>49.721 €/a</u>	<u>47.794 €/a</u>
Jahreskosten brutto	381.073 €/a	325.916 €/a	311.409 €/a	299.343 €/a
Prozente	127%	109 %	104 %	100 %

Variante 1: GAK in nachgeschalteten Druckkesseln
 Variante 2: GAK in vorh. Flockungsfilter
 Variante 3.1: nachgeschaltete Ozonbehandlung
 Variante 3.2: Ozonanlage im Festbett

Anhand der Jahreskostenberechnung lässt sich erkennen, dass die Variante 1 mit rund 381.000 € die höchsten Kosten aufweist. Variante 2 mit ca. 326.000 € liegt deutlich dahinter und schon in dem Bereich der Ozon-Varianten. Diese liegen mit ca. 300.000 € bis 311.000 € um einiges niedriger als die Lösungen mit einer GAK-Behandlung.

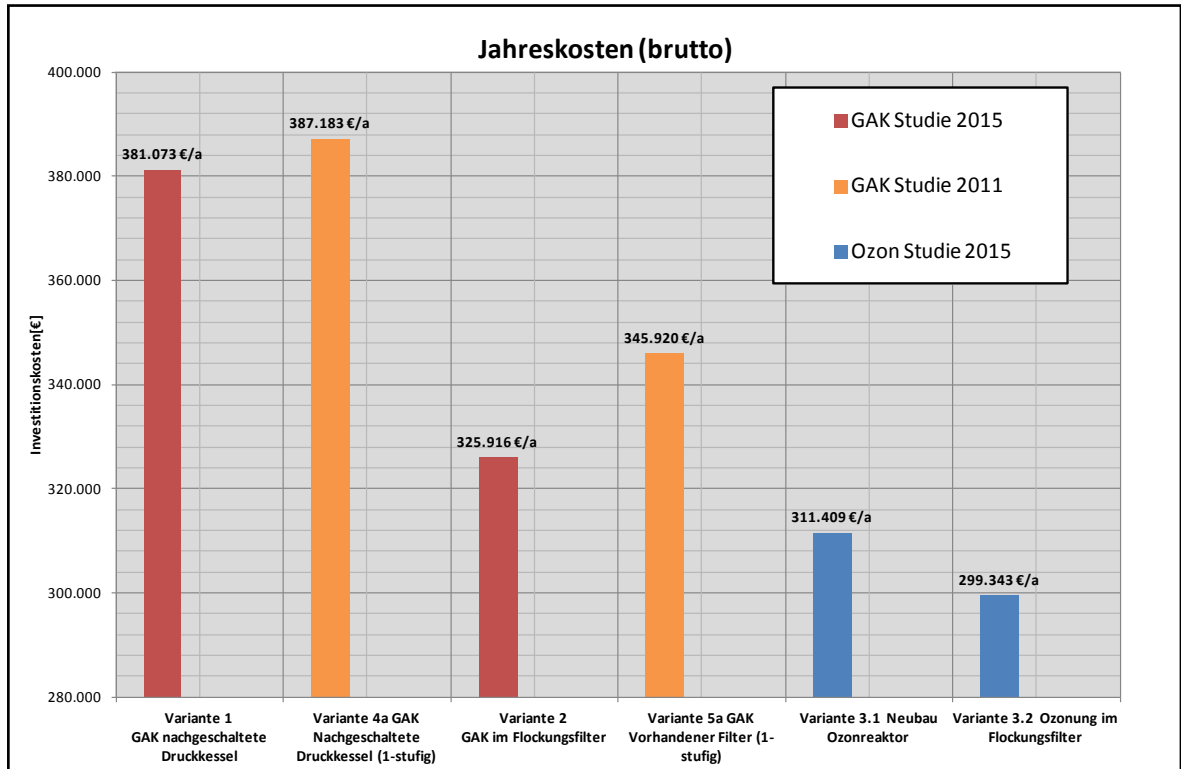


Abbildung 7: Vergleich Jahreskosten (Kalkulatorische Grundlagen 2011)

Aus der Machbarkeitsstudie von 2011 eignen sich zwei Varianten (Variante 4a - nachgeschaltete Druckkessel und Variante 5a - GAK in vorhandenen Filtern) zum direkten Vergleich mit den Varianten dieser Machbarkeitsstudie. In Abbildung 7 werden die Jahreskosten mit den Randbedingungen aus dem Jahr 2011 grafisch dargestellt.

Es ist zu erkennen, dass selbst die GAK-Varianten günstiger sind als die Varianten von 2011. Die Jahreskosten der Ozon-Varianten liegen sogar noch um einiges niedriger.

Kalkulatorische Grundlagen aus der Studie von 2015:

- Nutzungsdauer Bau 33 Jahre,
- Nutzungsdauer Maschinentechnik 12Jahre,
- Nutzungsdauer EMSR-Technik 12 Jahre,
- Kalkulatorischer Zinssatz 5,5 %.

Tabelle 6: Jahreskosten 5,5%

Kurztext	Variante 1	Variante 2	Variante 3.1	Variante 3.2
Jahreskosten netto	347.300 €a	292.199 €a	279.198 €a	270.688 €a
19 % MwSt.	<u>65.987 €a</u>	<u>55.518 €a</u>	<u>53.048 €a</u>	<u>51.431 €a</u>
Jahreskosten brutto	413.287 €a	347.717 €a	332.245 €a	322.119 €a
Prozente	128 %	108 %	103 %	100 %

Variante 1: GAK in nachgeschalteten Druckkesseln
 Variante 2: GAK in vorh. Flockungsfilter
 Variante 3.1: nachgeschaltete Ozonbehandlung
 Variante 3.2: Ozonanaloge im Festbett

Die Auswertung der Jahreskosten mit den neuen Werten bringt ein ähnliches Ergebnis wie zuvor. Die Varianten 3.1 und 3.2 liegen mit 322.000 € bis 332.000 € wieder am niedrigsten. Die GAK Varianten 1 und 2 haben mit Jahreskosten von 348.000 € bis 413.000 € sogar noch einen geringfügig größeren Abstand zu den Ozon-Varianten erreicht.

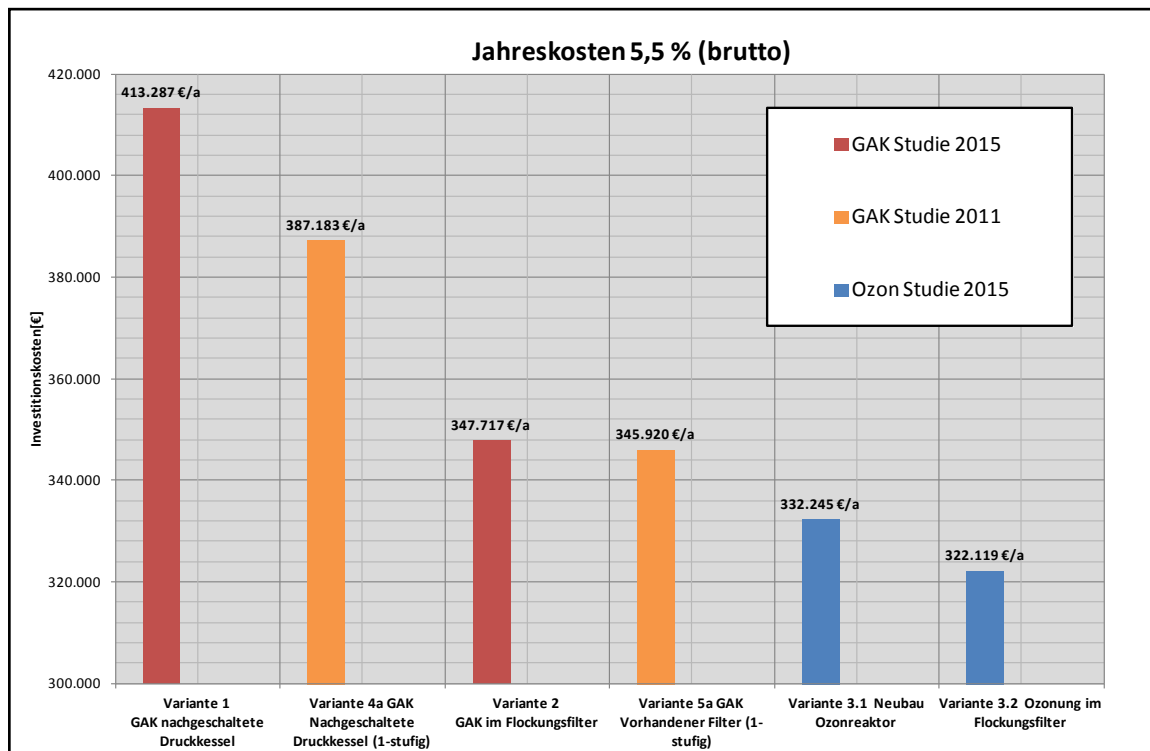


Abbildung 8: Vergleich Jahreskosten (Kalkulatorische Grundlagen 2015)

Der Vergleich der neuen Jahreskostenberechnung mit den Kosten der zwei Varianten aus der Studie von 2011 fällt im Vergleich zu der vorherigen deutlich anders aus.

Durch die kürzeren Abschreibungszeiträume und den höheren Zinssätzen steigen die Jahreskosten bei allen Varianten an. Dadurch sind die Kosten der beiden GAK-Varianten nun höher (Nachgeschaltete Druckkessel) oder annähernd gleich (GAK in vorh. Filtern) als die verfahrensgleichen Varianten aus der Machbarkeitsstudie von 2011. Zu erkennen ist allerdings auch, dass die beiden Ozon-Varianten nach wie vor die niedrigsten Jahreskosten aufweisen.

BEWERTUNG DER PLANUNGSKONZEPTE ZUR SPURENSTOFF-ELIMINATION

Abgesehen von den Kosten gibt es noch weitere Kriterien, wie z. B. die Reinigungsleistung, die Entstehung und Auswirkungen von möglichen Transformationsprodukten oder den Betriebsaufwand, welche die Auswahl der bevorzugten Verfahrensvariante beeinflussen. Die Hydro-Ingenieure GmbH erarbeitet hierfür eine Bewertungsmatrix (siehe Abbildung 6 und Anlage 5.1) in der eine Bewertung anhand dieser Kriterien für die verschiedenen Varianten durchgeführt wurde. Die Kriterien sind prozentual gewichtet und die Varianten mit einer Punktzahl von 1 bis 5, wobei 1 die niedrigste und 5 die höchste Bewertung darstellt, bewertet.

Kriterium	Gewichtung	Wertung						Filter	gewichtete Punkte	gewichtete Punkte	gewichtete Punkte	gewichtete Punkte	gewichtete Punkte	gewichtete Punkte	Summe	%
		Filter	Neuba	GAK in	GAK in	GAK in	GAK in									
S		4,60	33,5	4,60	35	3,80	29,5	3,60	31					100		
H		0,20	5	0,20	5	0,00	1	0,00	1					5		
N	-EMISSION	0,20	4	0,20	4	0,20	4	0,20	4					5		
W		0,20	4	0,20	4	0,20	4	0,20	5					5		
T		0,20	5	0,20	5	0,20	5	0,20	5					5		
R		0,30	3,5	0,30	3	0,30	3,5	0,50	5					10		
R		0,40	4	0,40	4	0,40	4	0,40	4					10		
P		1,00	5	1,00	5	0,80	4	0,80	4					20		
H		2,00	5	2,00	5	1,60	4	1,20	3					40		
			gewichtete Punkte		gewichtete Punkte		gewichtete Punkte		gewichtete Punkte							

5 = sehr gut
 4 = gut
 3 = befriedigend
 2 = ausreichend
 1 = schlecht

Abbildung 9: Bewertungsmatrix

In **Summe** schneiden die Varianten mit einer Ozonbehandlung mit 4,65 und 4,6 Punkten am besten ab. Um einiges geringer, mit einem Ergebnis von 3,86 und 3,66 Punkten schneiden die beiden Variante mit einer GAK-Filtration ab.

ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNG

Der städtische Abwasserbetrieb Lage betreibt die Kläranlage Lage mit einer Ausbaugröße von 125.000 EW. Anlässlich der aktuellen Diskussionen über die Auswirkungen von Spurenstoffen auf die Gewässerökologie und die Möglichkeiten der Elimination dieser Spurenstoffe auf kommunalen Kläranlagen, hat die Stadt Lage die Hydro-Ingenieure GmbH beauftragt im Rahmen einer Vorplanung die Möglichkeiten des Baues einer Anlage zur Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Lage zu untersuchen.

Es wurden die folgenden Verfahrensmöglichkeiten zur Spurenstoffelimination in die Vorplanung einbezogen:

- Variante 1 - Nachgeschaltete GAK-Filtration
- Variante 2 - GAK in vorh. Flockungsfiltren
- Variante 3.1 - Neubau Ozonreaktor
- Variante 3.2 - Ozonung im vorh. Filter

Die unterschiedlichen Verfahrensvarianten wurden hinsichtlich ihrer technischen Machbarkeit untersucht, die Jahreskosten geschätzt und eine Bewertung anhand ausgewählter Kriterien vorgenommen.

Vor dem Hintergrund der verschiedenen Erweiterungsmöglichkeiten der biologischen Reinigungsstufe wurde im Rahmen des Wirtschaftlichkeitsvergleiches deutlich, dass insbesondere die Konzepte der Spurenstoffelimination der Ozon-Varianten kostenmäßig günstiger abschneiden.

In der Gesamtbewertung, die neben den Jahreskosten auch die nicht monetären Kriterien berücksichtigt, schneidet Variante 3.2 (Ozonung in vorhandener Filterzelle) mit 4,65 Punkten am besten ab. Variante 3.1 (Ozonung als Neubau) liegt aufgrund der höheren Jahreskosten mit 4,6 Punkten nur knapp dahinter.

Mit der Umsetzung der Ozonung (Lösungskonzept) hat der städtische Abwasserbetrieb Lage die Voraussetzung, eine wirtschaftliche und betriebssichere Konzeption der Spurenstoffelimination umzusetzen.

Vor dem Hintergrund der Ergebnisse aus der Studie des Jahres 2010 ist mit der Ozonung nicht nur eine dem Stand der Technik angepasste Verfahrenslösung möglich, sondern ist mit nachfolgenden Eckdaten, bezogen auf die gebührenrelevante Frischwassermenge, eine deutlich wirtschaftlichere Lösung als vor 5 Jahren gegeben:

• Frischwassermenge (2012)	1275500 m ³ /a
• Jahreskosten	322.119 €/a
	0,195 €/m ³

Ursächlich für die im Jahr 2010 noch deutlich über 30 Cent/m³ liegende Gebührenerhöhung ist die deutlich kleinere Dimensionierung der 4. Reinigungsstufe, aufgrund des rückläufigen Trends der Wassermenge und des Erkenntnisgewinnes aus 5 Jahren Betriebserfahrung, die mit in die Gesamtbetrachtung eingeflossen sind.

NACHTRAG

Nach Abschluss der Studie wurde eine detailliertere Bewertungsmatrix mit Berücksichtigung von technischen, betrieblichen und ökonomischen Aspekten aufgestellt. Insgesamt wurden statt wie zuvor 8 diesmal 21 Bewertungskriterien gewählt, sowie die Veränderung bei unterschiedlicher Gewichtung untersucht. Die neue Bewertungstabelle, ist in Anlage 5.2 beigefügt.

Durch die detailliertere Betrachtung und die Einbeziehung von Kriterien wie z.B. Anlagenanordnung, Implementierung in bestehende Betriebsabläufe, Kenntnisse/ Ausbildungsstand und die Sensitivitätsanalyse haben sich gegenüber der ursprünglichen Bewertungsmatrix zusätzliche Vorteile der GAK Variante 2 herausgebildet, die zuvor nicht erkennbar waren. Insbesondere konnte das Betriebspersonal mehrere vorhandene Anlagen zur Spurenstoffelimination begehen. Die dabei gewonnenen Eindrücke haben zu einer positiveren Einschätzung der Filtration mittels granulierter Aktivkohle geführt.

Insgesamt ergab sich in der neu geführten Diskussion mit der vertiefenden Betrachtung der Bewertungskriterien ein deutlicher Vorteil der GAK Variante im vorhandenen Filter gegenüber der Spurenstoffelimination mittels Ozonung.

Die Bewertungsmatrix ist nachfolgend angefügt.