Kläranlage Höxter
4. Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroschadstoffen

Machbarkeitsstudie – Kurzbericht
Juni 2014
Projektnummer 1299 001

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

Kläranlage Höxter
4. Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroschadstoffen

Machbarkeitsstudie – Kurzbericht
Juni 2014
Projektnummer 1299 001

Bearbeitet durch:
Dr.-Ing. Jan Mauriz Kaub

Aufgestellt:
Bochum, im Juni 2014

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 Varianten 3

3.3.1 Variante 1: PAK mit Rücklaufkohle 3

3.3.1.1 Allgemein 3

3.3.1.2 Ausführung 4

3.3.2 Variante 2: Filtration über granulierte Aktivkohle 5

3.3.2.1 Allgemeines 5

3.3.2.2 Ausführung 6

3.3.3 Variante 3: Ozonung mit nachgeschaltetem Sandfilter 7

3.3.3.1 Allgemeines 7

3.3.3.2 Ausführung 8

3.3.4 Variante 4: Langsamfiltration 9

3.3.4.1 Allgemeines 9

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 Wasserrahmenrichtlinie 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 Stadtentwässerung Höxter haben die TUTTAHS & MEYER Ing.-GmbH beauftragt, für die Kläranlage Höxter eine solche Studie auszuarbeiten.

Mit der Studie soll eine Entscheidungsgrundlage geschaffen werden, um die Auswahl eines möglichen Verfahrens durch die Stadtentwässerung 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 in einer Systemskizze und im Lageplan;
- 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 Höxter weist eine Ausbaugröße von 30.000 EW_{CSB120} auf. Der Vorfluter der Anlage ist die Weser. 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 landwirtschaftlich verwertet. Zur Behandlung der Pro-

zesswässer aus der Schlammbehandlung vor Einleitung in den Hauptstrom verfügt die Kläranlage Höxter über eine Prozesswasserbehandlungsanlage (BABE-Prozess).

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 Höxter eine Kapazität zur Behandlung von 1.670 m³/h vorgehalten werden. Die Auswertung der Abwassermengen zeigt jedoch deutlich, dass bereits Abwassermengen > 810 m³/h an weniger als 2,4 % Stunden im betrachteten Zeitraum überschritten werden.

Die Verfahrensstufe kann so bei einer Behandlung von 90,74 % der Jahresabwassermenge im Vergleich zur Vollstrombehandlung um 70 % kleiner ausgeführt werden. Im Verhältnis der erreichbaren Wirkungsgrade von 79 % oder 85 % wird die Teilstrombehandlung mit einem Volumenstrom von **378 m³/h** als geeignet betrachtet, sodass die Bemessung und der Verfahrensvergleich auf Grundlage dieser Bemessungswassermenge beruhen.

Bei einem Teilstrom von maximal 378 m³/h würde eine Abwassermenge von rund **1.361.716 m³/a** in der vierten Reinigungsstufe behandelt.

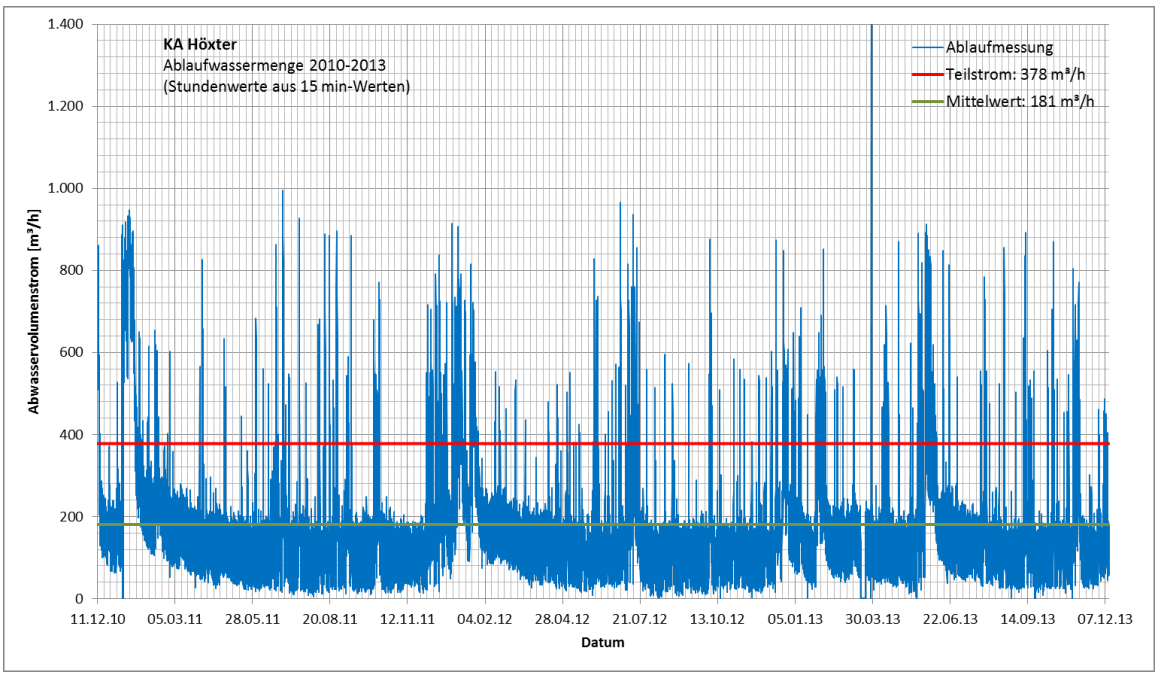


Bild 1: Behandelte Abwassermenge in Abhängigkeit des Bemessungszuflusses der Verfahrensstufe zur Spurenstoffelimination

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 Nachbehandlung im vorhandenen Schönungsteich.** Ablauf der Nachklärung wird mit Ozon behandelt und anschließend in den vorhandenen Schönungsteich geleitet, der als biologisch aktive Stufe fungiert
4. **Langsamfilter** Ablauf der Nachklärung wird über einen Langsamfilter als Erdbecken geführt. Die Variante wird als
   Teilvariante a) mit einer nachgeschalteten Ozonung sowie als
   Teilvariante b) ohne diese
   betrachtet.

3.3 Varianten

3.3.1 Variante 1: PAK mit Rücklaufkohle

3.3.1.1 Allgemein

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

Für die Kläranlage Höxter 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 Erneuerung der bestehenden Dosieranlage notwendig. Insgesamt muss die Fällmitteldosierung auf der Kläranlage von zweiwertigem Eisen (Grünsalz) auf ein dreiwertiges Eisenprodukt umgestellt werden. Hintergrund ist, dass die notwendige Oxidation des zweiwertigen Produktes im Zulauf des Absetzbeckens der PAK-Stufe nicht sichergestellt werden kann. Die Umstellung bringt zudem Vorteile in der Belebung, da das Fällmittel sofort wirksam ist. Die spezifischen Kosten für dreiwertige Fällmittel liegen jedoch höher als bei Grünsalz, dafür ist die Handhabung auf der Kläranlage einfacher (kein Anlösen).

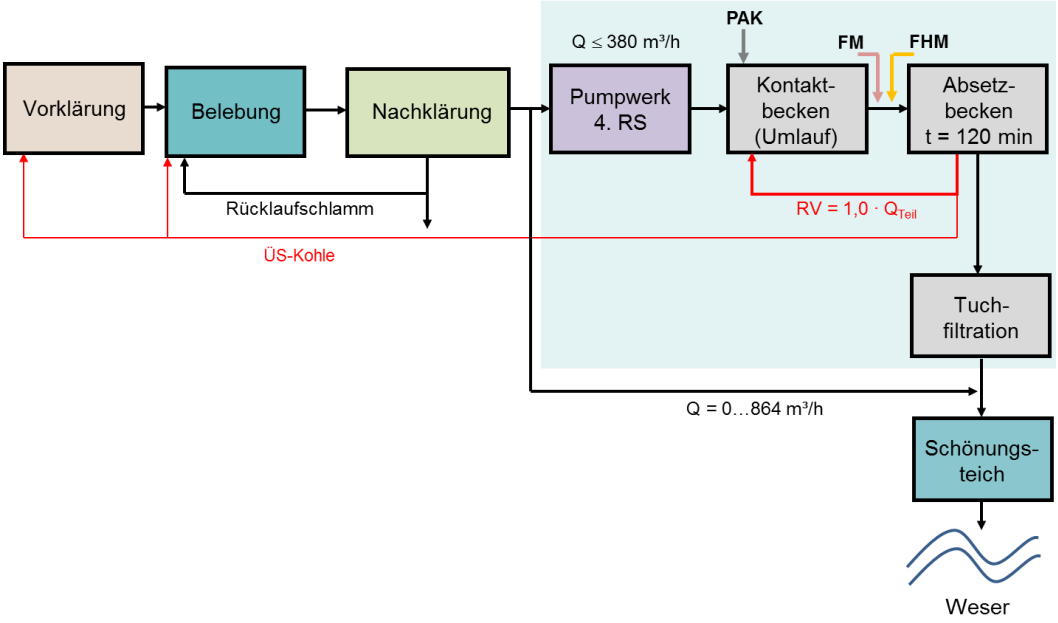


Bild 2: Systemskizze Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle

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 380 m³/h behandelt wird.

Ein Mehrverbrauch an Fällmittel (Me-Salzen) gegenüber dem Ausgangszustand konnte beispielsweise in Böblingen-Sindelfingen nicht festgestellt werden, da die Dosierung der Simultanfällung reduziert werden konnte. Die Dosierung hat sich also in die 4. Reinigungsstufe verlagert.

Bei dieser Variante erhöht sich der Schlammanfall der Kläranlage. Nach Erfahrungen von bereits in Baden-Württemberg realisierten Anlagen setzt sich der in dieser Stufe anfallende Schlamm zu jeweils einem Drittel aus Aktivkohle, Organik und anorganischen Fällprodukten zusammen.

3.3.1.2 Ausführung

Pumpwerk 4. Reinigungsstufe

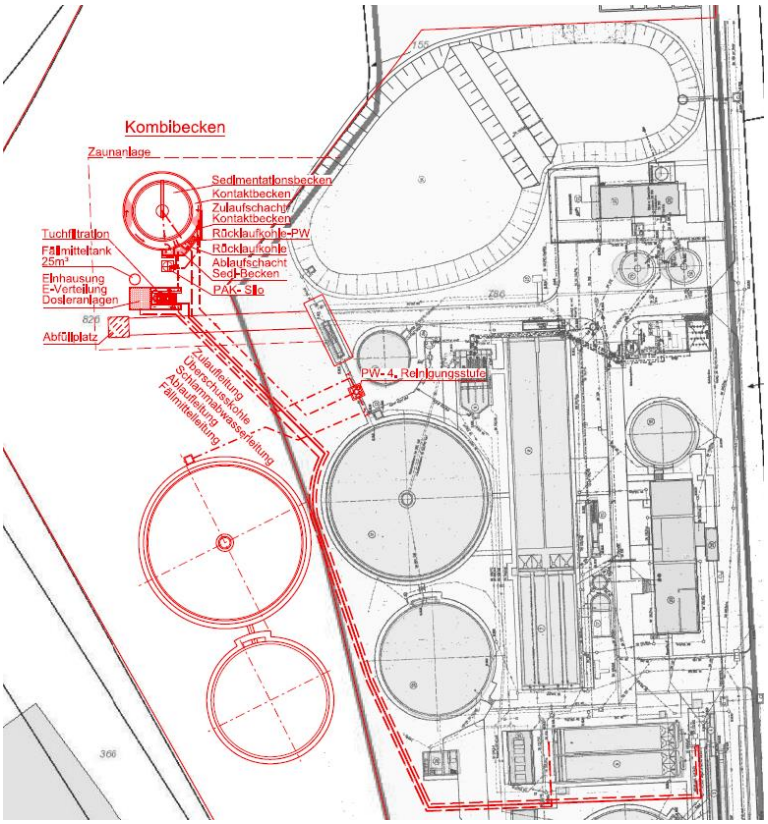
Die Beschickung der PAK-Stufe erfolgt über das Pumpwerk 4. Reinigungsstufe, das in die bestehende Ablaufleitung vor dem Mengenmessbauwerk angeordnet wird. Die Ablaufleitung von der 4. Reinigungsstufe wird ablaufseitig in das Pumpwerk eingebunden.

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

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

Dem Absetzbecken wird die Tuchfiltration zur Suspensa-Restentfernung nachgeschaltet.

Das PAK-Silo, die Bereitungsanlage für das Flockungshilfsmittel wird neben der Kombibecken angeordnet.



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 380 m³/h wird über Aktivkohlefilter geführt.

Die Filterstufe wird anhand folgender Bemessungsparameter ausgelegt:

Leerbettkontaktzeit (EBCT):	10…30	min
Filtergeschwindigkeit:	5…20	min
Betthöhe GAK:	1,5…3	m

Folgende Werte wurden gewählt:

Anzahl Filter:	4	Stück

Betthöhe GAK:	2,5	m
Leerbettkontaktzeit (EBCT):	30	min
Filterfläche gesamt:	78	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.

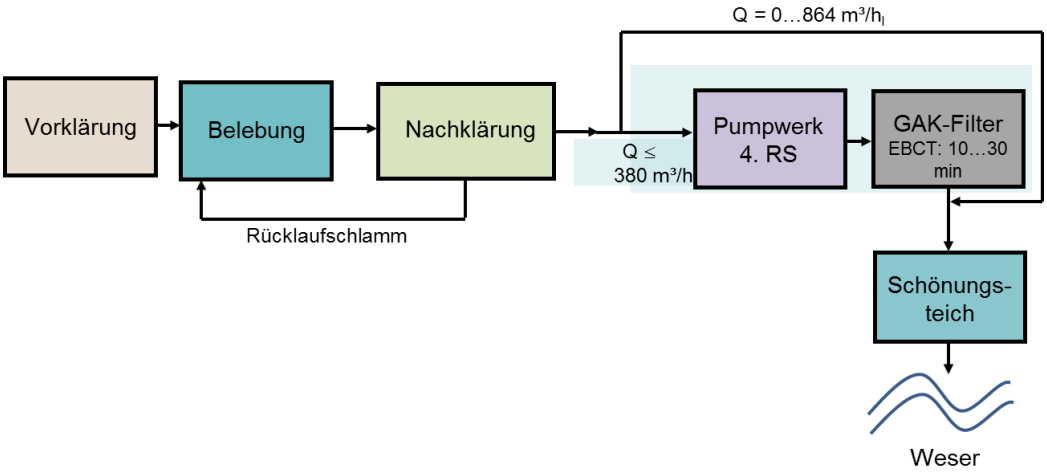


Bild 3: Systemskizze Variante 2: GAK-Filtration

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 vier Filterkammern sowie der Spülabwasserspeicher und der Spülwasserspeicher werden in einem Bauwerk zusammengefasst. Das Pumpwerk 4. Reinigungsstufe wird analog zur variante 1 ausgeführt.

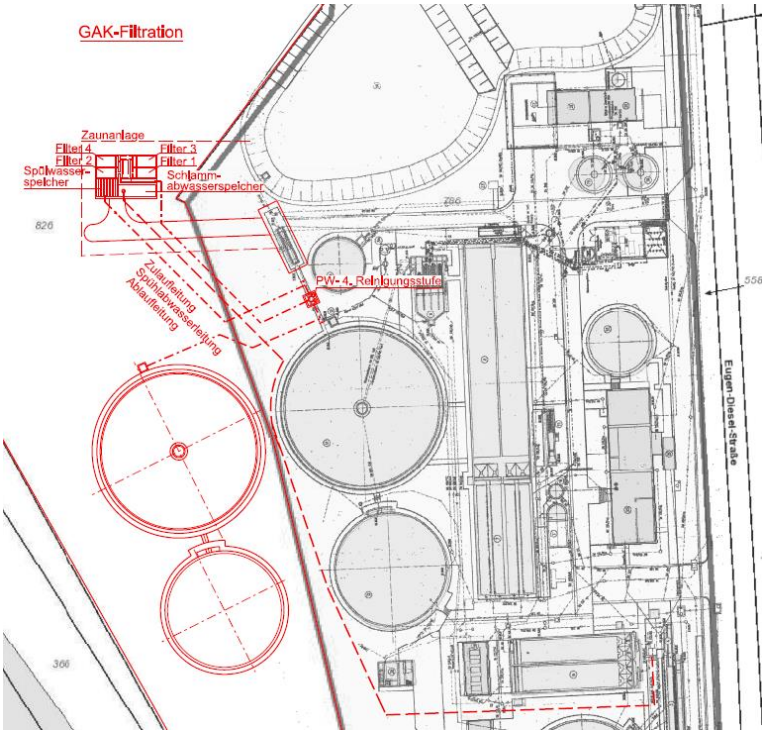


Bild 4: Lageplanausschnitt Variante 2: GAK-Filtration

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/m³
Kontaktzeit im Reaktionsbehälter:	10…30	min

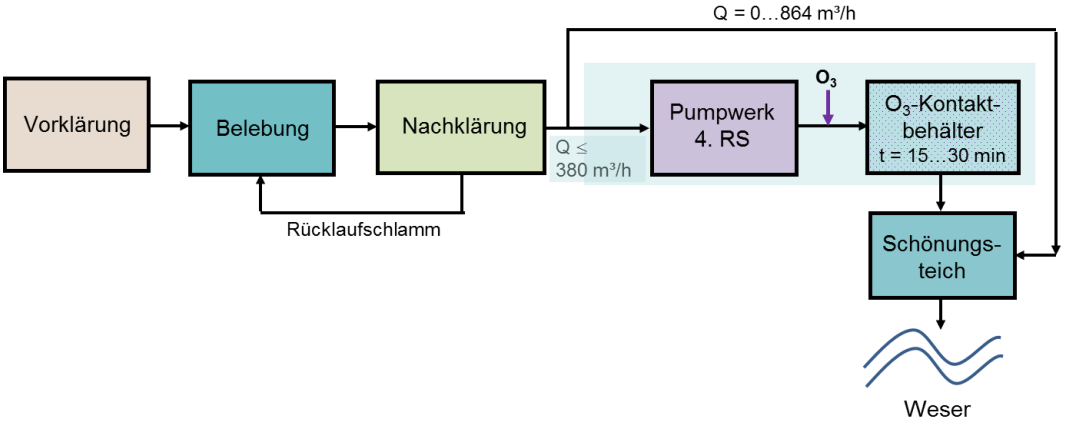


Bild 5: Systemskizze Variante 3: Ozonung

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 30 mg/l (ZAK-Studie) 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 10 mg/l. Die großtechnischen Versuche in Regensdorf (Abbegglen u. a. 2009) kamen zu dem Ergebnis, dass eine Dosis von 0,62 mg O_3/mg DOC hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Wirkung ein Optimum darstellte. Dieser Wert wurde hier übernommen. Damit ergibt sich die mittlere Ozondosis zu:

$c_{O3,a}$ = 10 mg DOC /l · 0,62 mg O_3/mg DOC = 6,20 mg O_3/l

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

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

3.3.3.2 Ausführung

Die Anlagenteile gliedern sich in das Anlagengebäude, das die Ozonerzeugung mit den Nebenaggregaten sowie die Schaltanlage aufnimmt, sowie dem Ozon-Kontaktbehälter. Vor dem Gebäude ist die Tankanlage für den benötigten Flüssigsauerstoff angeordnet. Die Ozonung mit Ozonerzeuger und Kontaktbecken ist in einigen Anlagenteilen zweistraßig ausgeführt. Bei geringem Durchfluss (z. B. in der Nacht) kann eine Straße außer Betrieb genommen werden.

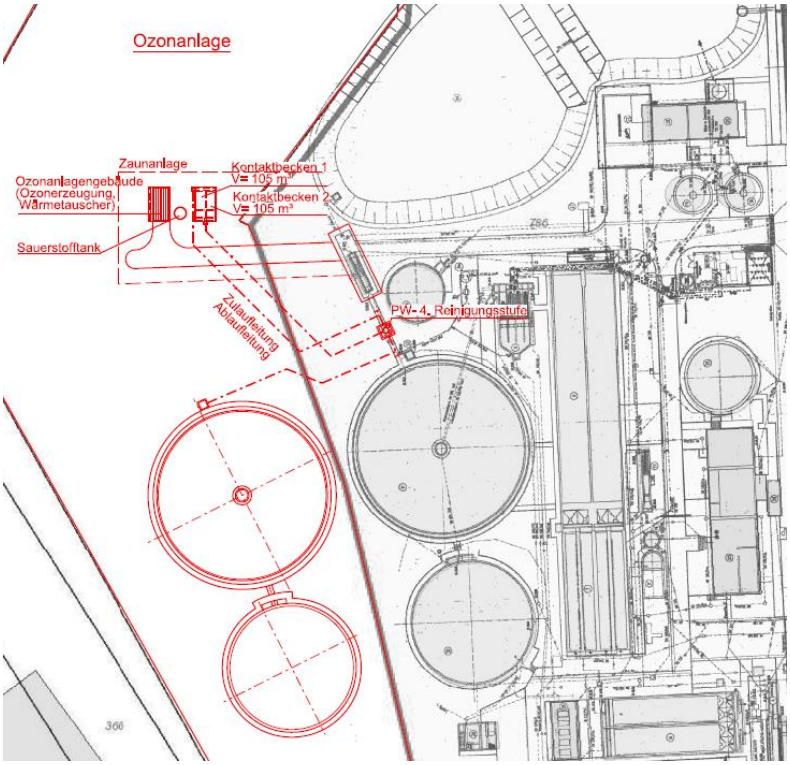


Bild 6: Lageplanausschnitt Variante 3: Ozonung mit nachgeschaltetem Schönungsteich

3.3.4 Variante 4: Langsamfiltration

3.3.4.1 Allgemeines

Dieses Verfahren stellt unter den untersuchten Varianten eine Besonderheit dar, da es auf natürlichen Prozessen beruht. Im Vergleich zu den rein technischen Verfahren ist es jedoch deutlich flächenintensiver.

Die Variante wird in zwei Teilvarianten untergliedert.

In **Variante 4a** wird der Langsamfilter mit der Ozonung kombiniert. In der Literatur wird berichtet, dass die Langsamfiltration zum Teil sehr gute Reinigungsergebnisse im Hinblick auf die Spurenstoffe erzielt, jedoch erreicht sie nicht durchgängig die Wirkungsgrade der technischen Verfahren, bzw. die Wirkung lässt sich durch geänderte Dosierung bei der PAK- oder Ozon-Variante nicht an den Bedarf anpassen. Aus diesem Grund wird in dieser Variante die Langsamfiltration mit der Ozonung kombiniert. Durch den nachgeschalteten Einsatz von Ozon können die verbliebenden Spurenstoffe gezielt eliminiert werden.

Die Ozoneinsatzmengen dürften durch die weitgehende Vorbehandlung (auch Partikelentfernung) deutlich reduziert werden. Für die Betriebskostenabschätzung wird von einer Dosierung von 3,5 mg/l, anstelle von 7,0 mg/l bei Variante 3 ausgegangen.

Die Auslegung der Ozonung und der Kontaktbehälter folgt ansonsten Variante 3.

In nachfolgender Systemskizze ist die Variante 4a dargestellt:

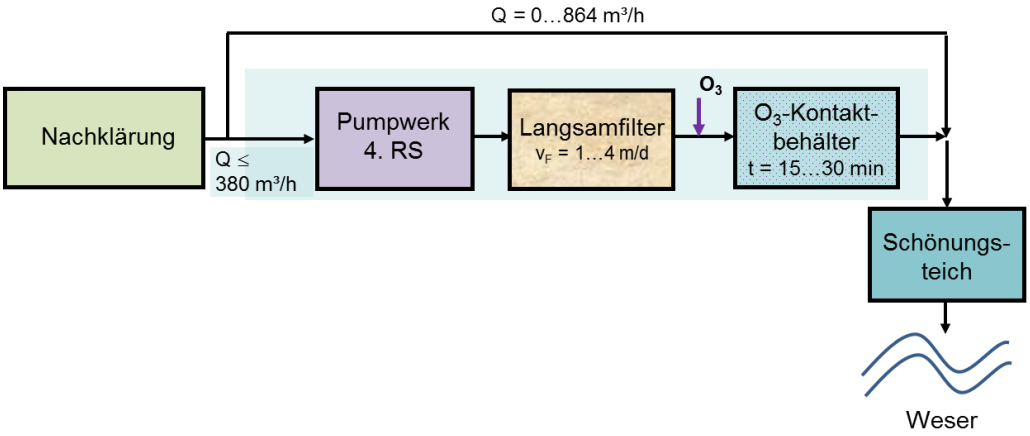


Bild 7: Systemskizze Variante 4a: Langsamfilter mit nachgeschalteter Ozonung

In **Variante 4b** entfällt die Ozonung. Dadurch reduzieren sich die Invest- und Betriebskosten, jedoch ist die Reinigungsleistung nicht auf dem Niveau der anderen Varianten.

Zu beachten ist, dass die oberste Schicht des Filters mit der darauf gebildeten Schmutzdecke in regelmäßigen Abständen entfernt werden muss, um die hydraulische Leistungsfähigkeit des Filters wiederherzustellen. Hierzu liegen für die Anwendung des Langsamfilters im Abwasserbereich keine gesicherten Kosten vor.

Über die Behandlung der anfallenden Reststoffe liegen für den Abwasserbereich keine belastbaren Daten vor. Es ist davon auszugehen, dass der abgeschälte Sand nach Reinigung und Aufbereitung wieder eingebaut werden kann.

Im Rahmen der Betriebskostenaufstellung wurde ein einmaliges Abschälen des Filters pro Jahr angesetzt.

Nachfolgende Systemskizze zeigt Variante 4b:

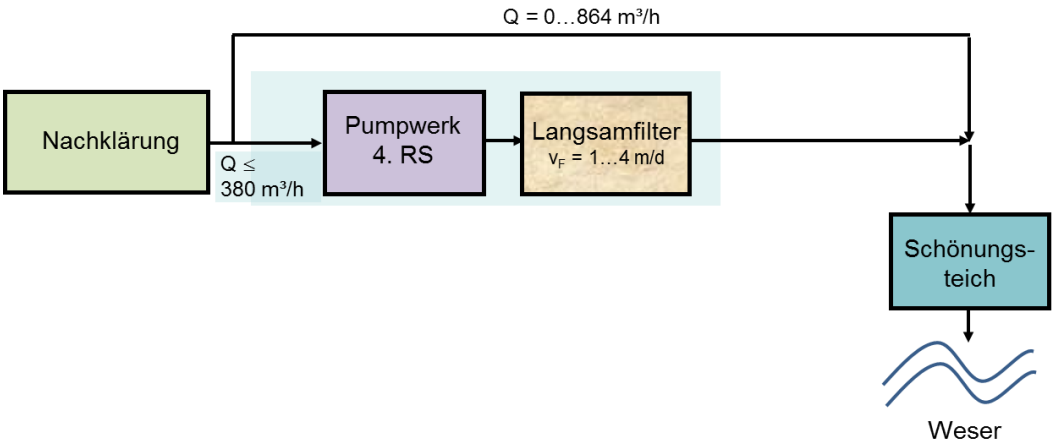


Bild 8: Systemskizze Variante 4b: Langsamfilter

3.3.4.2 Ausführung

Die Beschickung der beiden Langsamfilter erfolgt über das Pumpwerk 4. Reinigungsstufe, das in die bestehende Ablaufleitung vor dem Mengenmessbauwerk angeordnet wird.

Der Langsamfilter wird als foliengedichtetes Erdbecken ausgeführt. Das Filtrat wird über Dränrohre in der Stützschicht gefasst. Über einen Ablauf der Filter wird ein ausreichender Einstau des Filters sichergestellt.

Über Rohrleitungen wird das Abwasser vom Pumpwerk 4. Reinigungsstufe zu einem Verteilerbauwerk geführt. Über Schwellen erfolgt hier die Gleichverteilung des Volumenstroms auf die beiden Filter.

Die Ozonung in Variante 4a entspricht Im Aufbau der Variante 3.

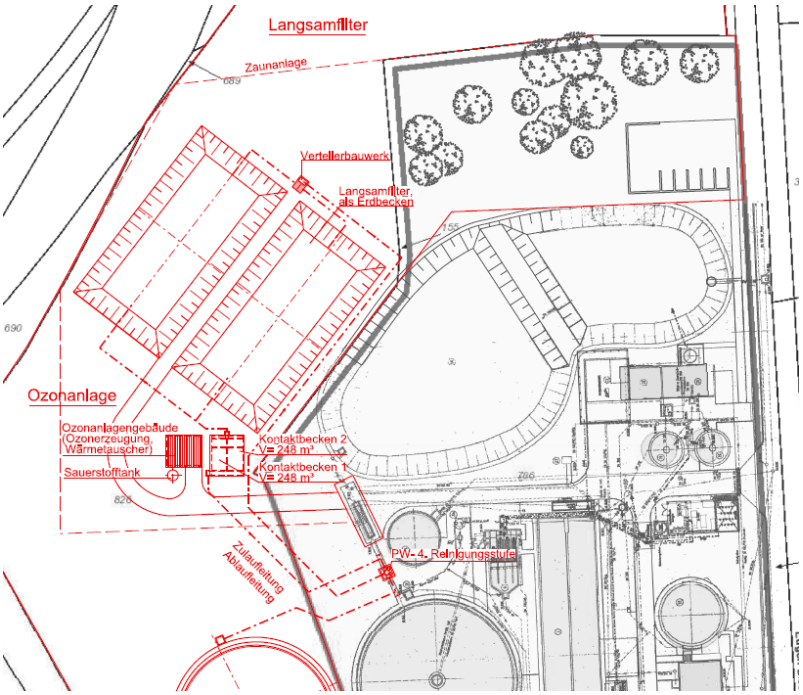


Bild 9: Lageplanausschnitt Variante 4a: Langsamfilter mit nachgeschalteter Ozonung

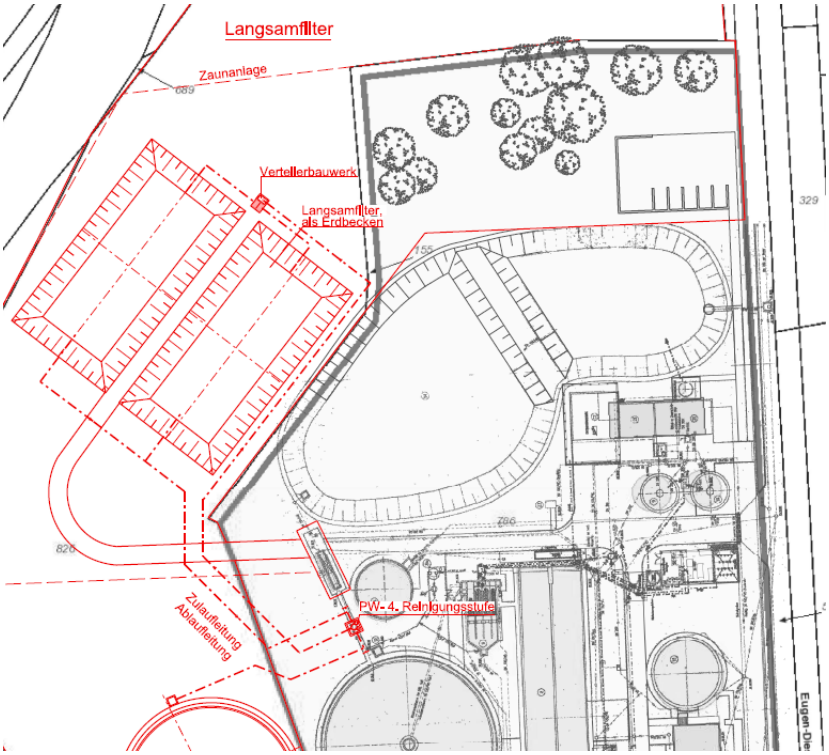
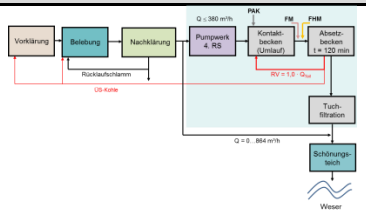
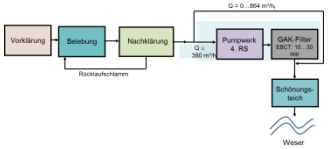
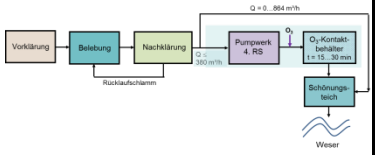
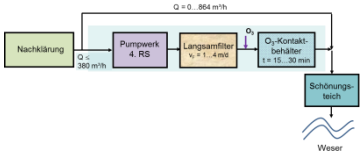
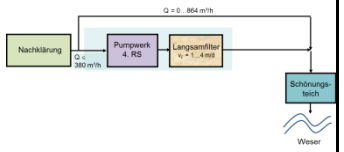


Bild 10: Lageplanausschnitt Variante 4b: Langsamfilter

3.4 Ergebnisübersicht Varianten

	Variante 1 PAK mit Rücklaufkohle	Variante 2 GAK-Filtration	Variante 3 Ozonung + Teich	Variante 4a LSF + Ozonung	Variante 4b Langsamfiltration
					

Anlagenkom-ponenten	**Kontaktbecken:**
	t_A = 30 min, V = 567 m³
	Absetzbecken:
	D_i = 17 m, $h_{2/3}$ = 4 m
	A_{ges} = 217 m², V_{ges} = 869 m³
	Tuchfiltration (zweistraßig):
	$A_{F,ges}$ = 60 m²
	PAK-Silo:
	V = 50 m³
		GAK-Filtration:
		4 Filter
		A = 78 m², H_{FB} = 2,5 m,
		V = 195 m³
			Flüssigsauerstoff:
			Tankanlage und Verdampfer
			Ozonerzeuger:
			2 x 1.900 g O_3/h
			Reaktionsbehälter:
			2 Straßen,
			je L = 7 m; B = 2,5 m;
			V = 105 m³
				Langsamfilter:
				2 Filter
				je L = 50 m; B = 20 m;
				A = 1000 m²
				$h_{Filter, ges}$ = 3 m
				Flüssigsauerstoff:
				Tankanlage und Verdampfer
				Ozonerzeuger:
				2 x 1.900 g O_3/h
				Reaktionsbehälter:
				2 Straßen,
				je L = 7 m; B = 2,5 m;
				V = 105 m³
					Langsamfilter:
					2 Filter
					je L = 50 m; B = 20 m;
					A = 1000 m²
					$h_{Filter, ges}$ = 3 m

	Variante 1 PAK mit Rücklaufkohle	Variante 2 GAK-Filtration	Variante 3 Ozonung + Teich	Variante 4a LSF + Ozonung	Variante 4b Langsamfiltration
Vorteile	• keine Bildung von Reaktions-produkten • Wirkungsweise der Stoff-elimination eindeutig • Sehr guter Sus-pensarückhalt im AB und durch Filtration • Sehr gute Reduzierung P_{ges} und CSB • Mehrfachbeladung der PAK	• keine Bildung von Reaktionsprodukten • Wirkungsweise der Stoffelimination ein-deutig • Sicherer und einfacher Betrieb • Suspensarückhalt durch Filtration	• geringer Platzbedarf	• geringerer Ozonbedarf durch Vorreinigung in LSF • sehr gute Wirkung bei CSB und Suspensa	• einfache Technik • geringer Energiebedarf • sehr gute Wirkung bei CSB und Suspensa • Sicherer und einfacher Betrieb • keine Bildung von Reaktionsprodukten • kein Einsatz von Be-triebsstoffen
Nachteile	• höhere Schlammanfall als bei den anderen Varian-ten • Betreuungsintensiv, da Dosierung von PAK, FHM und FM	• GAK-Austausch • Hoher Kohlebedarf in Vergleich zu anderen Varianten	• keine Wirkung auf CSB und P_{ges} • höherer Energiebedarf • hohe Sicherheitsanforde-rungen an den Arbeits-schutz, da Ozon toxisch und als Reizstoff wirkt	• flächenintensiv • regelmäßige Reinigung erforderlich (abschälen)	• flächenintensiv • regelmäßige Reini-gung erforderlich (ab-schälen) • geringere Elimination der Spurenstoffe

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 + Teich	Variante 4a LSF + Ozonung	Variante 4b Langsamfiltration
A	Kapitalgebundene Kosten	EUR/a	171.474,52	119.879,84	132.623,13	223.906,74	117.681,73
B	Betriebsgebundene Kosten	EUR/a	80.742,06	54.655,79	62.303,26	84.697,92	45.039,75
C	Verbrauchsgebundene Kosten	EUR/a	76.366,16	97.931,54	44.743,25	87.771,39	63.727,43
Summe Jahresskosten, netto		**EUR/a**	**328.582,74**	**272.467,18**	**239.669,65**	**396.376,04**	**226.448,90**
Mehrwertsteuer: 19%		EUR/a	62.430,72	51.768,76	45.537,23	75.311,45	43.025,29
Summe Jahreskosten, brutto		**EUR/a**	**391.013,46**	**324.235,94**	**285.206,88**	**471.687,49**	**269.474,20**
Anteil			**137%**	**114%**	**100%**	**165%**	**100%**
	spez. Kosten, netto	EUR/m³	0,24130	0,20009	0,17601	0,29109	0,16630
	spez. Kosten, brutto	**EUR/m³**	**0,28715**	**0,23811**	**0,20945**	**0,34639**	**0,19789**

Die günstigsten Jahreskosten ergeben sich bei Variante 4b (Langsamfiltration) und 3 (Ozonung mit Teich) mit ca. 269.000 bis 285.000 EUR/a, brutto, die auch schon die niedrigsten Betriebskosten aufwiesen. Die Variante 2 (GAK-Filtration) folgt mit 324.000 EUR/a, brutto. Die Jahreskosten der Variante 1 (PAK) liegen mit 391.000 EUR/a, brutto auf dem vierten Rang. An letzter Stelle liegt die Variante 4a mit 471.000 EUR/a, brutto.

Die errechneten spezifischen Behandlungskosten beziehen sich auf das im Teilstrom behandelte Abwasservolumen.

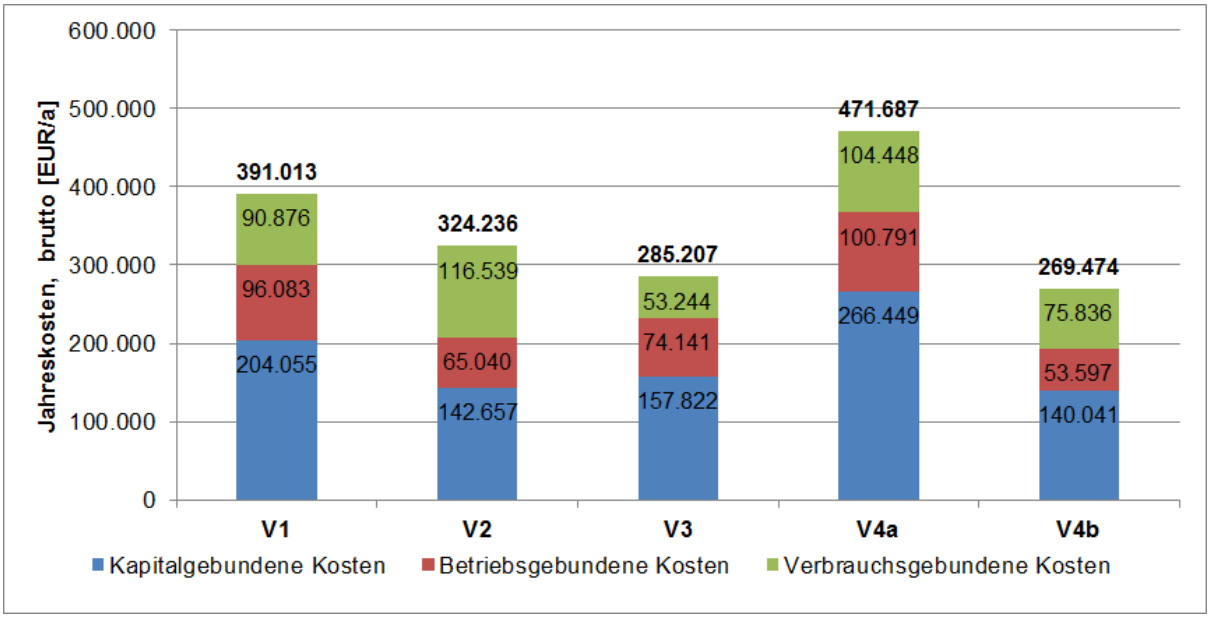


Bild 11: Anteile kapital-, betriebs- und verbrauchsgebundene Kosten an den Jahreskosten der Varianten

Aus der im **Bild 11** 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.

Die Gewichtung der einzelnen Kriterien wurde mit der Stadtentwässerung Höxter abgestimmt.

Tabelle 2: Bewertungsmatrix für die Varianten 1 bis 4

Kriterium	Wichtung	Wertung									
		Variante 1 PAK m. Rücklaufk.		Variante 2 GAK-Filtration		Variante 3 Ozonung + Teich		Variante 4a Langsamfilt. + Ozonung		Variante 4b Langsamfiltration	
		Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet
Jahreskosten	0,32	3	0,96	4	1,28	5	1,6	2	0,64	5	1,6
Reinungsleistung Spurenstoffe	0,24	5	1,2	5	1,2	5	1,2	5	1,2	3	0,72
Reinungsleistung P_{ges}/CSB (zusätz. Reduk.)	0,16	5	0,8	3	0,48	2	0,32	5	0,8	5	0,8
Bildung Nebenprodukte	0,04	5	0,2	5	0,2	4	0,16	4	0,16	5	0,2
Erfahrungen/Referenzen	0,04	5	0,2	4	0,16	4	0,16	2	0,08	2	0,08
Betriebssicherheit	0,08	4	0,32	5	0,4	4	0,32	5	0,4	5	0,4
Sensitivität Kostensteigerungen	0,08	4	0,32	2	0,16	3	0,24	2	0,16	3	0,24
CO_2-Bilanz	0,04	4	0,16	4	0,16	4	0,16	5	0,2	5	0,2
Summe	1,00	35	**4,16**	32	**4,04**	31	**4,16**	30	**3,64**	33	**4,24**

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

In der **Summe** schneidet die Variante 4b (Langsamfiltration) mit 4,24 Punkten am besten ab. Es folgen auf Rang 2 die Varianten 1 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung) und 3 (Ozonung + Teich) mit jeweils 4,16 Punkten. Die Variante 2 (GAK-Filtration) nimmt den dritten Platz mit 4,04 Punkten ein. Die Variante 4a (Langsamfiltration + Ozonung) liegt mit 3,64 Punkten auf dem letzten Rang.

6 Zusammenfassung und Empfehlung

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

- Variante 1: Pulverkohledosierung mit Rücklaufkohle,
- Variante 2: GAK-Filtration,
- Variante 3: Ozonung mit Nachbehandlung im vorhandenen Schönungsteich,
- Variante 4: Langsamfiltration mit den Untervarianten
  a) Langsamfiltration mit Ozonung und Nachbehandlung im vorhandenen Teich
  b) Langsamfiltration ohne Nachbehandlung.

Die ausgewählten Varianten wurden auf ihre Umsetzbarkeit geprüft und zeichnerisch in Lageplanausschnitten sowie in einer Systemskizze dargestellt. Basierend auf den Abschätzun-

gen 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. Die Matrix wurde gemeinsam mit der Stadtentwässerung Höxter festgelegt. Maximal konnte eine Punktzahl von 5 Punkten erreicht werden.

Die höchste Punktzahl erreichte die Variante 4b (Langsamfiltration) mit 4,24 Punkten. Die Varianten 1 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung) und 3 (Ozonung + Teich) folgen mit jeweils 4,16 Punkten. Variante 2 (GAK-Filtration) erreicht mit 4,04 Punkten den dritten Platz. Die Variante 4a (Langsamfiltration + Ozonung) liegt mit 3,64 auf dem letzten Rang.

Zu beachten ist, dass die Variante 4b (Langsamfiltration) hinsichtlich der Spurenstoffelimination geringere Eliminationsgrade erwarten lässt. Dies wurde in der Bewertung entsprechend berücksichtigt. Alle anderen Verfahren wurden so ausgelegt, dass eine vergleichbar (hohe) Elimination zu erwarten ist.

Bei den Jahreskosten liegen Variante 4b (Langsamfiltration) und 3 (Ozonung) mit 269.500 EUR/a, brutto bzw. 285.200 EUR/a, brutto vorn. Es folgen Variante 2 (GAK-Filtration) mit 324.200 EUR/a, brutto und Variante 1 (PAK-Dosierung) mit 391.000 EUR/a, brutto. Die höchsten Jahreskosten wurden für Variante 4a (Langsamfiltration + Ozonung) mit 471.700 EUR/a, brutto ausgewiesen.

Alle Verfahren können gut auf der KA Höxter umgesetzt werden. Der zur Verfügung stehende Bauplatz um das Kläranlagengelände ist auch für die flächenintensiven Langsamfiltrationsvarianten ausreichend. Die 4. Reinigungsstufe kann ohne aufwendige Rohrleitungsführung an den Bestand anschlossen werden.

Variante 1 (PAK mit Rücklaufkohle) liegt in der Bewertungsmatrix neben V3 auf dem zweiten Rang. Sie stellt das derzeit verbreitetste Verfahren zur Spurenstoffelimination dar (in Baden-Württemberg derzeit 7 Anlagen in Betrieb, weitere in Planung und Bau).

Die GAK-Filtration (Variante 2) erreicht den 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 daher gegenüber Kostensteigerungen am anfälligsten.

Die Ozonung mit Sandfilter (Variante 3) lag in der Bewertungsmatrix – wie V1 – auf dem zweiten Platz. Dieses Verfahren kommt entgegen, dass der vorhandene Schönungsteich als nachgeschaltete biologisch aktive Stufe genutzt werden kann. In der Berechnung wurde derzeit von einer vergleichsweisen hohen Ozondosierung ausgegangen. Sollte sich zeigen, dass diese reduziert werden kann, so wird dieses Verfahren wirtschaftlich noch interessanter. Bedingung ist eine sehr gut arbeitende Nachklärung. Die weiteren Forschungsergebnisse hinsichtlich der Bildung von Transferprodukten sollten in die Entscheidungsfindung einfließen.

Die Langsamfiltration (V4b) erreicht in der Bewertung den Rang 1. Die Jahreskosten sind gemeinsam mit der Ozonung (V3) die niedrigsten in diesem Vergleich. Hinsichtlich der zu erwartenden Reinigungsleistung bei den Spurenstoffen wird sie schlechter eingestuft; zudem

kann die Leistungsfähigkeit nicht wie bei den anderen Varianten durch eine Erhöhung der Dosierung bzw. Verringerung der Filterstandzeit beeinflusst werden. Dafür sind auch keine weiteren Betriebsstoffe notwendig. Bei den Betriebskosten zeigt sich jedoch, dass die großen Betriebsflächen stark kostenbeeinflussend sind. Insgesamt stellt diese variante ein sehr interessantes Verfahren dar, da im Bereich der KA Höxter die benötigten Flächen zur Verfügung stehen.

Die Kombination Langsamfiltration und Ozonung (Variante 4a) ist hinsichtlich der Reinigungsleistung in Bezug auf die Spurenstoffe sowie weiterer Abwasserparameter als sehr gut einzustufen. Durch die vorgeschaltete Filtration sind niedrige Ozondosen zu erwarten. Jedoch liegen derzeit noch keine validierten Erfahrungen im Abwasserbereich zu diesem Verfahren vor, sodass die Bewertung hier nur einen vorläufigen Charakter haben kann. Hinsichtlich der Investitionskosten ist nachteilig, dass zwei Stufen (Langsamfilter und Ozonung) gebaut werden müssen.

Für die Stadtentwässerung Höxter ist aufgrund der vorhandenen Situation auf der Kläranlage Höxter (Erweiterungsflächen) weiterhin auch ein flächenintensives Verfahren (Retentionsbodenfilter, Langsamfilter u.ä.) interessant, wenn dieses hinsichtlich der Reinigungsleistung sowie den Investitions- und Betriebskosten mit technischeren Verfahren vergleichbar ist. Die Entwicklung in diesem Bereich steht noch am Anfang und wird von der Stadtentwässerung Höxter weiter verfolgt.

Aufgrund der vorhandenen Anlagentechnik sollten sich nach derzeitigem Kenntnisstand die weiteren Untersuchungen in Höxter auf die Varianten 4b (Langsamfiltration), 1 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung) und 3 (Ozonung mit Nachbehandlung im vorhandenen Schönungsteich) konzentrieren.