

Kläranlage Drensteinfurt

4. Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroschadstoffen

Machbarkeitsstudie - Kurzbericht
November 2014
Projektnummer 1189 001





Kläranlage Drensteinfurt

4. Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroschadstoffen

Machbarkeitsstudie - Kurzbericht
November 2014
Projektnummer 1189 001

Bearbeitet durch:
Dipl.-Ing. Jörg Alda
Dr.-Ing. Jan Mauriz Kaub
M.Sc. Fernando Urueta

Aufgestellt:
Bochum, im November 2014
ad-ka-uru

Dipl.-Ing. Jörg Alda

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Aufgabenstellung	4
2	Anlagenbestand	5
3	Darstellung der untersuchten Verfahrenskombinationen	5
3.1	Beschickungsmenge.....	5
3.2	Verfahrensfestlegung.....	6
3.3	Varianten	6
3.3.1	Variante 1: PAK mit Rücklaufkohle	6
3.3.1.1	Allgemein.....	6
3.3.1.2	Ausführung	7
3.3.2	Variante 2: Ozonung mit nachgeschaltetem Schönungsteich.....	9
3.3.2.1	Allgemeines	9
3.3.2.2	Ausführung	9
3.3.3	Variante 3: Filtration und Ozonung mit nachgeschaltetem Schönungsteich	10
3.3.3.1	Allgemeines	10
3.3.3.2	Ausführung	11
3.4	Ergebnisübersicht Varianten	13
4	Kosten	14
5	Bewertung	15
6	Zusammenfassung	15
	Literaturverzeichnis	18

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Die Ertüchtigung von kommunalen Kläranlagen im Hinblick auf die Elimination von anthropogenen Spurenstoffen wird derzeit in der Fachwelt diskutiert.

Diese 4. Reinigungsstufe ist in der Bundesrepublik, insbesondere in Baden-Württemberg und auf einigen Anlagen in Nordrhein-Westfalen bereits in Betrieb. In der Schweiz wird eine landesweite Einführung vorbereitet.

Nicht zuletzt lassen die Aktivitäten im Umweltausschuss des Europäischen Parlaments mit der Aufnahme von erstmals drei Pharmaka-Wirkstoffen in die Liste der prioritären Stoffe nach der Wasser-Rahmenrichtlinie vom November 2012 darauf schließen, dass die 4. Reinigungsstufe zukünftig Pflicht werden könnte.

In den letzten Jahren wurden verschiedene Verfahrenskombinationen auch im großtechnischen Maßstab untersucht. So stehen verschiedene Konzepte zur Elimination der genannten Stoffe zur Verfügung.

Um die Realisierbarkeit dieser Verfahren auf den Kläranlagen konkret zu untersuchen, fördert das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen Machbarkeitsstudien.

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

Mit der Studie soll eine Entscheidungsgrundlage geschaffen werden, um die Auswahl eines möglichen Verfahrens durch die Stadt Drensteinfurt 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

Aus dem Stadtgebiet Drensteinfurt erfolgt der Zufluss in den Pumpensumpf des Schneckenpumpwerks über einen Freigefällekanal.

Über das Zulaufgerinne wird das zusammengeführte Rohabwasser ins Rechengebäude geleitet und der zweistraßigen Rechenanlage zugeführt. Ein belüfteter Sand- und Fettfang mit Sandfangräumer und Sandfangpumpe ist der Rechenanlage nachgeschaltet.

Das vorgereinigte Rohabwasser fließt über ein gemeinsames Ablaufgerinne zum Verteilerbauwerk. Im Verteilerbauwerk erfolgt über Einstellung einer Verteilerzunge die Aufteilung des vorgereinigten Rohabwassers auf die nachgeschalteten Kaskadenstufen 1, 2 und 3. Die ursprüngliche Funktionsweise des Belebungsbeckens 1 als Bio-P- bzw. Anaerobbecken ist gemäß Genehmigungsentwurf aufgehoben worden.

An die Belebungsstufe schließen sich die beiden Nachklärbecken an, die als horizontal durchströmte Rundbecken ausgeführt sind. Die Klarwasserabflüsse der beiden Nachklärbecken werden zur Teichanlage weitergeleitet.

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 Drensteinfurt eine Kapazität zur Behandlung von 736 m³/h vorgehalten werden. Die Auswertung der Abwassermengen zeigt jedoch deutlich, dass bereits Abwassermengen > 400 m³/h an weniger als 188 h im Jahr 2013 überschritten wurden.

Bei einer Teilstrommenge von 252 m³/h würden 94 % der Jahresabwassermenge behandelt. Die Stufe könnte hydraulisch um etwa 66 % kleiner ausgeführt werden, als bei einer Auslegung für den Vollstrom. Bei einem Teilstrom von **252 m³/h** würde eine Abwassermenge von rund **1.226.874 m³/a** in der vierten Reinigungsstufe behandelt werden. Die Teilstrombehandlung wurde basierend auf dem Vorschlag von Tuttahs & Meyer auf einen Volumenstrom von 252 m³/h (\approx 250 m³/h) ausgelegt. Die Mengen beziehen sich auf die eigene Auswertung der aus den 15-min-Werten gebildeten Stundenwerte von Januar bis Dezember 2013.

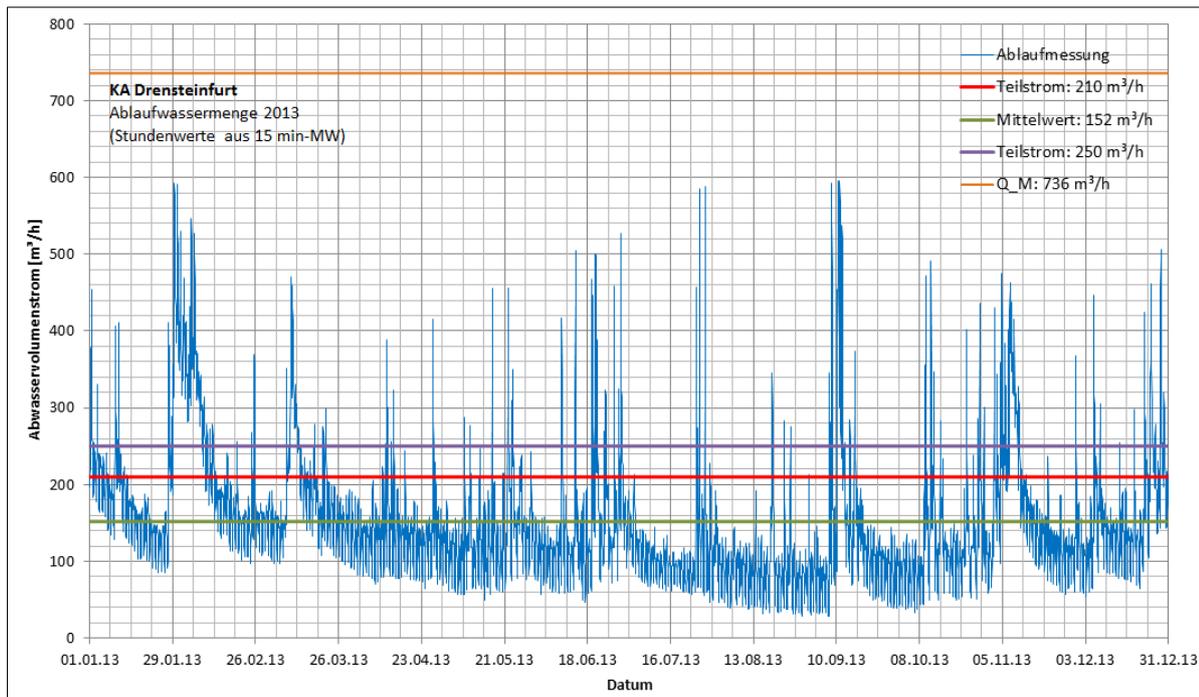


Bild 1: Behandelte Abwassermenge in Abhängigkeit des Bemessungszuflusses der Verfahrensstufe zur Spurenstoffelimination

3.2 Verfahrensfestlegung

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie werden die folgenden drei Verfahrenskombinationen untersucht:

1. **Pulverkohle mit Rücklaufkohleführung.** Abtrennung der PAK in einem Absetzbecken und in einem nachgeschalteten Sandfilter.
2. **Ozonung mit nachgeschaltetem Schönungsteich.** Ablauf der Nachklärung wird mit Ozon behandelt und anschließend in den vorhandenen Schönungsteich geführt.
3. **Nachklärung mit Abwasserfiltration und Ozonung sowie nachgeschaltetem Schönungsteich.** Ablauf der Nachklärung wird in einer Abwasserfiltrationsanlage und anschließend mit Ozon behandelt. Der Ablauf der Ozonung wird in den bestehenden Schönungsteich geführt.

3.3 Varianten

3.3.1 Variante 1: PAK mit Rücklaufkohle

3.3.1.1 Allgemein

Dieses Verfahren wurde an einigen Standorten in Baden-Württemberg umgesetzt. Für die Rückführung der Kohle ist ein Absetzbecken notwendig. Die Rücklaufkohle wird zusammen mit der Frischkohle in den Zulauf des Kontaktbeckens dem Ablauf der Nachklärung zugegeben. In dem Absetzbecken vorgeschalteten Kontaktbecken erfolgt der eigentliche Adsorptionsvorgang. Der im Absetzbecken zurückgehaltene Kohleschlamm wird über eine Pumpe als Rücklaufkohle wieder in den Zulauf des Kontaktbeckens zurückgeführt. Entsprechend der Frischkohledosierung wird ein Teil der rückgeführten Kohle als Überschussskohle aus dem System entnommen. Besonderer Vorteil dieses Ver-

fahrens ist, dass die Pulverkohle mehrfach mit dem Abwasser in Kontakt kommt, um die Beladungskapazität möglichst gut ausnutzen zu können.

Für die Kläranlage Drensteinfurt 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. Fällmittel wird über die bestehende Anlage bezogen.

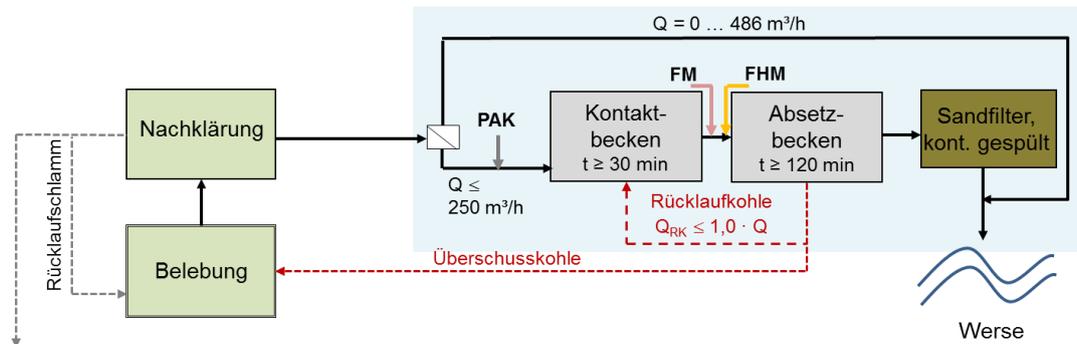


Bild 2: Blockschema Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle

Diese Variante hat neben der Elimination der Spurenstoffe auch einen großen Einfluss auf die Parameter CSB, P_{ges} und abfiltrierbare Stoffe im Teilstrom. Insgesamt ist davon auszugehen, dass auch bei diesen Parametern deutlich geringere Ablaufwerte zu erwarten sind. Zu beachten ist, dass jeweils immer nur ein Teilstrom von maximal $250 \text{ m}^3/\text{h}$ 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.

3.3.1.2 Ausführung

Pumpwerk 4. Reinigungsstufe

Die Beschickung der PAK-Stufe erfolgt über das Pumpwerk 4. Reinigungsstufe. Insgesamt stehen drei Pumpen mit einem Volumenstrom von je $125 \text{ m}^3/\text{h}$ zur Verfügung. Eine der drei Pumpen dient als Reserve.

Kontakt- und Absetzbecken

Es werden zwei Kontaktbecken eingesetzt. Jedes Kontaktbecken ist als quadratisches Becken mit einer Wasserspiegelhöhe von $3,9 \text{ m}$ ausgeführt. Bei einer Innenkantenlänge von $4,25 \text{ m}$ ergibt sich ein Volumen von ca. 70 m^3 je Kontaktbecken. In der Summe liegt die Aufenthaltszeit bei maximalem Zufluss mit 33 min oberhalb der 30 min , die angesetzt wurden. Im nachfolgenden Absetzbecken beträgt die Aufenthaltszeit 120 min . Des Weiteren ist die Rücklaufkohleföhrung auf ein Rückföhrverhältnis von 1 ausgelegt. Insgesamt ist durch diese Maßnahmen sichergestellt, dass die Adsorptions-

kapazität der eingesetzten Kohle sehr gut genutzt werden kann. Jedes Kontaktbecken ist mit einem Vertikalrührwerk ausgestattet.

Das Absetzbecken ist längsdurchströmt. Die Beckenbreite beträgt 6 m und die Länge 25 m. Die Randwassertiefe liegt bei 3,5 m. Es ergibt sich ein Gesamtvolumen von 525 m³. Für die Räumung des anfallenden Schlammes in den Abzugstrichter wird ein Bandräumer vorgesehen. Der in den Abzugstrichtern gesammelte Schlamm wird mittels einer Pumpe wieder in den Zulauf der Kontaktbecken zurückgeführt. Die Überschussskohle wird ebenfalls aus diesem Schacht entnommen und der Vorklärung bzw. Belebung zur weiteren Beladung zugeführt. Der Zulauf von den Kontaktbecken zum Absetzbecken wird jeweils über ein Gerinne realisiert.

Sandfiltration

Dem Absetzbecken wird eine Filtrationsstufe zur Suspensa-Restentfernung nachgeschaltet. Es wird hier ein kontinuierlich gespülter Sandfilter (4x5 m²) vorgesehen. Der Ablauf des Sandfilters wird anschließend über eine Rohrleitung in den nachgeschalteten Schönungsteich geführt.

PAK-Silo

Zur Lagerung der Aktivkohle ist ein Silo mit einem Inhalt von 80 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 und mit einer Einhausung versehen.

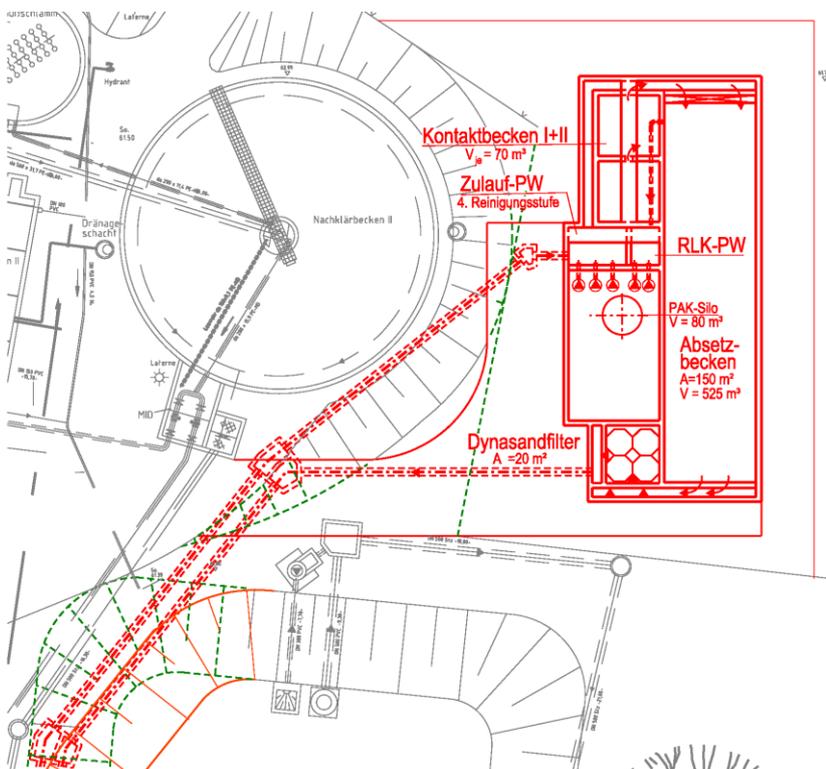


Bild 3: Lageplanausschnitt Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle

3.3.2 Variante 2: Ozonung mit nachgeschaltetem Schönungsteich

3.3.2.1 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. In diesem Fall erfolgt der Abbau eventuell toxikologisch bedenklicher Stoffe im Schönungsteich auf biologischem Wege.

Die Ozonung wird anhand folgender Bemessungsparameter ausgelegt:

Ozondosis: $2 \dots 10 \text{ g/m}^3$

Kontaktzeit im Reaktionsbehälter: $10 \dots 30 \text{ min}$

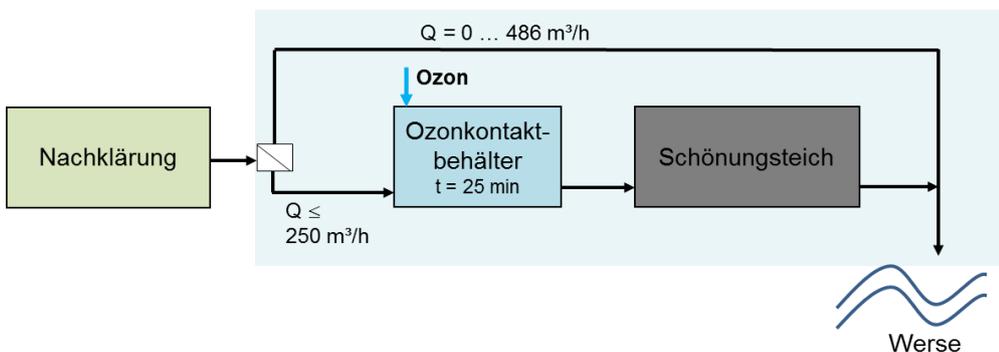


Bild 4: Blockschema Variante 2:

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 Optimierungspotential ergibt.

3.3.2.2 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.

Pumpwerk 4. Reinigungsstufe

Die Beschickung der Ozonung erfolgt über das Pumpwerk 4. Reinigungsstufe. Insgesamt stehen 3 Pumpen mit einem Volumenstrom von je $125 \text{ m}^3/\text{h}$ zur Verfügung. Diese Variante ist zweistraßig

ausgeführt; daher werden jeder Straße (Kontaktbecken) zwei Pumpen zugeordnet. Die dritte Pumpe dient als Reserve für beide Straßen.

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 über eine Rohrleitung in den nachgeschalteten Schönungsteich geführt.

Ozonerzeugung

Die Ozonerzeuger weisen eine Leistung von 2 x 1.300 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.

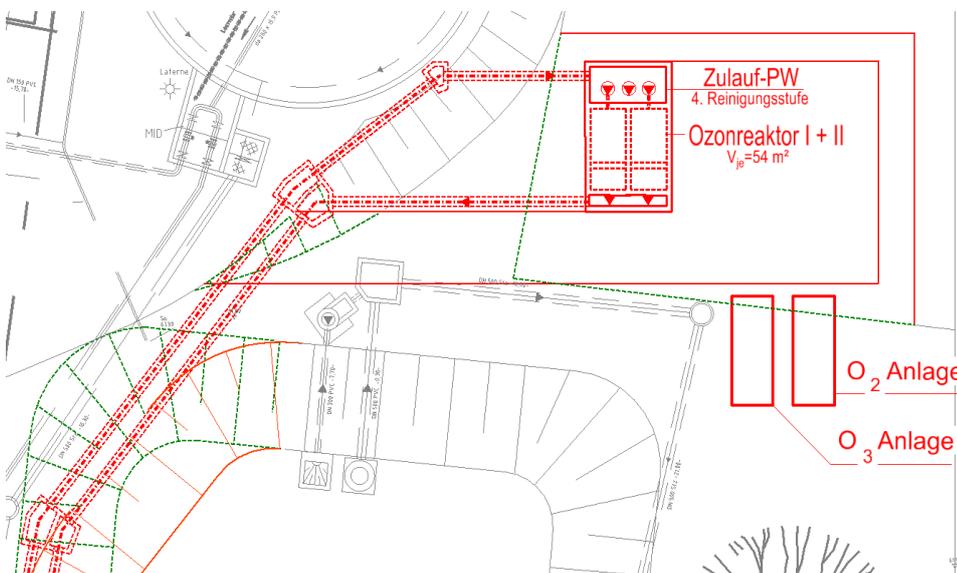


Bild 5: Lageplanausschnitt Variante 2: Ozonung mit nachgeschaltetem Schönungsteich

3.3.3 Variante 3: Filtration und Ozonung mit nachgeschaltetem Schönungsteich

3.3.3.1 Allgemeines

Bei dieser Variante wird das Abwasser aus der Nachklärung zunächst in einer Filtrationsstufe zur Suspensa-Restentfernung und anschließend mit Ozon behandelt. Der Ablauf der Ozonung wird in den nachgeschalteten Schönungsteich zum Abbau eventuell toxikologisch bedenklicher Stoffe geführt.

Im nachfolgenden Blockschema ist das Verfahren dargestellt:

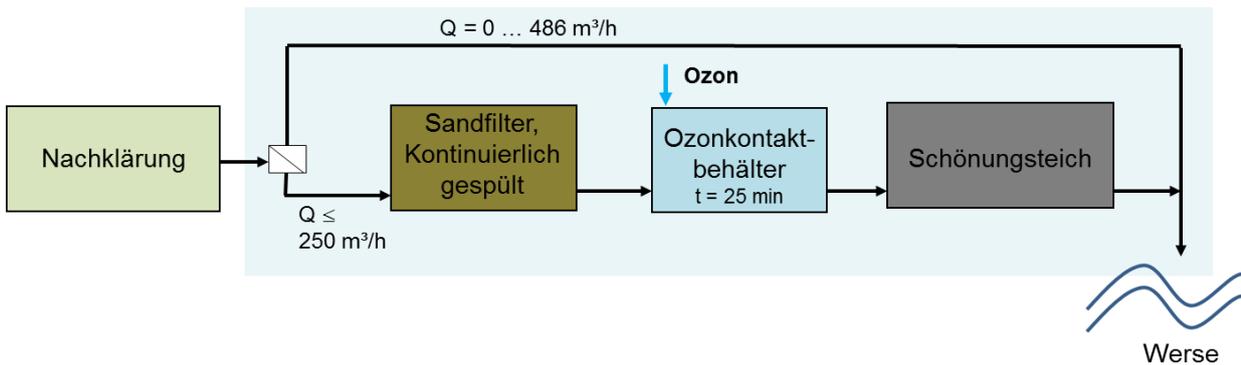


Bild 6: Blockschema Variante 3: Abwasserfiltration und Ozonung mit nachgeschaltetem Schönungsteich

Die Auslegung der Ozonung und der Kontaktbehälter folgt Variante 2. Als mittlere Ozondosis wurde festgelegt:

$$c_{O_3,a} = 5,00 \text{ mg O}_3/\text{l}$$

Es ist davon auszugehen, dass hier noch eine deutliche Optimierung erfolgen kann. Jedoch liegen hierzu noch keine belastbaren Ergebnisse vor.

3.3.3.2 Ausführung

Die Ausführung entspricht der Variante 2, jedoch wird vor den Kontaktbecken der Sandfilter platziert. Die Ozonung mit Ozonerzeuger und Kontaktbecken ist zweistraßig ausgeführt. Bei geringem Durchfluss (z. B. in der Nacht) kann eine Straße außer Betrieb genommen werden.

Pumpwerk 4. Reinigungsstufe

Die Beschickung der Ozonung erfolgt über das Pumpwerk 4. Reinigungsstufe. Insgesamt stehen 3 Pumpen mit einem Volumenstrom von je 125 m³/h zur Verfügung. Diese Variante ist zweistraßig ausgeführt; daher werden jeder Straße (Kontaktbecken) zwei Pumpen zugeordnet. Die dritte Pumpe dient als Reserve für beide Straßen.

Sandfilter (kontinuierlich gespült)

Als Filtrationsstufe wird ein kontinuierlich arbeitender Sandfilter (Dyna-Sandfilter) eingesetzt. Das Sandbett im Filter wird von unten nach oben durchströmt. Die im Abwasser enthaltenden 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 4 Filter aufgeteilt auf zwei Straßen vorgesehen. Jeder Filter weist eine Filterfläche von 5 m² auf, sodass sich eine GesamtfILTERfläche von 20 m² ergibt. Alle 4 Filter werden in ein Betonbecken eingebaut. Zulauf und Ablauf erfolgen über ein Gerinne.

Kontaktbehälter

Die beiden Kontaktbehälterstraßen werden als Betonbauwerk ausgeführt. Der Aufbau entspricht Variante 2.

Ozonerzeugung

Die Ozonerzeuger weisen ebenfalls eine Leistung von $2 \times 1.300 \text{ g/h}$ auf. Die sonstige Ausführung entspricht Variante 2. Die Erzeuger werden mit der zugehörigen Schaltanlage in Containern angeordnet.

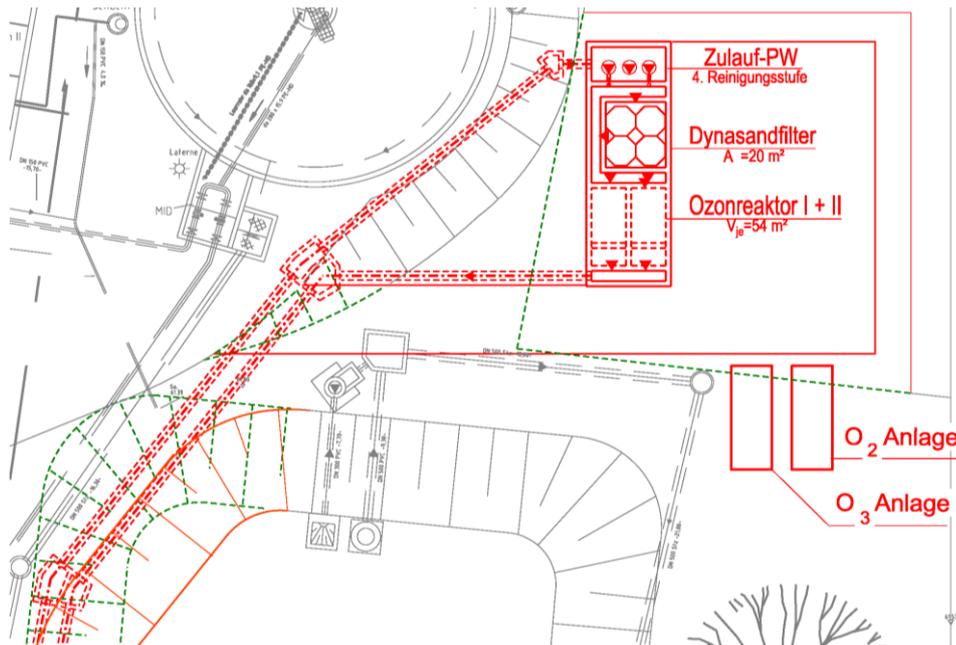


Bild 7: Lageplanausschnitt Variante 3: Abwasserfiltration und Ozonung mit nachgeschaltetem Schönungsteich

3.4 Ergebnisübersicht Varianten

	Variante 1 Pulverkohle mit Rücklaufkohle	Variante 2 Ozonung + Schönungsteich	Variante 3 Sandfilter + Ozonung + Schönungsteich
Anlagenkomponenten			
Anlagenkomponenten	<p>Kontaktbecken: $t_A = 30 \text{ min}$, $V_{\text{ges}} = 140 \text{ m}^3$</p> <p>Absetzbecken: $L = 25 \text{ m}$, $b = 6 \text{ m}$ $A_{\text{ges}} = 150 \text{ m}^2$, $V = 525 \text{ m}^3$</p> <p>Sandfiltration (kont. gespült): 4 Filter mit $A_F = 5 \text{ m}^2$ $A_{F,\text{ges}} = 20 \text{ m}^2$</p> <p>PAK-Silo: $V = 80 \text{ m}^3$</p>	<p>Flüssigsauerstoff: Tankanlage und Verdampfer</p> <p>Ozonerzeuger: 2 x 1,3 kg O_3/h</p> <p>Reaktionsbehälter: 2 Straßen, je $L = 4,5 \text{ m}$; $B = 2,0 \text{ m}$; $V_{\text{ges}} = 108 \text{ m}^3$</p>	<p>Sandfiltration (kont. gespült): 4 Filter mit $A_F = 5 \text{ m}^2$ $A_{F,\text{ges}} = 20 \text{ m}^2$</p> <p>Flüssigsauerstoff: Tankanlage und Verdampfer</p> <p>Ozonerzeuger: 2 x 1,3 kg O_3/h</p> <p>Reaktionsbehälter: 2 Straßen, je $L = 4,5 \text{ m}$; $B = 2,0 \text{ m}$; $V_{\text{ges}} = 108 \text{ m}^3$</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 	<ul style="list-style-type: none"> geringer Platzbedarf 	<ul style="list-style-type: none"> geringe Wirkung auf CSB und P_{ges} guter Suspensarückhalt durch vorgeschaltete Filtrationsstufe
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"> keine Wirkung auf CSB und P_{ges} höherer Energiebedarf hohe Sicherheitsanforderungen an den Arbeitsschutz, da Ozon toxisch und als Reizstoff wirkt 	<ul style="list-style-type: none"> hohe Sicherheitsanforderungen an den Arbeitsschutz, da Ozon toxisch und als Reizstoff wirkt derzeit noch keine breite Referenzbasis

4 Kosten

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

Pos.-Nr	Text		Variante 1	Variante 2	Variante 3
			PAK m. Rücklaufk.	Ozonung + Schönungsteich	Sandfilter +Ozonung + Schönungsteich
A	Kapitalgebundene Kosten	EUR	155.355,68	114.823,75	147.699,40
B	Betriebsgebundene Kosten	EUR	69.171,65	52.702,63	65.368,39
C	Verbrauchsgebundene Kosten	EUR	45.486,58	43.528,65	36.646,93
Summe Jahreskosten, netto		EUR	270.013,92	211.055,03	249.714,72
Mehrwertsteuer: 19%		EUR	51.302,64	40.100,45	47.445,80
Summe Jahreskosten, brutto		EUR	321.316,56	251.155,48	297.160,52
Anteil			128%	100%	118%
spez. Kosten, netto		EUR/m ³	0,22008	0,17203	0,20354
spez. Kosten, brutto		EUR/m³	0,26190	0,20471	0,24221

Die niedrigsten Jahreskosten wurden für die Variante 2 (Ozonung + Schönungsteich) und Variante 3 (Abwasserfiltration + Ozonung + Schönungsteich) mit ca. 251.000 bzw. 297.000 EUR/a, brutto ermittelt. Die Variante 1 (PAK) weist mit rund 321.000 EUR/a, brutto die höchsten Jahreskosten auf.

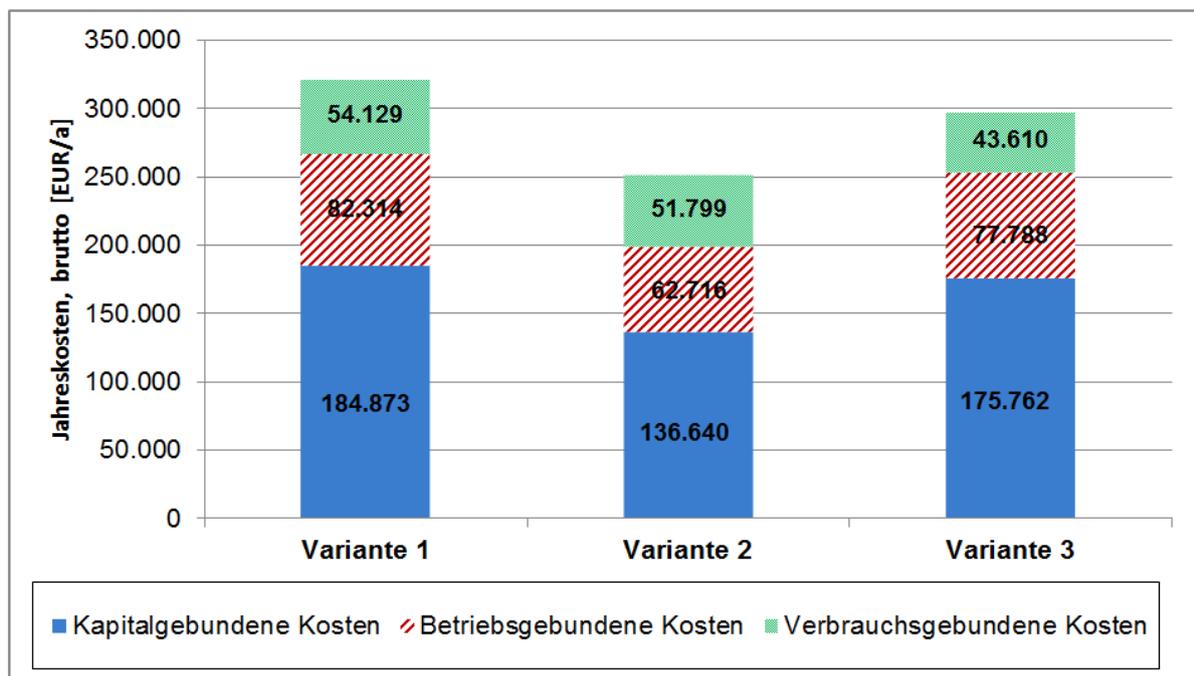


Bild 8: Anteile kapital-, betriebs- und verbrauchsgebundene Kosten an den Jahreskosten der Varianten

Aus der im **Bild 8** 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. Punkte	gewichtet	Ozonung + Schönungsteich Punkte	gewichtet	Sandfilter + Ozonung + Schönungsteich Punkte	gewichtet
Jahreskosten	0,28	3	0,84	5	1,4	4	1,12
Reinigungsleistung P_{ges}/CSB (zusätz. Reduk.)	0,28	5	1,4	3	0,84	4	1,12
Bildung Nebenprodukte	0,16	5	0,8	4	0,64	4	0,64
Erfahrungen/Referenzen	0,14	5	0,7	5	0,7	4	0,56
Betriebssicherheit	0,06	4	0,24	4	0,24	4	0,24
Sensitivität Kostensteigerungen	0,04	4	0,16	3	0,12	4	0,16
CO ₂ -Bilanz	0,04	4	0,16	4	0,16	4	0,16
Summe	1,00	30	4,30	28	4,10	28	4,00

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

In der **Summe** schneidet Variante 1 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung) mit 4,30 Punkten am besten ab. Gefolgt von Variante 2 (Ozonung + Schönungsteich) mit 4,10 Punkten. Die Variante 3 (Sandfilter + Ozonung + Schönungsteich) hat mit 4,00 Punkten die niedrigste Bewertung.

6 Zusammenfassung

Im Rahmen der Studie zur Ertüchtigung und Erweiterung der Kläranlage Drensteinfurt 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: Ozonung mit nachgeschaltetem Schönungsteich,

Variante 3: Abwasserfiltration und Ozonung mit nachgeschaltetem Schönungsteich.

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 5 Punkten erreicht werden.

Die höchste Punktzahl erreicht Variante 1 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle) mit 4,30 Punkten; die Ozonung mit nachgeschaltetem Schönungsteich (Variante 2) kommt auf den zweiten

Platz, mit 4,10 Punkten. Die Varianten 3 (Sandfilter + Ozonung + Schönungsteich) liegt mit 4,00 Punkten auf dem dritten Platz.

Bei den Jahreskosten liegt Variante 2 (Ozonung + Schönungsteich) mit ca. 250.000 EUR/a, brutto vorn. Aufgrund der geringen verbrauchsgebundenen Kosten und vergleichbaren kapitalgebundenen Kosten folgt Variante 3 (Sandfilter + Ozonung + Schönungsteich) mit 297.000 EUR/a, brutto. Die Variante 1 (PAK mit RLK) liegt mit 321.000 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 Schönungsteich (Variante 2) 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 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.

Variante 3 (Sandfilter + Ozonung + Schönungsteich) ist in Bezug auf die zusätzliche Reduktion von den Parametern CSB und P_{ges} gegenüber Variante 1 auf dem zweiten Rang. Außerdem gibt es nicht genug Referenzen oder Erfahrungen zu dieser Verfahrenskombination, so dass dieses Kriterium nur mit 4 Punkten bewertet wurde. Der Energiebedarf von Variante 3 ist im Vergleich zu Variante 2 etwas kleiner. Die Suspensa-Entfernung in der vorgeschalteten Filtrationsstufe lässt eine niedrigere Ozondosis erwarten.

Die TUTTAHS & MEYER Ing.-GmbH empfiehlt Variante 1 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung) und 2 (Ozonung mit nachgeschaltetem Schönungsteich) für weitere Untersuchungen auf der Kläranlage Drensteinfurt zu berücksichtigen.

Literaturverzeichnis

Abegglen u. a. 2009

Abegglen, C.; Escher, B.; Hollender, J.; Koepke, S.; Ort, C.; Peter, A.; Siegrist, H.; von Gunten, U.; Zimmermann, S.; Koch, M.; Niederhauser, P.; Schärer, M.; Braun, C.; Gälli, R.; Junghans, M.; Brocker, S.; Moser, R.; Rensch, D.: Ozonung von gereinigtem Abwasser – Schlussbericht Pilotversuch Regensdorf; Studie der Eawag im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (CH), 2009, Download unter: www.eawag.ch/medien/bulletin/20090616/schlussbericht.pdf.

ATV-A 203

DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.: ATV-Arbeitsblatt A 203/Abwasserfiltration durch Raumfilter nach biologischer Reinigung, April 1995.

Bornemann u. a. 2012

Bornemann, C.; Hachenberg, M.; Kazner, C.; Herr, J.; Jagemann, P.; Lyko, S.; Benstöm, F.; Montag, D.; Platz, S.; Wett, M.; Kaub, J. M.; Kolisch, G.; Osthoff, T.; Rolfs, T.; Stepkes, H.: Teilprojekt 5: Ertüchtigung kommunaler Kläranlagen, insbesondere kommunaler Flockungsfiltrationsanlagen durch den Einsatz von Aktivkohle. Abschlussbericht, gerichtet an das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2012.

Breitbach u. Bathen 2001

Breitbach, Marc; Bathen, Dieter: Adsorptionstechnik. 1. Auflage. Springer-Verlag, 2001. – ISBN 9783540419082.

Cooney 1998

Cooney, D. O.: Adsorption Design for Wastewater Treatment. 1. Auflage. CRC, 1998. – ISBN 9781566703338

DVGW W 239

DVGW W 239 (A) März 2011. Entfernung organischer Stoffe bei der Trinkwasseraufbereitung durch Adsorption an Aktivkohle.

DWA 2008

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (Hrsg.): Anthropogene Spurenstoffe im Wasserkreislauf – Arzneistoffe. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, 5/2008 (DWA-Themen). – ISBN 9783940173744.

Grünebaum u. a. 2012

Grünebaum, T.; Herbst, H.; Keyzers, C.; Lyko, S.; Türk, J.: Mikroschadstoffelimination mit Ozon: Beispiele für Kläranlagen; Vortrag auf dem 2. Fachsymposium Mikroschadstoffe. NRW 2012; Elimination von Mikroschadstoffen, Keimen und Bakterien in kommunalen Kläranlagen am 21.06.2012 in Düsseldorf.

Gujer 1999

Gujer, Willi: Siedlungswasserwirtschaft. 1. Auflage. Springer-Verlag, 1999.

Herbst u. a. 2011

Herbst, H.; Kaufmann, M.; Türk, J.; Launer, M.: Abwassertozonierung Kläranlage Duisburg-Vierlinden – Auslegung – Bau – erste Betriebsergebnisse. In Innovation und Flexibilität – Systemoptimierung und Systemerweiterung; Tagungsband der 25. Karlsruher Flockungstage 2011, Schriftenreihe SWW (Bd. 141), Verlag Siedlungswasserwirtschaft Karlsruhe, ISBN 978-3-9813069-4-1.

Joss u. a. 2005

Joss, Adriano; Keller, Elvira; Alder, Alfredo C.; Göbel, Anke; McArdell, Christa S.; Ternes, Thomas; Siegrist, Hansruedi: Removal of pharmaceuticals and fragrances in biological wastewater treatment. In: Water Res 39 (2005), Sep, Nr. 14, S. 3139–3152.

Kompetenzzentrum Spurenstoffe BW 2013

<http://www.koms-bw.de>, Abruf: 01.09.2013

Kümmel u. Worch 1990

Kümmel, R.; Worch, E.: Adsorption aus wäßrigen Lösungen. 1. Auflage. VEB Dt. Verl. für Grundstoffindustrie, 1990.

Meyer 1979

MEYER, Hermann: Untersuchung zur weitergehenden Reinigung biologisch gereinigten Abwassers – Die praktische Anwendung der Abwasserfiltration und ihre Bedeutung in der Abwassertechnologie; Schriftenreihe GWA, Bd. 35, 1979.

Meyer 2008

MEYER, Hermann: Abwasserreinigung – Qua vadis?, in GWF Wasser, Abwasser, 149, Nr. 4, 2008.

MUNLV 2004

MUNLV NRW: Untersuchung zum Eintrag und zur Elimination von gefährlichen Stoffen in kommunalen Kläranlagen. 2004 – Forschungsbericht.

Nahrstedt u. a. 2011

Nahrstedt, A.; Alt, K.; Barnscheidt, I.; Fritzsche, J.; Sürder, T.; Burbaum, H.; Klak, A.: CSB- und Spurenstoffelimination am Aktivkohlefestbettfilter. Abschlussbericht, gerichtet an das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2011.

Palmowski u. a. 2011

Palmowski, L.; Veltmann, K.; Mousel, D.; Mauer, C.; Simsheuser, C.; Schmitz, U.; Eckers, S.; Jagemann, P.; Thöle, D.; Riße, H.; Gredugk-Hoffmann: Energiebedarf von Verfahren zur Elimination von organischen Spurenstoffen – Phase I. Abschlussbericht, gerichtet an das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2011.

Pinnekamp u. a. 2010

Pinnekamp, Johannes; Keyers, Christoph; Montag, David; Veltmann, Karin: Elimination von Mikroschadstoffen – Stand der Wissenschaft. In: Gewässerschutz – Wasser – Abwasser (GWA) 220 (2010), S. 28/1 – 28/21.

Schröder und Grömping 2013

Schröder, Karl-Heinz; Grömping, Markus: Einsatz von Aktivkohle auf der Kläranlage Gütersloh-Putzhagen, Vortrag auf dem DWA-Praxisseminar „Strategien zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen“ am 2. Juli 2013 in Gütersloh, Juli 2013.

Schwentner u. a. 2013a

Schwentner, G; Kremp, W.; Mauritz, A; Hein, A.; Metzger, S; Rössler, A.: Kosten in der weitergehenden Abwasserreinigung mit PAK – Teil 1, in Wasserwirtschaft – Wassertechnik (wwt), 63, Nr. 4, 2013.

Schwentner u. a. 2013b

Schwentner, G; Kremp, W.; Mauritz, A; Hein, A; Metzger, S; Rössler, A.: Kosten in der weitergehenden Abwasserreinigung mit PAK – Teil 2, in Wasserwirtschaft – Wassertechnik (wwt), 63, Nr. 5, 2013.

Siegrist 2013

Siegrist, H.-R.: Energieverbrauch für die weitergehende Spurenstoffelimination – Maßnahmen zur Reduktion, in: Schriftreihe Siedlungswasserwirtschaft Bochum, Band 65, 31. Bochumer Workshop, Klimaschutz und Energiewende – Welchen Beitrag liefert der Abwassersektor?, 2013

Sontheimer u. a. 1985

Sontheimer, H.; Frick, B.; Fettig, J.; Hörner, G.; Hubele, C.; Zimmer, G.: Adsorptionsverfahren zur Wasserreinigung. DVGW Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut der Universität Karlsruhe (TH), 1985.

Ternes u. a. 2003

Ternes, T. A.; Stüber, J.; Herrmann, N.; McDowell, D.; Ried, A.; Kampmann, M.; Teiser, B.: Ozonation: A tool for removal of pharmaceuticals contrast media and musk fragrances from wastewater?, Water Research, 37, 1976 – 1982, 2003.

Worch 1997

Worch, E.: Wasser- und Wasserinhaltsstoffe – eine Einführung in die Hydrochemie. Teubner-Verlag, Stuttgart-Leipzig, 205 S, 1997.

Worch 2004

Worch, E.: Vorlesungsunterlagen, Technische Universität Dresden, 2004.